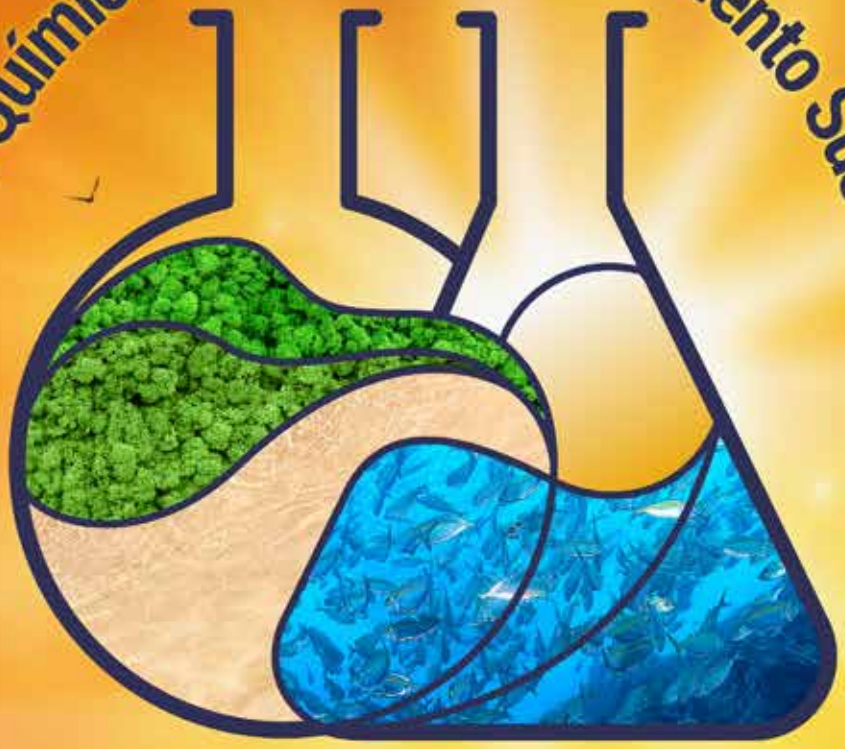
química nova na escola

Ensino de Química para o Desenvolvimento Sustentável



VOLUME 44
Nº 2, MAIO 2022

química nova NA ESCOLA

ISSN 0104-8899 - ISSN (on-line) 2175-2699

MAIO 2022
Vol. 44, Nº 2

EDITORES

Paulo Alves Porto (IQ-USP)
Salete Linhares Queiroz (IQSC-USP)

EDITORAS CONVIDADAS

Vânia Gomes Zuin Zeidler (UFSCar)
Paula Homem de Mello (UFABC)

CONSELHO EDITORIAL

Alice Ribeiro Casimiro Lopes (FE-UERJ - Rio de Janeiro, RJ - Brasil)
António Francisco Carrelhas Cachapuz (UA - Aveiro, Portugal)
Attico Inacio Chassot (IPA - Porto Alegre, RS - Brasil)
Aureli Caamaño (UB - Barcelona, Espanha)
Edênia Maria Ribeiro do Amaral (UFRPE - Recife, PE - Brasil)
Eduardo Fleury Mortimer (UFMG - Belo Horizonte, MG - Brasil)
Gisela Hernández (UNAM - Cidade do México, México)
Julio Cezar Foschini Lisbôa (GEPEQ-USP - São Paulo, SP - Brasil)
Lenir Basso Zanon (UNIJUÍ - Ijui, RS - Brasil)
Marcelo Giordan (FE-USP - São Paulo, SP - Brasil)
Otávio Aloísio Maldaner (UNIJUÍ - Ijui, RS - Brasil)
Roberto Ribeiro da Silva (UnB - Brasília, DF - Brasil)
Roseli Pacheco Schnetzler (UNIMEP - Piracicaba, SP - Brasil)

ASSISTENTE EDITORIAL

Giseli de Oliveira Cardoso

Química Nova na Escola é uma publicação trimestral da Sociedade Brasileira de Química que tem como local de publicação a sede da sociedade localizada no Instituto de Química da USP - Av. Prof. Lineu Prestes, 748, Bloco 3 superior, sala 371 05508-000 São Paulo - SP, Brasil
Fone: (11) 3032-2299,
E-mail: qnesc@sbq.org.br
Química Nova na Escola na internet: http://qnesc.sbq.org.br

Indexada no: *Chemical Abstracts*, *DOAJ*, *Latindex*, *EDUBASE*, *CCN/IBICT*, *Portal de Periódicos da CAPES*, *Portal do Professor MEC*, *Google Acadêmico* e *Unibibliweb*

Copyright©2022 Sociedade Brasileira de Química

Para publicação, requer-se que os manuscritos submetidos a esta revista não tenham sido publicados anteriormente e não sejam submetidos ou publicados simultaneamente em outro periódico. Ao submeter o manuscrito, os autores concordam que o *copyright* de seu artigo seja transferido à Sociedade Brasileira de Química (SBQ), se e quando o artigo for aceito para publicação.

O *copyright* abrange direitos exclusivos de reprodução e distribuição dos artigos, inclusive separatas, reproduções fotográficas, microfilmes ou quaisquer outras reproduções de natureza similar, inclusive traduções. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em bancos de dados ou transmitida sob qualquer forma ou meio, seja eletrônico, eletrostático, mecânico, por fotocopiagem, gravação, mídia magnética ou algum outro modo com fins comerciais, sem permissão por escrito da detentora do *copyright*.

Embora todo esforço seja feito pela SBQ, Editores e Conselho Editorial para garantir que nenhum dado, opinião ou afirmativa errada ou enganosa apareçam nesta revista, deixa-se claro que o conteúdo dos artigos e propagandas aqui publicados são de responsabilidade, única e exclusivamente, dos respectivos autores e anunciantes envolvidos. Consequentemente, a SBQ, o Conselho Editorial, os Editores e respectivos funcionários, diretores e agentes isentam-se, totalmente, de qualquer responsabilidade pelas consequências de quaisquer tais dados, opiniões ou afirmativas erradas ou enganosas.

Licenças *Creative Commons*

Artigos de acesso aberto nas revistas da SBQ são publicados sob licenças *Creative Commons*. Essas licenças proveem um arranjo padrão do setor para apoiar o fácil reuso de material de acesso aberto.

Artigos na QNEsc são publicados sob uma licença CC BY-NC-ND (licença de Atribuição *Creative Commons* Não Comercial-Sem Derivações 4.0 Internacional). A licença CC BY-NC-ND é uma licença restrita. Esta licença permite aos leitores copiar e redistribuir o material em qualquer meio ou formato, sob condição de atribuir crédito ao autor original. Contudo, o material não pode ser usado para fins comerciais. Além disso, ao alterar, transformar, ou incrementar o material, os leitores não podem distribuir o material modificado.

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.pt_BR

diagramação/capa
Hermano Serviços de Editoração

Sumário/Contents

Ensino de Química para o Desenvolvimento Sustentável / Teaching Chemistry for Sustainable Development

105 Síntese do Ácido Acetilsalicílico: Uma proposta para Laboratórios de Graduação empregando a Química Verde
Synthesis of Acethylsalicylic Acid: a proposal for Undergraduate Laboratories using Green Chemistry
Larissa de A. Domingues, Cássia G. Magalhães e Marilei C. M. Sandri

115 Abordagem dos temas Indústria 4.0 e sustentabilidade: contextualização baseada em fatos históricos e na cadeia produtiva do alumínio
Approach to Industry 4.0 and sustainability themes: contextualization based on historical facts and on the aluminum production chain
Jefferson S. Ribeiro, Sérgio O. Freitas, Pedro I. S. Maia e Carla R. Costa

126 A Educação Ambiental na práxis do Antropoceno e dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
Environmental Education in Anthropocene Praxis and Sustainable Development Goals
Jussara L. de Miranda, Priscila Tamiasso-Martinhon, Rosana Gerpe, Raquel F. de Oliveira, Priscila de S. Faria, Ariane S. Gonçalves

137 A Contextualização da Temática Energia e a Formação do Pensamento Sustentável no Ensino de Química
The Contextualization of the Energy Theme and the Formation of Sustainable Thinking in Students
Fernanda W. Adams e Simara Maria T. Nunes

149 Estudo de Caso Interrompido na Promoção de Conhecimento Ambiental de Graduandos em Química: Resíduos Sólidos Urbanos em Foco
Interrupted Case Study in Promoting Undergraduate Chemistry Students' Environmental Knowledge: Urban Solid Waste in Focus
Mikeas S. de Lima, Ícaro M. Oliveira e Salete L. Queiroz

160 Sustentabilidade e Educação Ambiental no Ensino de Química: contribuições para a tomada de consciência sobre agricultura sustentável
Sustainability and Environmental Education in Chemistry Teaching: contributions towards the awareness about sustainable agriculture
Daniel das C. de A. Ribeiro, Tania D. M. Salgado, Carla Sirtori e Camila G. Passos

173 Educação Ambiental nos cursos de Química da UFPel através da Química Verde
Environmental Education in the Chemistry courses of UFPel through Green Chemistry
Raquel G. Jacob, Márcio S. Silva, Daniela Hartwig e Eder J. Lenardão

183 Ambiente temático virtual de Química Verde para simulações de sínteses no Ensino de Química na perspectiva do desenvolvimento sustentável
Green Chemistry virtual themed environment for synthesis simulations in chemistry teaching from the perspective of sustainable development
Patricia L. Rüntzel e Carlos Alberto Marques

194 O Ensino de Química e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: um estudo das produções do Mestrado Profissional em Rede Nacional para Ensino das Ciências Ambientais
Chemistry education and the Sustainable Development Goals (SDG): a study of the theses of the National Network Professional Master's in Environmental Science Education
Ariane B. Lourenço, Gérsica M. N. da Silva, Aldrei Jesus G. Batista, Karen Cristina P. Musetti, Paula P. P. de Carvalho, Vinicius P. Dictoro, Tadeu Fabricio Malheiros

204 Agroecologia e a imagem pública da Química para além do desenvolvimento sustentável
Agroecology and the public image of chemistry beyond sustainable development
Ângela R. Teixeira, Ivana C. Lovo, Paulo A. Porto e Anielli F. G. Lemes

214 O uso de uma camada de gás carbônico em aquecedor solar de água feito com materiais reutilizados
The use of a layer of carbonic gas in a solar water heater made from reused materials
Emerich M. Sousa, Lara G. Teixeira e Samanttha S. Oliveira

222 Perspectives on education for sustainability in chemistry teaching
Perspectives on education for sustainability in chemistry teaching
Christian Zowada, Kai Niebert, Ingo Eilks

229 Projeto 'Preservando as Raízes do Mangue': a aprendizagem de química baseada em projetos e voltada para o desenvolvimento sustentável
Project 'Preserving mangrove roots': project-based chemistry learning and focused on sustainable development
Ívina L. Santana, Luciana R. do Nascimento, Bruna M. Damm, Mayara L. de Oliveira, Marcos B. J. G. de Freitas, Paulo R. G. de Moura

239 Está chovendo microplásticos! E agora?
It's raining microplastics! And now?
Aline S. F. Azevedo e Marcelo H. Herbst

248 O uso do AVA na construção de experiências formativas em uma perspectiva socioambiental crítica
Use of the VLE in the construction of formative experiences in a critical socio-environmental perspective
Fábio F. Souza, Caroindes J. C. Gomes e Vânia G. Z. Zeidler

259 A Temática dos Agrotóxicos para o Ensino de Química Orgânica: Uma Experiência com o Método do Estudo de Caso no Ensino Médio Regular
Pesticides as theme for Teaching Organic Chemistry: An Experience with the Case Study Method in Regular High School
Laurine C. P. da Silva, Verônica J. V. da Silva, Thaís N. Lopes e André M. dos Santos

Este número especial de QNESc foi patrocinado pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160317

Futuro do Pretérito na Celebração do Ano Internacional das Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável da UNESCO: Reflexões a partir do Ensino de Química, Educação Química, Sustentabilidade e a Semana de Arte Moderna no Brasil

Este número especial de *Química Nova na Escola* é parte do "Movimento Química Pós 2022 – Sustentabilidade e Soberania" (http://www.sbq.org.br/mqp2022), lançado pela SBQ em 2021 considerando o bicentenário da Independência do Brasil e a celebração estabelecida pela UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura) do Ano Internacional das Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável em 2022.

A meta da UNESCO é identificar as ligações existentes entre as Ciências Básicas e os objetivos da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU). Esta é uma oportunidade única para sensibilizar os tomadores de decisão de que, por meio do entendimento básico da natureza, ações mais efetivas podem ser definidas e tomadas para o bem comum. A proposta é ambiciosa e pretende avançar em temas prioritários segundo a ONU, tais como (i) a premissa de que a Ciência é um bem público; (ii) o direito de todos à educação que possibilite a emancipação dos indivíduos; (iii) a necessidade do fortalecimento da presença e visibilidade das mulheres e demais membros da sociedade ainda com pouca representatividade na Ciência e em espaços decisórios ou de definição de realidades; bem como (iv) a reflexão sobre o papel das Ciências Básicas – caso da Química – para o enfrentamento de desafios globais por meio do diálogo respeitoso para a construção da paz no mundo.

Nesse contexto, como o Brasil tem participado dessa construção por meio do Ensino ou Educação Química? Como mencionado anteriormente em nossa publicação na *Green Chemistry* em 2021, há uma demanda crescente por uma formação mais contextualizada de todas as pessoas e de profissionais de Química, a qual possibilite integrar também conhecimentos de outros campos, como das Ciências Humanas, de modo a proporcionar uma compreensão mais holística e crítica da realidade.

Assim, nesta edição especial contamos com contribuições de norte a sul do nosso país, bem como da Alemanha. Os artigos trazem uma diversidade de abordagens e questões, assim como é diversificada nossa cultura, com soluções criativas e inovadoras. A inclusão de disciplinas voltadas à Educação Ambiental em cursos de graduação e pós-graduação em Química e áreas correlatas tem se mostrado importante para promover uma reflexão sobre a transversalidade dessa temática. Como pode ser observado, há também um relato da inclusão de disciplinas de Química Verde em cursos de graduação em Química. Este é um passo importante de uma conscientização inicial para, num futuro próximo, se tornar uma práxis, de tal forma que os princípios da Química Verde sejam incorporados em todas as subáreas da Química, visando alcançar assim a Química Sustentável. Nesse sentido, também é apresentada uma proposta de experimento didático que se baseia nos princípios da Química Verde, que tem por objetivo a síntese de um fármaco amplamente conhecido, o ácido acetilsalicílico.

Há ainda a proposta de um ambiente virtual como apoio e complemento de aulas experimentais, em que rotas de sínteses mais seguras podem ser exploradas, tanto para garantir a saúde do operador quanto para preservar o ambiente.A Educação Ambiental deve ser levada também a espaços não formais, contextualizada, conectada com os problemas vivenciados pela sociedade. Um dos artigos deste número especial apresenta projetos transdisciplinares visando atingir estudantes do Ensino Fundamental à Pós-Graduação.

O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) de número 6 diz respeito à disponibilidade e à gestão sustentável da água potável, e outro artigo visa justamente analisar como o tema água é apresentado nas dissertações do Mestrado Profissional em Rede Nacional para o Ensino das Ciências Ambientais. O ODS 7, por sua vez, prevê energia limpa e acessível, tema de dois artigos. Um desses trabalhos propõe uma sequência didática para o Ensino Médio visando a formação crítica dos alunos sobre a sustentabilidade dos combustíveis utilizados no Brasil. O outro artigo avalia a influência do gás carbônico em aquecedor solar de água feito de materiais reutilizados. A reciclagem surge também como uma das etapas de uma indústria 4.0 – no caso de um dos artigos aqui publicados, a indústria do alumínio serve como tema para atividades desenvolvidas no Ensino Médio e no Mestrado Profissional de Química, mostrando a importância da contextualização histórica e regional para o processo de aprendizagem.

Outro problema intrinsecamente ligado às cidades se refere à produção e gestão dos resíduos sólidos urbanos não recicláveis, tema de dois trabalhos deste número especial. Um deles propõe um estudo de caso em que a estratégica didática escolhida permitiu o desenvolvimento de habilidades como trabalho em grupo, pensamento crítico e resolução de problemas, e também a ampliação do conhecimento ambiental, particularmente no que tange ao consumo e

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

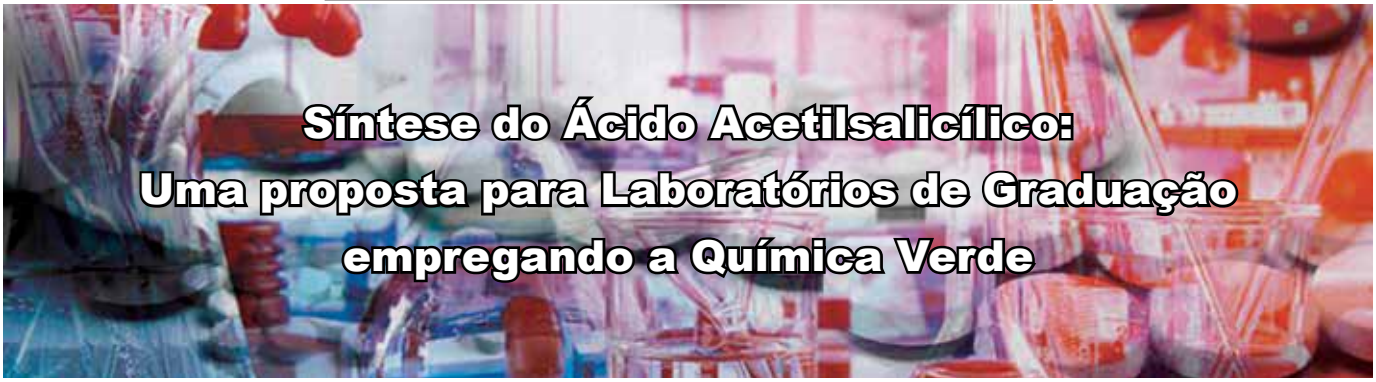
produção responsáveis. Visando também uma concepção mais responsável frente aos produtos que adquirimos, o outro trabalho relata a questão dos microplásticos como tema para o Ensino de Química Orgânica. A extração de corantes para a produção sustentável de panelas como tema para o ensino de Cinética Química, descrita em outro artigo, se constitui em ótimo exemplo de diálogo entre conhecimentos tradicionais e científicos. Saindo do ambiente urbano, temos três trabalhos que abordam questões de sustentabilidade no campo, envolvendo agroecologia ou agricultura sustentável, em contraposição à agricultura moderna e ao extensivo uso de agrotóxicos. Importante ressaltar o papel da Química no desenvolvimento sustentável também nessa área. No artigo internacional, os autores objetivaram fornecer uma visão geral sobre os conceitos atuais de sustentabilidade e educação para a sustentabilidade, com particular ênfase no Ensino de Química.

Entendemos que, para compreender o presente e projetar o futuro que queremos, há que se considerar o passado, escovar a história a contrapelo, em uma perspectiva Benjaminiana. Interessante observar que neste mesmo ano celebramos o centenário da Semana de Arte Moderna de 1922, que ainda nos convida a pensar no conceito de *alta antropofagia* oswaldiana, revisto por Wisnik, que é basicamente a capacidade de "ser outro" ao reconhecer o outro em si. Esse é nosso convite, como editoras convidadas. Considerando essas múltiplas perspectivas para a celebração do Ano Internacional das Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável da UNESCO, com ênfase no Ensino e Educação Química, o nosso convite é para que possamos ler os artigos que compõem este número especial como parte de nossa história – reflexões, narrativas e memórias com todas as cores e tintas de Tarsila do Amaral, Di Cavalcanti e Anita Malfatti, ao som e silêncio de Villa-Lobos, do trenzinho do caipira. Que os artigos nos façam arrepiar os pelos, corações e mentes neste Brasil ao mesmo tempo tão carente e potente, veneno e remédio. Bem-vindes!

Vânia G. Zuin Zeidler
Paula Homem de Mello
Editoras convidadas
QNEsc

Gostaríamos de agradecer o financiamento do Conselho Federal de Química, que permitiu a publicação de 16 artigos neste número especial.

http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160301



Síntese do Ácido Acetilsalicílico: Uma proposta para Laboratórios de Graduação empregando a Química Verde

Larissa de A. Domingues, Cássia G. Magalhães e Marilei C. M. Sandri

A Química Verde se estrutura em 12 princípios, de maneira a conservar a produtividade e utilizar matérias-primas seguras. Na síntese orgânica, pode ser aplicada para a melhoria de procedimentos experimentais, tornando-os ambientalmente mais amigáveis e seguros para os executores. Assim, o propósito deste trabalho foi otimizar a síntese do ácido acetilsalicílico (AAS) por meio da substituição do catalisador e da redução do reagente em excesso, a partir de uma pesquisa bibliográfica de protocolos para identificar oportunidades de possíveis melhorias. A verdura química dos experimentos didáticos foi avaliada utilizando as métricas Estrela Verde, Matriz Verde e de massa. Houve êxito na proposta de substituição do catalisador convencional por outro mais seguro, sem prejuízo ao rendimento e à incorporação de átomos dos reagentes nos produtos, o que permitiu construir um novo protocolo de síntese do AAS, mais verde.

▶ ácido acetilsalicílico, experimentos didáticos, verdura química ◀

Recebido em 23/11/2021, aceito em 02/03/2022

Desde a Revolução Industrial, a Química tem contribuído pujantemente no desenvolvimento científico, com destaque para a área farmacêutica e de bens de consumo. Entretanto, esses eventos foram acompanhados da ausência de controle da geração de resíduos, aumento da poluição e degradação ambiental (Farias e Fávaro, 2011). Alguns acontecimentos, como a poluição causada por agrotóxicos denunciada por Rachel Carson na década de 1960, e acidentes como o de Bhopal, na Índia (Machado, 2011), mostraram os grandes impactos que a atividade química despreocupada poderia causar, provocando danos capazes de comprometer gerações futuras e danificar permanentemente o ecossistema, caso não houvesse modificações.

A partir da necessidade de conciliar a conservação de recursos naturais com a manutenção das demandas humanas, surgiu a Química Verde (QV), que tem permitido a adoção de medidas que melhoram os processos químicos, unindo-os à ideia de responsabilidade socioambiental (Brandão, 2018).

A partir da necessidade de conciliar a conservação de recursos naturais com a manutenção das demandas humanas, surgiu a Química Verde (QV), que tem permitido a adoção de medidas que melhoram os processos químicos, unindo-os à ideia de responsabilidade socioambiental (Brandão, 2018).

A QV foi definida por Anastas e Warner (1998, p. 11) como "planejamento, desenvolvimento e aplicação de processos e produtos que sejam pouco nocivos ou inofensivos à saúde e ao ambiente", e está fundamentada em 12 princípios[i], a saber: P1- Prevenção à geração de resíduos; P2 - Economia atômica; P3- Síntese segura; P4 - Planejamento de produtos seguros; P5 - Uso de solventes e auxiliares seguros; P6 - Busca de eficiência energética; P7 - Uso de fontes renováveis de matéria-prima; P8 - Minimizar ou evitar derivatização; P9 - Catálise; P10 - Planejamento de produtos degradáveis; P11 - Análise em tempo real para prevenção da poluição; P12 - Química intrinsecamente segura (Lenardão *et al.*, 2003).

A Química Orgânica, de maneira geral, e a síntese orgânica, de maneira específica, são subáreas da Química que visam crescentemente incorporar a QV, pois a natureza de algumas reações orgânicas contribui para uma baixa verdura química[ii], como reações de substituição e eliminação (Machado, 2014). Em consequência da formação de produtos secundários ou subprodutos, ocorrência de reações paralelas e incompletude dessas reações, observam-se baixos rendimentos e baixa eficiência atômica reacionais (Da Luz *et al.*, 2019), o que afeta diretamente o cumprimento do Princípio 2 da QV. Este preconiza a máxima incorporação dos átomos dos reagentes nos produtos.

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

A baixa incorporação atômica implica, invariavelmente, o aumento da geração de resíduos, levando ao aumento expressivo do valor do Fator E (*Environmental Factor*) dessas sínteses (Lenardão, 2003). No caso específico da indústria farmacêutica, o Fator E está na ordem de 25 a 100 (Sheldon, 2017), ou seja, a geração de resíduos varia de 25 a 100 kg de resíduo por kg de produto obtido. Esse fato é agravado pela necessidade incontornável de que os produtos farmacêuticos requerem alta pureza, exigindo processos de isolamento e purificação que ao longo do processo global somam para a produção de resíduos.

Em decorrência disso, torna-se cada vez mais interessante buscar rotas sintéticas alternativas que permitam melhorar o atendimento aos princípios da QV. Cabe destacar que a inserção dessas metodologias alternativas nos cursos de formação de profissionais de Química e Farmácia promove a difusão da QV e mostra as possibilidades de crescentemente incorporá-la à síntese orgânica, notadamente à síntese de fármacos.

O ácido acetilsalicílico (AAS) é o princípio ativo do medicamento Aspirina®, obtido a partir da reação de acetilação do ácido salicílico (AS) (Da Luz *et al*., 2019). Essa síntese é clássica não somente na história da produção de medicamentos, mas também dentro dos cursos de Química Orgânica, destinados a diferentes formações profissionais. Além de ser de fácil execução, ela permite explorar diversos conteúdos químicos inseridos na temática de reações de derivados de ácidos carboxílicos (Solomons *et al*., 2018), bem como explorar algumas técnicas importantes nos laboratórios de síntese (Mello *et al.,* 2018).

Verifica-se que a intenção dos trabalhos tem sido o de melhorar experimentos didáticos realizados nos cursos de graduação, de modo a difundir e favorecer o ensino da QV no ambiente laboratorial e despertar reflexões que ultrapassem esse espaço. Essa iniciativa, portanto, não se restringe à síntese do AAS, mas necessita e deve acontecer crescentemente em todas as reações classicamente realizadas nas instituições universitárias e de formação profissional.

Entretanto, é importante salientar que se trata de uma reação que necessita reagentes em excesso, catalisadores e condições reacionais que não estão quantitativamente bem estabelecidos na literatura. Dessa forma, apesar de muito comum, a síntese do AAS é descrita sob diversas indicações de tempo e temperatura reacional (Da Luz *et al.*, 2019; Pavia *et al*., 2009; Mendes *et al*., 2012). A não precisão das condições reacionais, entretanto, pode resultar em rendimentos e eficiência da reação ainda piores (Da Luz *et al*., 2019), distanciando a síntese de cumprir os princípios da QV.

Alguns estudos têm visado obter condições reacionais melhores para a síntese do AAS, tais como o trabalho realizado por Da Luz *et al*., (2019), que determinaram o melhor tempo e temperatura de aquecimento para obtenção desse fármaco, com máximo rendimento possível. Mello *et al.* (2018) empregaram micro-ondas na realização da síntese, diminuindo o consumo energético e mantendo os rendimentos equivalentes ou superiores ao do experimento com aquecimento convencional. Cabe ressaltar que tais estudos aspiravam melhorar a síntese na direção dos princípios da QV e ainda mantê-los didaticamente viáveis.

Verifica-se que a intenção dos trabalhos tem sido o de melhorar experimentos didáticos realizados nos cursos de graduação, de modo a difundir e favorecer o ensino da QV no ambiente laboratorial e despertar reflexões que ultrapassem esse espaço. Essa iniciativa, portanto, não se restringe à síntese do AAS, mas necessita e deve acontecer crescentemente em todas as reações classicamente realizadas nas instituições universitárias e de formação profissional.

Além disso, os estudos mencionados foram inteiramente guiados pela aplicação de métricas de verdura química. Trata-se de um diferencial em relação a outras propostas autointituladas "verdes" presentes na literatura e que, por vezes, se baseiam exclusivamente em substituições de reagentes, sem avaliação sistemática do impacto da alteração para a verdura global do processo. Nesse sentido, destaca-se e defende-se o uso crescente de métricas de verdura química as quais podem ser classificadas como métricas energéticas, de massa, ambientais e holísticas (Machado, 2014), que variam em seu nível de abrangência dos princípios da QV. Porém, o uso isolado de métricas reducionistas, quando se pretende otimizar a verdura de um processo ou síntese, pode levar a falsas verduras. Mudanças promovidas podem desconsiderar aspectos relevantes de verdura e mesmo que melhorem algum aspecto pontual, podem piorar a verdura global do processo. Assim, as métricas holísticas, notadamente a Estrela Verde (EV) e a Matriz Verde (MV) (Machado, 2014) atingem maior abrangência, contemplando 10 dos 12 princípios da QV, pois o princípio 4 e o princípio 11 referentes ao *design* de produtos mais seguros e avaliação dos processos em tempo real, respectivamente, não são aplicáveis aos contextos do ensino.

Tendo em vista a necessidade do aprimoramento de experimentos didáticos, para que os mesmos alcancem a maior verdura química possível, sem o comprometimento da eficiência das reações, neste trabalho empregaram-se as métricas holísticas EV e MV – de caráter semiquantitativo e qualitativo, respectivamente – e as métricas de massa Fator E, Eficiência de Massa (ME) e Eficiência de Massa da Reação (RME), a fim de realizar modificações na síntese do AAS no sentido de torná-la mais verde, bem como aferir quantitativamente a verdura química atingida após a realização das alterações.

Material e Métodos

Síntese convencional do AAS

Para a realização da síntese convencional do AAS (Quadro 1), tomou-se por referência a metodologia proposta

por Da Luz *et al*. (2019), adaptada de Pavia *et al.* (2009). Consideraram-se os resultados de melhor tempo e temperatura para a realização da reação, apontados por Da Luz *et al.* (2019), que mencionam que o menor Fator E e os melhores rendimentos, eficiência de massa e energética para a síntese do AAS são obtidos com 20 minutos de aquecimento a 80º C e 40 minutos de aquecimento a 40º C. Assim, adotaram-se essas duas combinações de tempo e temperatura para realizar a síntese convencional e obter os valores de rendimento percentual e métricas verdes de massa – eficiência de massa da reação (RME), eficiência de massa (ME) e fator E – que permitiram a comparação com os dados obtidos da síntese verde, proposta ao final.

Quadro 1: Procedimento experimental da síntese convencional do AAS. *Nos tempos indicados por Da Luz et al. (2019).

Transferiram-se 2,0 g de ácido salicílico (AS) para um erlenmeyer. Adicionaram-se 5,0 mL de anidrido acético, seguido de 5 gotas de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. Agitou-se o frasco suavemente até dissolver o AS. Em seguida aqueceu-se o frasco cuidadosamente em um banho de vapor*. Deixou-se o frasco esfriar até a temperatura ambiente, até iniciar a cristalização. Quando a cristalização se completou, o AAS apareceu como um sólido branco. Adicionaram-se 20 mL de água e esfriou-se a mistura em banho de gelo, com posterior filtração a vácuo.

*Nos tempos indicados por Schneider da Luz *et al.* (2019) e descritos acima.

Avaliação da verdura química da síntese convencional

A fim de se avaliar e vislumbrar possibilidades de melhoria da verdura química da síntese convencional do AAS, empregaram-se as métricas holísticas Matriz Verde e Estrela Verde. O processo de construção de cada métrica está descrito a seguir.

Matriz verde

A MV é obtida por meio de uma análise SWOT que evidencia os pontos fortes (*Strenghts*), pontos fracos (*Weaknesses*), numa análise interna, e as oportunidades (*Opportunities*) e ameaças (*Threats*) (Ribeiro e Machado, 2012), numa análise externa, tendo em vista objetivos pré-estabelecidos. A MV realizada para a síntese em questão se deu a partir dos critérios estabelecidos para cada um dos princípios da QV (Sandri *et al*., 2018). A opção de se aplicar essa métrica somente sobre a síntese convencional está no fato de se tratar de uma métrica descritiva que permite identificar, em sua análise externa, as oportunidades de melhoria de verdura, levando em conta os pontos fracos que foram identificados na análise interna. Assim, após realizar as melhorias possíveis, a repetição da MV é desnecessária, pois ela tem maior potencial prescritivo do que comparativo.

Estrela Verde

A EV foi construída para as sínteses convencional e final para fins comparativos, mediante os princípios e critérios previamente estabelecidos, considerando a seguinte atribuição de pontuação: p =1 quando o princípio não é cumprido; p =2 quando o princípio é parcialmente cumprido; e p =3 quando o princípio é integralmente cumprido (Ribeiro e Machado, 2013). A construção do gráfico radial no formato de uma estrela de 10 pontas se deu por meio de uma planilha de Excel obtida gratuitamente na plataforma Educa.

Testes experimentais para melhoria de verdura química do AAS

Com a realização da MV para os protocolos de síntese do AAS (Da Luz *et al*., 2019), a análise externa permitiu identificar a possibilidade de substituição do catalisador ácido sulfúrico por outro de menor perigo físico e à saúde, bem como a oportunidade de promover a redução do excesso de anidrido acético até o limiar do alcance de rendimento apreciável. Diante disso, os testes experimentais foram realizados (Quadro 2).

Quadro 2: Procedimento para obtenção de AAS com melhor verdura química.

Substituição do catalisador ácido sulfúrico por acetato de sódio
Pesaram-se 2,0 g de ácido salicílico e pipetaram-se 5 mL de anidrido acético, adicionando-se 0,40 g de acetato de sódio. Aqueceu-se em banho-maria por 40 minutos a 40ºC com agitação contínua. Esfriou-se a mistura e adicionaram-se 30 mL de água para precipitação do AAS. Filtrou-se a vácuo e deixou-se secar a temperatura ambiente, para posterior purificação. Os testes foram feitos em triplicata. O mesmo procedimento foi realizado também a 80º C e 20 minutos de aquecimento, a fim de se comparar os resultados.
Redução do volume de anidrido acético
Realizou-se o procedimento anterior, empregando-se o catalisador acetato de sódio, com redução gradativa do volume de anidrido acético de 5,0 mL para 4 mL e 3,5 mL. Todos os testes foram realizados em triplicata a 40º C por 40 min, considerando que essa condição reacional foi a mais exitosa e segura para sintetizar o AAS.

Feitas as reações, purificou-se o AAS por meio da técnica de recristalização (Pavia *et al.,* 2009). Realizou-se ainda o teste de pureza com cloreto de ferro III ($FeCl_3$) para verificar a presença residual de ácido salicílico (AS) (Pavia *et al*., 2009).

Métricas a posteriori

Após a obtenção do AAS puro, calcularam-se o rendimento percentual do produto e das métricas de massa (Quadro 3). Confeccionou-se, ainda, nova EV, visando averiguar possíveis ganhos de verdura em relação ao protocolo convencional (Da Luz *et al*, 2019).

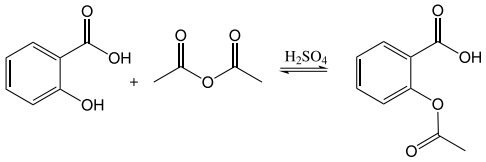
Resultados e Discussão

A reação de acetilação se apresenta como uma das mais importantes reações na síntese orgânica, tendo em vista a

Quadro 3: Métricas de massa utilizadas na avaliação da verdura química da síntese do AAS.

Métricas	Expressões de cálculo
Eficiência de massa da reação (RME)	$RME = \frac{\text{m produto principal}}{\sum \text{m reagentes estequiométricos}} \times 100$ (1)
Eficiência de Massa (ME)	$ME = \frac{\text{m produto principal}}{\sum \text{m todos os reagentes}} \times 100$ (2)
Fator E	$\text{Fator E} = \frac{\text{m resíduos totais}}{\text{m produtos}}$ (3)

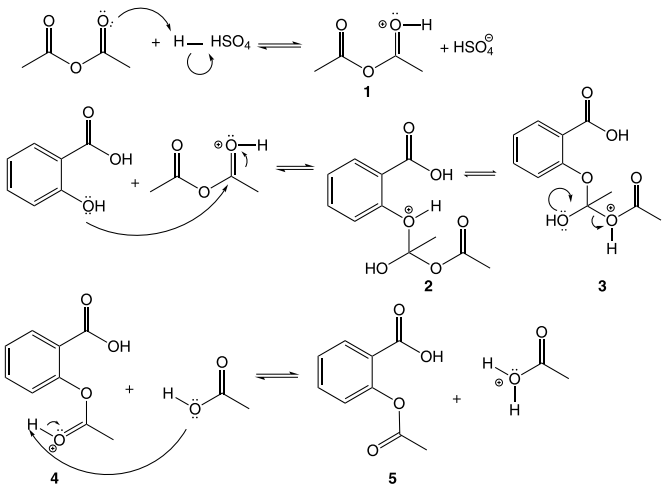
eficiência do grupo acetil na proteção de grupos funcionais como álcoois, fenóis e aminas (Anbu *et al*., 2019). Em se tratando da obtenção do ácido acetilsalicílico (Esquema 1), a acetilação da molécula precursora (ácido salicílico) levou ao aumento do potencial analgésico do fármaco, bem como diminuiu a ocorrência de efeitos colaterais relativos a hemorragias gastrintestinais (Massabni, 2006, *apud* Da Luz *et al*., 2019).



Esquema 1: Representação da síntese do ácido acetilsalicílico.

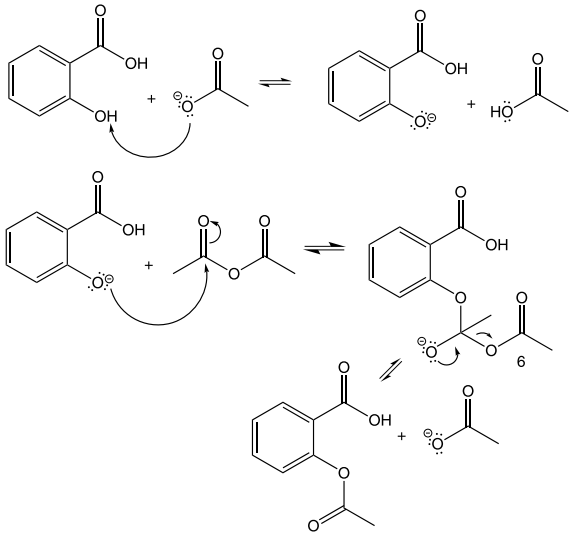
Ao se propor o experimento da reação de acetilação do ácido salicílico em aulas de Química Orgânica Experimental, é possível retomar conceitos químicos que são previamente abordados durante o curso, tais como força de ácidos e bases e caráter nucleofílico e eletrofílico de espécies químicas. A abordagem da síntese do AAS está inserida no tema "Reações de ácidos carboxílicos e derivados" (Solomons *et al.,* 2018; Bruice, 2005). Ao se discutir o mecanismo dessa reação (Esquema 2), demonstra-se que o processo ocorrerá via adição-eliminação, sendo verificado um intermediário tetraédrico (Solomons *et al.*, 2018) no decorrer da síntese. Além disso, é possível enfatizar a necessidade do catalisador na reação, evidenciando sua finalidade.

No presente trabalho, avaliou-se a reação sob catálise com H_2SO_4 (Esquema 2). Nesse caso, ocorre a protonação de um dos átomos de oxigênio do anidrido (1), promovida pelo ácido forte. Isso ocasionará o aumento do caráter eletrofílico do carbono ligado àquele átomo de oxigênio do composto, que é atacado pelo par de elétrons do átomo de oxigênio da hidroxila fenólica, gerando o intermediário tetraédrico da reação (2). Essa etapa é caracterizada como adição. Em seguida, por meio de etapas intermoleculares, ocorre a transferência de próton do intermediário 2, gerando a espécie 3. Consequentemente, a formação de nova ligação dupla entre carbono e oxigênio em 3 leva à eliminação do grupo abandonador (ácido acético). A consequente desprotonação do produto acetilado (4) implica a obtenção do ácido acetilsalicílico (5) e restauração do catalisador (Bruice, 2005).



Esquema 2: Mecanismo da reação de obtenção do AAS via catálise ácida.

A outra possibilidade de síntese aqui avaliada substitui o catalisador ácido por um de natureza básica, o acetato de sódio (Esquema 3). Nesse caso, ocorre inicialmente a abstração do próton da hidroxila fenólica, realizada pelo ânion acetato. Em seguida, ocorre a etapa de adição nucleofílica do anidrido, gerando o intermediário tetraédrico 6. No momento em que ocorre a restauração da ligação dupla entre os átomos de carbono e oxigênio, ocorre a eliminação do grupo abandonador (ânion acetato), evidenciando a restauração do catalisador (Bruice, 2005).



Esquema 3: Mecanismo da reação de obtenção do AAS com o uso de acetato de sódio.

Avaliação da verdura química da síntese convencional e alternativa do AAS

Síntese convencional do AAS – avaliação a priori

A análise de verdura química por meio da MV (Quadro 4)

foi realizada, *a priori*, sobre a síntese convencional do AAS (Quadro 5). A MV mostrou que esse método, em sua análise interna, apresenta 10 pontos fortes (critérios C3; C5; C8; C9; C10; C12; C16; C21; C23; C24), dentre os quais se destaca o fato de nenhum dos reagentes representar perigo ao ambiente (C3) e o produto oferecer perigo baixo à saúde (C9).

Outros critérios que valem ser ressaltados são os referentes ao Fator E e EA (C7 e C8), estimados teoricamente, e que apontaram geração de resíduos menor que 2 kg de resíduos para cada kg de produto principal e incorporação de átomos dos reagentes nos produtos de cerca de 75%. Todavia, esses valores não se mantêm na prática, quando da ocorrência da síntese, como observado na avaliação das métricas de massa.

Ainda cabe destacar que a reação dispensa o uso de bloqueadores (C16), o que colabora para que não haja gasto de mais matérias-primas e geração de resíduos; e o produto (AAS) pode ser reaproveitado em aulas posteriores (C21). Do ponto de vista didático e da circularidade das práticas laboratoriais, este é um importante ponto forte da síntese de AAS. Cada vez mais, deve-se pensar em tornar as práticas laboratoriais mais articuladas entre si e com possibilidade de reaproveitamentos, produzindo matérias-primas para aulas posteriores, especialmente porque os recursos para laboratórios didáticos são escassos e porque os acadêmicos podem aprender muito sobre sustentabilidade ao se assumir o compromisso da reutilização. No caso do AAS, há possibilidade de utilizá-lo para aulas sobre as técnicas de recristalização e determinação de ponto de fusão, por exemplo.

Dois critérios não foram aplicáveis (C11 e C13), pois a reação dispensa uso de solvente auxiliar, uma vez que o anidrido acético, nesse caso, serve como reagente e solvente reacional, por estar em excesso. Também o uso de água, em volumes consideráveis (acima de 50 mL), não se faz necessário. A água é uma substância atóxica e pode ser reaproveitada, sendo preferível a muitos outros solventes. Todavia, seu uso precisa ser considerado nas avaliações de verdura química, haja vista que se trata de um recurso laboratorial que necessita de grandes gastos de energia, no processo de destilação. Também o C13, referente ao uso da água como facilidade, ou seja, para aquecimento ou resfriamento, por exemplo, foi baixo. Assim, quanto menor for o dispêndio desse recurso, mais verde tenderá a ser o processo.

Por outro lado, 12 critérios (C1; C2; C4; C6; C7; C14; C15; C17;C18; C19; C20 e C22) foram considerados pontos fracos,destacando-se os perigos físicos e à saúde decorrentes especialmente do anidrido acético e do H_2SO_4. Esses riscos impactam diretamente nos critérios C1 e C2 do P1, e C20, do P12, e indiretamente, no C4 do P1, pois acabam por tornar os resíduos também perigosos, considerando que o anidrido acético é usado em excesso, sendo um dos principais resíduos gerados. O excesso desse reagente também impacta negativamente nos critérios C6 e C7 do P2, que avaliam diretamente a necessidade do uso e do percentual necessário para realização da síntese. Assim, como o excesso de anidrido acético é incontornável para que o equilíbrio reacional se desloque no sentido dos produtos e a quantidade de excesso utilizado nas sínteses convencionais é da ordem de

Quadro 4: Matriz Verde da síntese convencional do ácido acetilsalicílico.

Pontos Fortes	Pontos Fracos
C3 – Os reagentes e produtos não representam riscos ao ambiente C5 – Fator E teórico = 1,85 C8 – EA a priori = 75% C9 – O produto principal representa riscos baixos à saúde C10 – Não há uso de solventes e auxiliares C11 – Não se aplica C12 – Utiliza água para facilidade em volume menor que 200 mL C13 – Não se aplica C16 – Não se faz necessário o uso de bloqueadores C21 – O produto (AAS) pode ser reutilizado em outras experiências C23 – Riscos baixos devido ao uso de equipamentos C24 – Riscos baixo devido ao uso de materiais comuns	C1 – Anidrido acético e ácido sulfúrico representam riscos físicos moderados C2 – Ácido salicílico, anidrido acético, ácido acético e ácido sulfúrico representam riscos graves a saúde C4 – Há geração de resíduos que representam riscos à saúde (vapores de ácido acético e solução ácida). C6 – Utiliza reagente em excesso (anidrido acético) C7 – Utiliza 271% de excesso C14 – A reação é realizada com aquecimento em banho-maria a cerca de 60º C, por cerca de 15 a 20 minutos C15 – As substâncias utilizadas não são renováveis C17 – É necessário o uso de catalisador e este apresenta perigos C18 – O catalisador é homogêneo C19- Não é possível recuperar o catalisador C20 – O anidrido acético não possui informações de biodegradabilidade disponíveis C22 – O H_2SO_4 e anidrido acético apresentam perigos elevados de acidente físico e à saúde. C22 – Há riscos de acidente devido ao uso de algumas substâncias (anidrido acético, H_2SO_4 concentrado)
Possibilidades	**Ameaças**
Reduzir o excesso de anidrido acético. Modificar o catalisador. Alterar as condições de aquecimento, temperatura e/ou tempo.	Não é possível modificar os reagentes estequiométricos, o que implica em riscos intrínsecos.

quase 280% em relação ao reagente estequiométrico (0,014 mol de AS e 0,053 mol de anidrido acético), esses critérios são fortemente afetados. Vale destacar ainda os critérios C17, C18 e C19, correspondentes ao P9 e que se referem à necessidade do uso de catalisador. Na síntese convencional, o catalisador H_2SO_4 representa perigos físicos e à saúde, é homogêneo e não pode ser recuperado ao final da reação.

A listagem de pontos fracos tem importante papel para a realização da análise externa, na qual se avaliam as oportunidades de melhoria de alguns desses pontos e se indicam aqueles que são incontornáveis. A análise externa, portanto, demonstrou a possibilidade de substituição do catalisador ácido sulfúrico por outro de menor toxicidade; a redução do excesso do reagente anidrido acético; e a alteração das condições de tempo e temperatura da reação. Além disso, apontou como ameaça, ou seja, como situação incontornável, a impossibilidade de substituir os reagentes estequiométricos (ácido salicílico e anidrido acético) que apresentam perigos moderados e elevados à saúde, respectivamente.

Todavia, Da Luz *et al.* (2019) reportaram os tempos e temperaturas de 40º C e 40 min; 80º C e 20 min, como sendo os que melhor levavam a rendimentos e eficiência de massa para a obtenção do AAS. Foi também apontado o rendimento de 79% e ME 25% para a condição reacional de 40ºC e 40 minutos e 77% de rendimento, com ME 24% para a condição de 80º C de aquecimento por 20 minutos. Portanto, no presente trabalho adotaram-se os tempos e temperaturas mencionados e deu-se sequência à investigação das demais oportunidades evidenciadas na análise externa.

Síntese do AAS com catalisador alternativo

A catálise, por muito tempo, foi utilizada para aumentar a eficiência, rendimento e seletividade das reações. Porém, depois do advento da QV, ela também passou a ser compreendida como importante ferramenta para atingir os princípios da QV, com ganhos econômicos e ambientais (Anastas *et al*., 2000). O P9 prevê que as reações catalisadas são preferíveis, mas quando se avalia o catalisador, o ideal é que não apresente qualquer tipo de perigo e, preferencialmente, seja reaproveitado. Além disso, destaca-se a superioridade de biocatalisadores, por serem inofensivos e possuírem eficiência elevada em relação aos catalisadores químicos (Sharma *et al*., 2021).

Nas investigações de verdura química realizadas por meio da MV, percebeu-se que o princípio 9, referente ao uso do catalisador, foi inteiramente afetado. O H_2SO_4, convencionalmente utilizado, apresenta perigo elevado de acidente físico por ser corrosivo e apresentar perigo elevado para a saúde, principalmente por ser capaz de provocar queimaduras severas à pele e dano aos olhos, segundo os dados da FISPQ desse produto. Mesmo sendo empregado em pequena quantidade (5 gotas), a avaliação da verdura química considera o perigo intrínseco à substância. Assim, a QV muda o foco de enfrentamento do risco quando propõe a minimização ou a eliminação da periculosidade associada às substâncias tóxicas, em contraposição à restrição de exposição às mesmas (Santos e Royer, 2018). Por isso, a substituição por um catalisador atóxico, tal como o acetato de sódio, pode representar um ganho qualitativo na verdura química da síntese do AAS, favorecendo um processo intrinsecamente mais seguro, como preconiza o P1. Entretanto, pode haver falsa verdura caso a substituição do catalisador não contribua para a incorporação dos átomos dos reagentes nos produtos (P2). Isso resultaria em baixa eficiência atômica, favorecendo a geração de resíduos, sendo contrário ao P1, afetando a verdura química global do procedimento.

Portanto, considerando que o uso do acetato de sódio como catalisador, com efeito de acetilação, já está previsto na literatura e é empregado em alguns protocolos experimentais (Química Orgânica Experimental, 2017), neste trabalho averiguou-se a eficiência mássica da substituição de um catalisador ácido (H_2SO_4) pelo catalisador alcalino (acetato de sódio), avaliando o rendimento percentual, a eficiência de massa e o fator E das sínteses realizadas, após a purificação do AAS, com vistas a avaliar a verdura global das alterações realizadas.

Segundo Machado (2014), o rendimento das reações químicas é considerado aceitável quando variam entre 60-70% e bom entre 70-80%. Diante disso, a síntese realizada com o catalisador acetato de sódio (Tabela 1B) levou a rendimentos superiores quando comparada à síntese com ácido sulfúrico (Tabela 1A). Os resultados obtidos com o catalisador alternativo também foram compatíveis com aqueles obtidos por Da Luz e colaboradores (2019), sob as mesmas condições de tempo e temperatura, mas com o uso de ácido sulfúrico como catalisador. Isso demonstra que

Tabela 1: Percentuais de rendimento na síntese de AAS com H_2SO_4 (A) e acetato de sódio (B) e métricas de massa.

		A		
Tempo e temperatura	**Rendimento (%)**	**ME (%)**	**Fator E *a posteriori* (g)**	**Teste com $FeCl_3$**
20 min, 80 °C	55,67	19,71	4,07	-
40 min, 40 °C	61,77	22,54	3,43	-
		B		**-**
Tempo e temperatura	**Rendimento (%)**	**ME (%)**	**Fator E *a posteriori* (g)**	**-**
20 min, 80 °C	73,42	28,93	2,26	-
40 min, 40 °C	69,72	26,49	2,78	-

o catalisador acetato de sódio pode substituir com êxito o ácido sulfúrico.

Os dados percentuais de rendimento já demonstraram a eficiência do catalisador alternativo. Entretanto, é importante interpretar também os resultados referentes às métricas de massa, as quais crescentemente deveriam passar a fazer parte das avaliações de eficiência de uma reação, em detrimento da atenção exclusiva ao rendimento percentual do produto principal (Andraos e Dicks, 2012).

Neste estudo foram avaliadas as métricas Eficiência de Massa (ME) e Fator E. A primeira avalia a incorporação efetiva dos átomos dos reagentes nos produtos (Quadro 3, equação 2) e a segunda, adimensional, quantifica a massa de resíduos gerados durante o processo (Quadro 3, equação 3). Ambas as métricas são consideradas de fronteira 4 (Machado, 2014), por considerarem todos os reagentes utilizados, incluindo excessos, solventes e auxiliares. Essas métricas são preferíveis àquelas de fronteiras inferiores, pois possibilitam uma avaliação mais precisa quanto à incorporação de reagentes e a geração de resíduos.

Os dados mostraram que, para a síntese convencional do AAS, na condição de aquecimento de 80º C por 20 minutos, a ME foi de 19,71% e Fator E 4,07. Isso significa dizer que apenas 19,71% dos átomos dos reagentes foram incorporados ao produto principal, sendo que o restante passou a compor produtos secundários e resíduos. Já o Fator E, mostra que, para cada 1,0 g de produto principal produzido, 4,07 g de resíduos foram gerados. Os resultados foram um pouco melhores empregando-se 40º C e 40 minutos de aquecimento.

Ao se comparar os resultados para a síntese do AAS com o catalisador acetato de sódio, verificou-se que os resultados de ME e Fator E foram melhores em relação à síntese com catalisador convencional, sob as duas condições reacionais analisadas. Para a condição de 80ºC e 20 minutos, os resultados foram levemente superiores, com a incorporação de átomos da ordem de 28,93% e Fator E de 2,26, ou seja, cerca de 45,5% inferior à quantidade de resíduos gerados na síntese convencional, sob a mesma condição.

Vale considerar que os dados experimentais de ambas as sínteses mostraram eficiência de massa e, portanto, incorporação de átomos bem inferior àquela apontada pela Economia Atômica (75%), prevista *a priori*, na MV. Isso se deve ao fato de que a EA prevê qual poderá ser o máximo de átomos de reagentes a ser incorporado no produto, dependendo da natureza da reação, sendo que as reações químicas de substituição, de maneira geral, possuem baixo aproveitamento dos reagentes (Machado, 2014). Essa métrica, entretanto, é considerada de fronteira 2, porque leva em conta as massas molares apenas de reagentes e produtos estequiométricos, negligenciando os excessos, solventes e auxiliares, e baseia-se num rendimento reacional de 100% (Machado, 2014a).

O valor de EA serve, portanto, como parâmetro do que seria uma síntese ideal em termos de incorporação de átomos, para determinado produto. Contudo, dificilmente é atingida, considerando ser necessário na ocorrência da reação o uso de excesso, solventes e auxiliares que previsivelmente não farão parte do produto principal. Além disso, podem ocorrer reações paralelas, entre outras situações que impedem a máxima incorporação dos átomos dos reagentes no produto de interesse.

No caso da síntese do AAS, especificamente, o excesso de anidrido acético acaba por comprometer os valores de ME e aumentar o valor de Fator E. Todavia, o catalisador acetato de sódio é eficaz na síntese do AAS, sob as duas condições reacionais testadas e isso pôde ser corroborado pelo rendimento percentual, pelas métricas de massa específicas da QV e também pela métrica holística EV.

Na comparação das EV da síntese com ácido sulfúrico (Figura 1A) e acetato de sódio (Figura 1B), respectivamente, verificou-se que, na segunda, o P9 se tornou integralmente verde devido ao catalisador acetato de sódio não representar perigos físicos, à saúde e ao ambiente. Assim, o Índice de Preenchimento da Estrela (IPE), calculado equiparando-se estrelas de verdura máxima e gerado automaticamente junto com o gráfico radial, mostrou 35% de verdura química para a síntese com acetato de sódio e 25% para síntese convencional

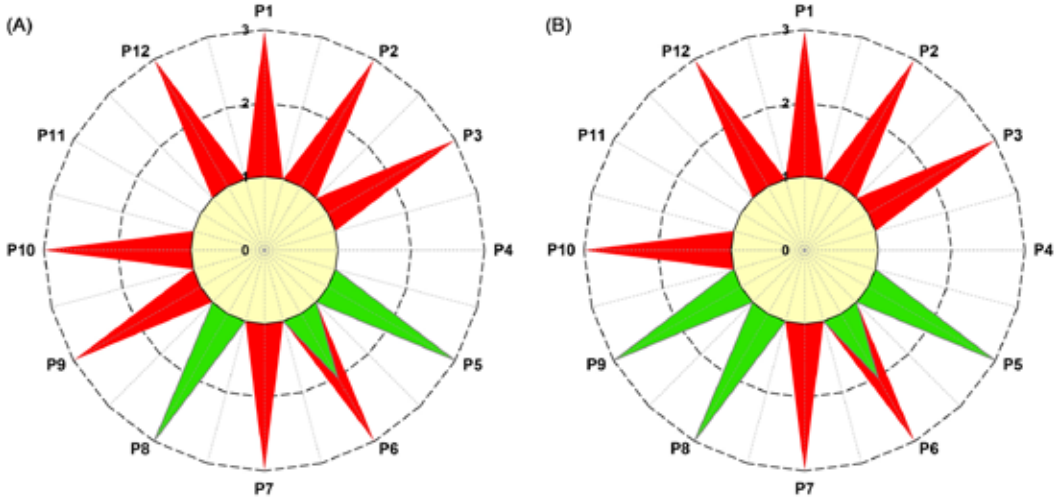


Figura 1: Estrela verde e índice de preenchimento da estrela (IPE) para a síntese do AAS. A) Catalisador ácido sulfúrico (IPE= 25%); B) Catalisador acetato de sódio (IPE=35%).

com ácido sulfúrico. Por fim, ainda foi possível asseverar que, embora o tempo de 20 minutos e 80º C fosse levemente superior em termos mássicos (Tabela 2), a condição de 40 minutos e 40º C continua a ser uma boa alternativa, por empregar condições brandas de aquecimento, o que evita perigos físicos aos manipuladores da reação e ainda ser viável para um tempo de aula experimental em torno de 2 horas aula.

Redução do volume de excesso de anidrido acético

Seguindo as possibilidades de melhoria de verdura química apontadas na análise externa da MV, realizaram-se os testes experimentais de redução do excesso de anidrido acético, que se encontrava em 280% a mais em relação ao reagente limitante, ácido salicílico. Essas análises foram realizadas adotando-se os tempos e temperaturas apontados por Da Luz *et al*. (2019) e o catalisador acetato de sódio, validado nos testes anteriores. A primeira redução foi de 5 mL de anidrido acético (síntese convencional) para 4 e 3,5 mL (Tabela 3), correspondendo a 193,75 % e 171,77%, respectivamente.

Foi possível verificar que os rendimentos percentuais, as métricas verdes ME e Fator E (Tabela 3) se mostraram eficazes quando houve redução do volume de excesso de anidrido acético de 5 mL para 4 mL. Portanto, a realização de tal redução na síntese do AAS é possível, sem prejuízos à eficiência mássica da reação.

Todavia, a redução para volumes menores ou iguais a 3,5 mL de anidrido acético se mostrou inviável. Verificou-se que o rendimento e a eficiência de massa foram consideravelmente menores em relação à síntese com 4 ou 5 mL, sob a condição de 20 minutos e 80º C. Sob condições reacionais mais brandas (40 minutos e 40º C), a reação se mostrou absolutamente inviável, havendo precipitação de ácido salicílico antes do término da reação e a permanência deste, mesmo após o processo de purificação por recristalização utilizando etanol, resultando em teste positivo frente ao cloreto férrico.

Isso demonstra que a redução do volume de anidrido acético é possível até o limite de 4 mL (193,75% de excesso em relação ao reagente limitante), mas não inferior a isso. Isso decorre do que já foi anteriormente explicado acerca do papel que esse reagente cumpre no deslocamento do equilíbrio químico no sentido da formação do produto. Entretanto, estudos como esses são relevantes, pois a necessidade do emprego de reagentes em excesso costuma ser praticado sem a mensuração adequada da quantidade suficiente e necessária de excesso, o que implica em gastos excessivos que aumentam os custos de produção e somam na produção de resíduos.

Apesar de ter sido possível reduzir para 193,75% o excesso de reagente em relação ao reagente limitante, não foi possível observar aumento da verdura química por meio da EV, pois ao se avaliar o P2, verificou-se que só haveria aumento da área verde se a redução de excesso fosse igual ou inferior a 10%, o que, neste caso, é impraticável. Portanto, a EV permaneceu com IPE 35%. Uma possibilidade não testada neste trabalho seria manter o catalisador ácido sulfúrico e avaliar a redução de anidrido acético. Todavia, isso implicaria em tentar melhorar a verdura sob um princípio, sacrificando outro. Esse ponto, no entanto, é importante para refletir sobre as limitações da melhoria da verdura química, que ocorre em todos os processos, pois a ocorrência das

Tabela 2: Resultados da síntese alternativa do AAS, utilizando o catalisador acetato de sódio.

Tempo e temperatura	Rendimento (%)	ME (%)	Fator E *a posteriori* (g)	Economia atômica (%)
20 min, 80 °C	73,42	28,93	2,26	74,93
40 min, 40 °C	69,72	26,49	2,78	74,93

Tabela 3: Resultados da síntese do AAS utilizando-se 4 mL de anidrido acético e acetato de sódio (A) e 3,5 mL de anidrido acético e acetato de sódio (B).

A					
Tempo e temperatura	**Rendimento (%)**	**ME (%)**	**RME (%)**	**Fator E (g)**	**Teste $FeCl_3$**
20 min, 80 °C	73,47 ± 0,49	28,48	54,93	2,50	-
40 min, 40 °C	68 ± 3,36	26,31	50,80	2,80	-
B					
Tempo e temperatura	**Rendimento (%)**	**ME (%)**	**RME (%)**	**Fator E (g)**	**Teste $FeCl_3$**
20 min, 80 °C	52,65 ± 5,37	21,72	38,58	3,64	-
40 min, 40 °C	52,50	NA*	NA*	NA*	+

NA*: O cálculo dos parâmetros ME, RME e fator E não se aplicam para a reação nessas condições, tendo em vista a presença do ácido salicílico em proporção elevada, indicada pelo resultado positivo no teste com $FeCl_3$ mesmo após a purificação.

reações é algo dinâmico e não passível de controle absoluto, o que impõe dificuldades à verdura total dos processos químicos (Machado, 2014).

O conjunto dos resultados permitiu sugerir um protocolo alternativo e mais verde para a síntese do AAS (Quadro 5), com tempo e temperatura bem definidos, uso de um catalisador menos tóxico e menor volume de excesso de anidrido acético.

Quadro 5: Protocolo de síntese do AAS proposto neste trabalho.

Pesar 2,0 g de ácido salicílico e pipetar 4mL de anidrido acético, adicionando 0,40 g do catalisador acetato de sódio. Aquecer em banho-maria por 40 minutos a 40 °C com agitação contínua. Esfriar a mistura e adicionar 30 mL de água para precipitação do AAS. Filtrar a vácuo e deixar secar a temperatura ambiente, para posterior purificação.

Conclusão

Foi possível propor um protocolo alternativo e mais verde para a síntese do AAS nos laboratórios acadêmicos, o qual apresenta significativa relevância na formação acadêmica de profissionais químicos, fomentando o emprego de métricas de verdura química e realização de procedimentos ambientalmente mais benignos e mais seguros à saúde humana.

Os estudos demonstraram a importância de se ter condições de tempo e temperatura bem estabelecidas na execução de um processo reacional, bem como mostrou ser possível substituir o catalisador ácido sulfúrico por acetato de sódio, mais seguro, sem prejuízo ao rendimento e à incorporação de átomos dos reagentes nos produtos. Além disso, a redução de excesso de anidrido acético também se tornou viável até o limite de 193,75%.

Acredita-se que propiciar aos profissionais em formação a oportunidade de repensar práticas convencionais arraigadas na tradição acadêmica é uma maneira de desenvolver o senso crítico, despertar o interesse e a responsabilidade para a prática de procedimentos mais limpos e favorecer a enculturação de uma filosofia verde e sustentável às atividades químicas.

Notas

[i]Há ainda os Segundos Doze Princípios da Química Verde - contados de 13 a 24 - propostos por Winterton em 2001. Estes são voltados a novas vias de síntese e sua implementação no fabrico industrial (Ribeiro e Machado, 2012).

[ii]A verdura química de uma reação ou processo químicos está relacionada ao cumprimento dos princípios da QV. Assim, quanto mais princípios forem atendidos, mais verde será o procedimento em questão. Na literatura são encontrados os termos equivalentes "verdura" (Machado, 2014); "grau verde" (Tasso, 2018) e *greenness* (Dicks, 2018). A verdura química deve ser avaliada por meio de métricas adequadas (Machado, 2014).

Larissa de Almeida Domingues (dominguess.larissa@gmail.com), graduanda do curso de Farmácia da UEPG, é bolsista de iniciação científica, executando atividades relacionadas a melhorias de experimentos didáticos de Química Orgânica no contexto da Química Verde. Ponta Grossa, PR – BR. **Marilei Casturina Mendes Sandri** (mcmsandri@uepg.br), licenciada em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa, mestra em Química Aplicada pela mesma universidade e doutora em Educação Para a Ciência e o Ensino de Matemática pela Universidade Estadual de Maringá. Atualmente é professora da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa, PR – BR. **Cássia Gonçalves Magalhães** (cgmagalhaes@uepg.br), licenciada em Química (UFSJ), mestra em Agroquímica (UFV) e doutora em Ciências-Química (UFMG). Faz parte do corpo docente da UEPG, Ponta Grossa, PR – BR.

Referências

ANASTAS, P. T. e WARNER, J. *Green Chemistry*: Theory and Practice. Oxford: Oxford University Press, 1998.

ANASTAS, P. T.; BARTLETT, L. B.; KIRCHHOFF, M. M. e WILLIAMSON, T. C. The role of catalysis in the design, development, and implementation of green chemistry. *Catalysis Today*, v. 55, n. 1–2, p. 11-22, 2000.

ANBU, N.; NAGARJUN, N.; JACOB, M.; KALAIARASI, J. M. V. K. e DHAKSHINAMOORTHY, A. Acetylation of alcohols, amines, phenols, thiols under catalyst and solvent-free conditions. *Chemistry*, v.1, n.1, p.69-79, 2019.

ANDRAOS, J. e DICKS, A. P. Green chemistry teaching in higher education: a review of effective practices. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 13, p. 69-79, 2012.

BRANDÃO, M.; ARAÚJO, S. e VASCONCELOS, S. L. S. Minimização de resíduos químicos: percepção ambiental de docentes e aplicação de princípios de química verde em laboratórios de ensino. *Acta Tecnológica*, v. 13, n. 2, p. 27-43, 2018.

BRUICE, P. Y. *Química Orgânica*, v. 2. 4ª ed. São Paulo: Pearson Universidades, 2005.

DA LUZ, L. T. S.; GOMES, S. I. A. A.; SANDRI, M. C. M.; MELLO, F. e BOLZAN, J. A. Avaliação e otimização das condições de obtenção do ácido acetilsalicílico para fins didáticos. *Educación Química*, v. 30, n.2, p.54-69, 2019.

DICKS, A. Teaching reaction efficiency through the lens of green chemistry: Should students focus on the yield on the process? *Current Opinion in Green and SustainableChemistry*, n.13, p. 27-31, 2018.

FARIAS, L. A. e FÁVARO, D. I. T. Vinte anos de química verde: conquistas e desafios. *Química Nova*, v. 34, n. 6, p. 1089-1093, 2011.

LENARDÃO, E. J. Os 12 princípios da química verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. *Química Nova*, v. 26, n. 1, p. 123-129, 2003.

MACHADO, A. A. S. C. Da génese ao ensino da Química Verde. *Química Nova*, v. 34, n. 3, p. 535-543, 2011.

MACHADO, A. A. S. C. Introdução às Métricas da Química Verde: uma visão sistêmica. Florianópolis: UFSC, 2014.

MACHADO, A. A. S. C. Bateria de métricas para avaliação de verdura material de reações de síntese. *Química Nova*, v. 37, n. 6, p. 1094-1109, 2014a.

MELLO, F.; GOMES, S. I. A. A.; SANDRI, M. C. M. e

BOLZAN, J. A. Proposta didática para obtenção de ácido acetilsalicílico sob a perspectiva da Química Verde. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, v.13, n.2, p.63-71, 2018.

MENDES, A. S.; PERUCH, M. G. B. e FRITZEN, M. F. Síntese e purificação do ácido acetilsalicílico através da recristalização utilizando diferentes tipos de solventes. *Revista Eletrônica Estácio Saúde*, v. 1, n. 1, 2012.

PAVIA, D. L; LAPMAN, G. M. e KRIZ, G. Z. *Química orgânica experimental*. Porto Alegre: Bookmam, 2009.

Química Orgânica Experimental. Síntese do ácido acetilsalicílico (aspirina), 2017. Disponível em: http://www.iq.usp.br/prmoreno/disciplinas/qfl/qfl034x/qfl0314/Exp04.pdf, acesso em nov. 2020.

RIBEIRO, M. G. T. C. e MACHADO, A. A. S. C. Holistic Metrics for Assessment of the Greenness of Chemical Reactions in the Context of Chemical Education. *Journal of Chemical Education*, v. 90, n. 4, p. 432-439, 2013.

RIBEIRO, M. G. T. C. e MACHADO, A. A. S. C. Uma análise SWOT do contexto CTSS das atividades laboratoriais do ensino secundário. *Informativo de Química*, n. 124, p. 65-74, 2012.

SANDRI, M. C. M.; GOMES, S. I. A. A. e BOLZAN, J. A. *Química Orgânica Experimental* - aplicação de Métricas Holísticas de Verdura. Curitiba: IFPR, 2018.

SANTOS, D. M. e ROYER, M. R. Uma análise da percepção dos alunos sobre a Química Verde e a Educação Ambiental no Ensino de Química. *Revista Debates em Ensino de Química*, v. 4, n. 2, p. 142–164, 2018.

SHARMA, Y. B.; HIRLEKAR, B. U.; BHARITKAR, Y. P. e HAZRA, A. T. Lemon juice: a versatile reusable biocatalyst for the synthesis of bioactive organic compounds as well as numerous nanoparticles based catalytic system. *Current Organic Chemistry*, v. 25, n. 10, p. 1194-1223, 2021.

SHELDON, R. A. The E factor 25 years on: the rise of green chemistry and sustainability. *Green Chemistry*, v. 19, p. 18-42, 2017.

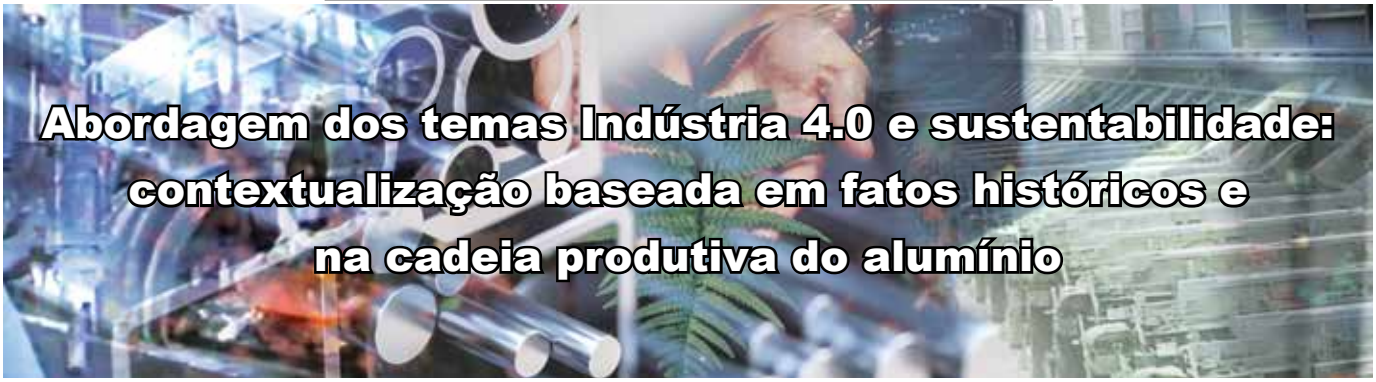
SOLOMONS, T. W. G.; FRYHLE, C. e SNYDER, S. A. *Química Orgânica*, 12ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

TASSO, J. F. N. *A experimentação no curso de Licenciatura em Química da UFSCar (campus São Carlos)*: aproximações e distanciamentos à Química Verde. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação UFSCar, São Carlos, 2018, 139 p.

Abstract: *Synthesis of Acethylsalicylic Acid: a proposal for Undergraduate Laboratories using Green Chemistry.* Green Chemistry is based on 12 principles in order to keep the productivity and to use safe raw materials. In Organic Synthesis, it can be applied to improve experimental procedures, making them ecofriendly and safer for the executors. The aim of this work was to optimize the synthesis of acetylsalicylic acid (AAS) by replacing the catalyst and reducing the reactant used in excess, starting from a search of protocols in the literature to identify opportunities for possible improvements. The greenness of the didactic experiments was evaluated using the Green Star, Green Matrix, and mass metrics. The substitution of the catalyst for another safer option was successful, without loss to the yield of the reaction nor to the incorporation of atoms from the reactants to the products. This allowed the construction of a new, chemically greener protocol for the synthesis of AAS.
Keywords: acetylsalicylic acid, didactic experiments, chemical greenness

A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160302



Abordagem dos temas Indústria 4.0 e sustentabilidade: contextualização baseada em fatos históricos e na cadeia produtiva do alumínio

Jefferson S. Ribeiro, Sérgio O. Freitas, Pedro I. S. Maia e Carla R. Costa

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) contempla termos bastante difundidos na sociedade atual, como *digital* e *tecnologia*, que caracterizam o atual cenário histórico denominado Indústria 4.0, bem como *sustentabilidade*, que tem influenciado consideravelmente as decisões estratégicas empresariais. A BNCC menciona que é necessário discutir com os estudantes os impactos da tecnologia no funcionamento da sociedade e suas consequências para o desenvolvimento sustentável. Assim, os temas Indústria 4.0 e sustentabilidade podem ser abordados de forma contextualizada no Ensino Médio e nos cursos de formação continuada de professores. Este artigo tem como objetivo relatar as experiências vivenciadas com professores cursistas do PROFQUI e com estudantes do Ensino Médio durante a abordagem dos temas Indústria 4.0 e sustentabilidade, relacionando-os a eventos históricos e à cadeia produtiva do alumínio.

▶ Revoluções Industriais, desenvolvimento sustentável, mineração ◀

Recebido em 22/11/2021, aceito em 02/03/2022

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento que estabelece o conjunto de aprendizagens imprescindíveis que todos os estudantes devem desenvolver ao longo da Educação Básica (Brasil, 2018). Por se tratar de um documento contemporâneo, ele contempla termos bastante difundidos na sociedade atual. Assim, as palavras "digital" e "digitais" juntas aparecem 353 vezes e as palavras "tecnologia" e "tecnologias" totalizam 291 ocorrências no documento que contém 595 páginas. As palavras "sustentabilidade", "sustentável" e "sustentáveis" também aparecem na BNCC, porém em um número inferior, totalizando 50 ocorrências* (Brasil, 2018).

"Digital", "tecnologia" e seus derivados são termos presentes no atual cenário histórico denominado quarta Revolução Industrial. Uma Revolução Industrial compreende um período histórico caracterizado por profundas transformações da sociedade, principalmente nos setores econômico, político e social (Pasquini, 2020). A quarta Revolução Industrial também é conhecida como Indústria 4.0 em alusão ao sistema de numeração costumeiramente usado pelos profissionais de informática para designar a versão de seus artefatos, geralmente composto de dois números: um principal e um secundário. Assim, trata-se de uma apropriação de um sistema de marcação da área de informática para sugerir evolução.

> [...] para que uma empresa, um setor ou um profissional sejam classificados como 4.0, devem ser capazes de realizar a captação, o processamento e a análise de grandes quantidades de dados, contribuindo para a execução eficaz do trabalho e mantendo-se competitivos no mercado (Barreto, 2020).

Atualmente, nos deparamos com vários termos que fazem referência à Indústria 4.0, como: empresas 4.0, profissionais 4.0, RH 4.0, educação 4.0, mineração 4.0 e outros (Barreto, 2020; SAE Digital, 2021; Bastos, 2020). Ao escutar esses termos, pessoas leigas podem associá-los a conceitos futuristas. Entretanto, para que uma empresa, um setor ou um profissional sejam classificados como 4.0, devem ser capazes de realizar a captação, o processamento e a análise de grandes quantidades de dados, contribuindo para a execução eficaz do trabalho e mantendo-se competitivos no mercado (Barreto, 2020).

Nos últimos anos, o termo sustentabilidade também tem sido bastante divulgado na mídia e tem influenciado consideravelmente as tomadas de decisões estratégicas das empresas.

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

A sustentabilidade pode ter um papel importante no desenvolvimento e reconhecimento de uma empresa ou marca em seu mercado de atuação. Logo, para que seja sustentável, uma empresa deve definir ações, políticas e iniciativas que visem a ética e o respeito ambiental, de forma a promover o desenvolvimento e o fortalecimento da própria empresa e de todos que se relacionam com ela, ou seja, consumidores, funcionários e comunidade (Santander, 2021).

De acordo com a BNCC, o Ensino Médio deve contribuir para o aprimoramento da autonomia intelectual e do pensamento crítico dos estudantes, e a escola deve possibilitar que eles construam projetos pessoais e coletivos fundamentados, entre outros fatores, na sustentabilidade (Brasil, 2018). Além disso, o documento menciona que é necessário debater com os estudantes os impactos da tecnologia no funcionamento da sociedade e nas relações humanas locais e globais, além de suas consequências para o desenvolvimento sustentável e para a proteção da vida no planeta (Brasil, 2018). Assim, considerando a relevância dos temas Indústria 4.0 e sustentabilidade para o atual cenário histórico, eles podem ser abordados de forma contextualizada no Ensino Médio.

Uma abordagem contextualizada deve considerar a cultura local e a realidade cotidiana dos estudantes (Santos e Ferreira, 2018). Porém, a contextualização vai além de exemplificar como e onde determinado conhecimento pode ser aplicado, possibilitando a abordagem de temas ambientais, sociais, políticos e econômicos de forma a auxiliar a construção do conhecimento científico (Santos e Ferreira, 2018; Quimentão e Milaré, 2015). Os professores devem estar familiarizados com os processos de construção do conhecimento para possibilitarem aos estudantes uma efetiva elaboração conceitual. Além disso, devem promover debates em sala de aula que confrontem as ideias de senso comum dos estudantes, contribuindo, assim, para a reflexão e a reelaboração dessas concepções e para a compreensão dos conteúdos científicos. Isso só será possível se o professor estiver preparado para refletir e realizar o gerenciamento eficaz dessa construção. Para isso, as formas de ensino adotadas nas escolas de Educação Básica e nos cursos de formação inicial e continuada de professores devem suprir as necessidades da sociedade atual (Gonzaga *et al.*, 2020).

Os professores devem estar familiarizados com os processos de construção do conhecimento para possibilitarem aos estudantes uma efetiva elaboração conceitual. Além disso, devem promover debates em sala de aula que confrontem as ideias de senso comum dos estudantes, contribuindo, assim, para a reflexão e a reelaboração dessas concepções e para a compreensão dos conteúdos científicos.

Para possibilitar aos docentes em exercício na Educação Básica nacional uma formação continuada que resulte em efetiva qualificação, foram criados os mestrados profissionais (Gonzaga *et al.*, 2020). Na área de Química, o Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) foi aprovado pela CAPES em 2015. Ele conta com a participação de várias Instituições de Ensino Superior (IES), coordenadas nacionalmente pelo Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IQ/UFRJ) com a colaboração de um comitê gestor composto por docentes das IES associadas e por representantes da Sociedade Brasileira de Química (SBQ) (Viana, 2015). A matriz curricular do PROFQUI conta com uma série de disciplinas, dentre elas a "Química 3: Química da Vida, Ambiente e Materiais" que propõe abordar os temas Indústria 4.0 e sustentabilidade (Gonzaga *et al.*, 2020). Assim, para uma abordagem contextualizada desses temas, procurou-se relacioná-los à mineração, uma atividade econômica e industrial muito presente no estado de Minas Gerais. Nesse contexto, este artigo tem como objetivo relatar a experiência vivenciada com professores cursistas do PROFQUI durante a abordagem dos temas Indústria 4.0 e sustentabilidade, relacionando-os a eventos históricos e à cadeia produtiva do alumínio. Também é apresentada uma proposta de atividade sobre a mineração e a reciclagem do alumínio elaborada no PROFQUI e desenvolvida com estudantes do Ensino Médio.

Percurso metodológico

A atividade apresentada neste trabalho foi desenvolvida com uma turma do PROFQUI constituída por cinco professores cursistas. Ela foi realizada remotamente na disciplina "Química 3: Química da Vida, Ambiente e Materiais" e contou com momentos síncronos e assíncronos.

A atividade foi dividida em três etapas. Na primeira etapa, foi aplicado um questionário diagnóstico constituído por 13 perguntas abertas que tinham como objetivos: (1) levantar características gerais do público-alvo da pesquisa e de suas concepções sobre sustentabilidade; (2) obter informações sobre a abordagem do tema sustentabilidade nas aulas de Química ministradas pelos professores cursistas e sobre a adoção de práticas sustentáveis nas escolas em que lecionam. A segunda etapa consistiu na realização de uma aula virtual síncrona por meio da plataforma *Google Meet*, com duração aproximada de 3 horas, para discutir os temas Indústria 4.0 e sustentabilidade inseridos no contexto histórico.

Na terceira etapa, foram apresentadas duas atividades que integram um produto educacional elaborado no PROFQUI em que são propostas uma discussão sobre a mineração e a reciclagem do alumínio. Posteriormente, foi solicitado aos professores cursistas que elaborassem um plano de aulas que permitisse discutir a temática sustentabilidade com base no ciclo de vida do alumínio. O plano de aulas deveria ser proposto com base na BNCC (Brasil, 2018) e no Currículo Referência do Ensino Médio de Minas Gerais (Minas Gerais, 2021). Cada professor cursista recebeu um *feedback* sobre o seu plano de aulas e o fechamento dessa etapa foi realizado de forma assíncrona, por meio de *podcast* disponibilizado aos professores cursistas pelo *WhatsApp*.

Resultados e Discussão

Caracterização dos participantes da pesquisa

Os cinco professores cursistas que participaram desta pesquisa lecionam em escolas públicas, sendo que três deles ministram aulas no Ensino Médio regular e EJA, um nos Ensinos Fundamental e Médio regulares e um nos Ensinos Técnico e Técnico Integrado. Com relação ao tempo de atuação no magistério, um leciona há um ano e seis meses, um há quatro anos, dois há cinco anos e um há 15 anos. Três dos cinco professores cursistas lecionam no estado de Minas Gerais, um em Goiás e um em São Paulo. Ao longo deste artigo, os professores cursistas que participaram desta pesquisa serão designados como **A**, **B**, **C**, **D** e **E**.

A Tabela 1 apresenta as respostas dos professores cursistas para algumas perguntas do questionário diagnóstico. Com relação à compreensão de sustentabilidade (questão 1, Tabela 1), os professores cursistas **A** e **E** apresentaram respostas semelhantes ao conceito clássico de desenvolvimento sustentável, ou seja, aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações em atender suas próprias demandas (Nascimento, 2012). Os

Tabela 1: Respostas dos professores cursistas do PROFQUI para algumas questões do questionário diagnóstico.

Perguntas do questionário diagnóstico	Respostas dos professores cursistas
1 - Descreva o que você entende por sustentabilidade?	**A:** "Tudo que se auto sustenta. Que não gera prejuízo para o futuro ou que não comprometa as gerações do futuro." **B:** "O uso consciente do ambiente em que está inserido, onde, após o uso, o ambiente utilizado é devolvido de forma a que haja o menor número possível de alterações." **C:** "Uma ação que se preocupa com o meio ambiente, reciclagem, pensando na preservação do planeta sem deixar de atender as necessidades humanas." **D:** "Basicamente, aproveitamento de resíduos que seriam descartados, muitas vezes potencias contaminantes do meio em que vivemos, sendo que uma vez aproveitados, além de reduzir impactos, podem ter valor agregado e gerar emprego entre outros." **E:** "São ações e/ou atividades que tem por objetivo suprir as necessidades humanas, sem comprometer as gerações futuras (social, econômica e ambiental)."
2 - Você já realizou atividades relacionadas ao tema sustentabilidade durante suas aulas? Se sim, descreva sucintamente suas experiências com o e tema.	**D:** "Sim, trabalhei na orientação de projetos como: Reaproveito de biomassa de cana-de-açúcar, reaproveitamento de fuligem de indústria sucroenergética, reaproveitamento de rejeitos orgânicos para produção de biogás, compostagem, utilização de óleo de soja para produção de sabões e biodiesel." **A**, **B**, **C** e **E:** "Não."
3 - Você consegue vislumbrar atividades interdisciplinares envolvendo o tema sustentabilidade?	**A:** "Já trabalhei com a biologia sobre defensivos agrícolas e com a história sobre a Guerra Mundial com o foco em armas químicas." **D:** "Sim. Como trabalho em escola técnica, sempre estamos desenvolvendo projetos interdisciplinares voltados para a sustentabilidade." **B**, **C** e **E:** "Sim."
4 - Como você relacionaria o tema sustentabilidade aos conteúdos de Química?	**A:** "Ao petróleo, produção de etanol, defensivos agricolas." **B:** "A Química relaciona o uso de matéria e energia a todo tempo. Assim, quando se fala do uso consciente desses dois fatores, teremos produtividade elevada relacionada ao ambiente em que as ações foram feitas." **C:** "Relacionaria por exemplo com o tempo de degradação de cada material, os impactos ambientais a geração de lixo, dentre outros." **D:** "A química é uma das áreas que giram em torno da transformação, desta transformação resulta vários subprodutos de diferentes aspectos físicos, químicos e biológicos, os quais muitas vezes têm grande potencial para serem aproveitados de outras maneiras, desta forma a sustentabilidade se relaciona diretamente com a química." **E:** "Poderia falar sobre o desenvolvimento de produtos e processos sustentáveis e que prejudicam menos o meio ambiente."
5 - Quais dificuldades você acredita que teria ao desenvolver o tema sustentabilidade durante suas aulas de Química?	**A:** "A participação do aluno." **B:** "Dentro do ambiente em que trabalho há dificuldades com relação ao espaço físico; suporte da administração; interesse dos alunos. Em outros momentos, essas ações foram pensadas e colocadas em prática e não se sustentaram devido a esses fatores." **C:** "Administração do tempo." **D:** "Talvez a adesão de outros professores para colaborar e incentivar os alunos." **E:** "Falta de recursos/ Limitação de espaço."
6 - A(s) escola(s) onde você trabalha realiza(m) ações sustentáveis? Se sim, quais?	**A:** "Sim. No cultivo de frutas, hortaliças e leguminosas." **D:** "Sim. Coletas seletivas, Reaproveitamento de resíduos orgânicos entre outros." **B**, **C** e **E:** "Não."

demais professores cursistas relacionaram a sustentabilidade ao uso consciente do meio ambiente e à adoção de práticas como a reciclagem e o reaproveitamento de resíduos.

Em se tratando da realização de atividades relacionadas à sustentabilidade nas aulas de Química (questão 2, Tabela 1), apenas o professor cursista **D** mencionou que orientou projetos sobre o reaproveitamento de resíduos de diferentes naturezas e para diferentes finalidades. O mesmo professor mencionou na questão seguinte (questão 3, Tabela 1) que desenvolve projetos interdisciplinares e que trabalha em uma escola de Ensino Técnico. Isso evidencia que a sustentabilidade não é abordada nas aulas de Química nos Ensinos Fundamental, Médio e EJA pelos professores cursistas que participaram da pesquisa. Ainda com relação ao desenvolvimento de atividades interdisciplinares, o professor cursista **A** mencionou que já trabalhou a sustentabilidade de forma interdisciplinar com a Biologia, por meio da abordagem dos temas defensivos agrícolas e armamento químico nas guerras mundiais. Defensivos agrícolas é um tema que pode possibilitar uma discussão relevante sobre a agricultura moderna e sua relação com a sustentabilidade e a tecnologia (Levin, 2020). Por outro lado, os impactos das guerras sobre o meio ambiente permitem a abordagem da poluição do ar, da água e do solo, além do desflorestamento e degradação de áreas protegidas (Trabazo, 2018), o que vai no sentido contrário ao do desenvolvimento sustentável.

As respostas apresentadas pelos professores cursistas quando indagados sobre como relacionariam a sustentabilidade com conteúdos de Química (questão 4, Tabela 1) mostram que eles não compreenderam a pergunta, uma vez que deveriam ter indicado conteúdos e não temas. Nesse sentido, petróleo, produção de etanol e defensivos agrícolas são temas que podem ser utilizados para contextualizar o ensino da Química Orgânica, enquanto o tempo de degradação de materiais é um assunto que poderia ser abordado no ensino de Cinética Química.

Ao serem questionados sobre quais dificuldades esperariam encontrar ao desenvolver o tema sustentabilidade em suas aulas de Química (questão 5, Tabela 1), os professores cursistas apontaram: a participação e o interesse dos alunos, a limitação de espaço físico, o suporte da administração, a adesão de outros professores, a administração do tempo e a falta de recursos.

Ao serem questionados sobre quais dificuldades esperariam encontrar ao desenvolver o tema sustentabilidade em suas aulas de Química (questão 5, Tabela 1), os professores cursistas apontaram: a participação e o interesse dos alunos, a limitação de espaço físico, o suporte da administração, a adesão de outros professores, a administração do tempo e a falta de recursos. O professor **B** mencionou em sua resposta que, na escola em que leciona, ações sustentáveis já haviam sido realizadas, mas não tiveram continuidade devido à limitação de espaço físico, suporte da administração e interesse dos alunos. Embora a pergunta questionasse sobre a abordagem do tema sustentabilidade nas aulas de Química, os professores relacionaram suas respostas a ações mais abrangentes envolvendo toda a escola, o que foi questionado na pergunta seguinte (questão 6, Tabela 1). Com relação a ações sustentáveis praticadas nas escolas em que trabalham (questão 6, Tabela 1), três participantes da pesquisa responderam que as escolas não realizam ações sustentáveis e os outros dois indicaram, como ações realizadas nas escolas em que lecionam: o cultivo de frutas, hortaliças e leguminosas, a coleta seletiva e o reaproveitamento de resíduos orgânicos. Após o questionário diagnóstico, deu-se início à aula virtual síncrona sobre Indústria 4.0 e sustentabilidade.

Aula virtual sobre Indústria 4.0 e sustentabilidade

A aula virtual foi iniciada apresentando a definição de Indústria 4.0 e, na sequência, foi realizado um resgate histórico sobre as revoluções industriais, destacando os principais marcos de cada uma delas até chegar na Indústria 4.0. Em seguida foi abordada a definição de sustentabilidade e aspectos relacionados ao desenvolvimento sustentável e, por último, a contribuição da Indústria 4.0 para uma sociedade sustentável.

Os professores cursistas participaram ativamente da aula apresentando suas opiniões, o que resultou em uma rica discussão. Um dos pontos de maior discussão foi sobre a educação no contexto da Indústria 4.0, chamada de Educação 4.0. Os professores cursistas colocaram as dificuldades que enfrentam no atual cenário educacional em que seus estudantes têm acesso rápido às informações. Continuamente esses professores são questionados sobre essas informações mesmo antes de tomarem conhecimento delas e de terem tempo para se prepararem adequadamente para responder às indagações dos alunos. Outro ponto levantado pelos professores cursistas foi que a pandemia favoreceu a implantação da Educação 4.0 principalmente nas escolas particulares, contribuindo para aumentar as diferenças entre as escolas públicas e particulares.

Percebeu-se, ao longo da discussão, que os professores cursistas apresentavam familiaridade com a temática de sustentabilidade, mas não com a Indústria 4.0. Um dos professores cursistas relatou que havia feito um exame de proficiência em língua inglesa recentemente e que o assunto da prova havia sido "*Internet of Things*" (IOT - Internet das Coisas), um dos pilares tecnológicos da Indústria 4.0, o qual ele desconhecia naquele momento.

A seguir é apresentada uma sugestão para a abordagem dos temas Indústria 4.0 e sustentabilidade de forma integrada, em uma sequência que permite mostrar os avanços ocorridos em cada Revolução Industrial, bem como a evolução do pensamento industrial em relação ao ambiente.

Na primeira Revolução Industrial (1780-1830), processos que antes eram realizados manualmente e apenas por

trabalhadores altamente especializados (artesãos) deram espaço para as fábricas mecanizadas (Pasquini, 2020; Quintino *et al.*, 2019). Além disso, a aplicação do carvão como fonte de energia e o desenvolvimento da máquina a vapor e da locomotiva revolucionaram tanto o setor produtivo quanto o de transporte (Sakurai e Zuchi, 2018).

Na segunda Revolução Industrial (1850-1910), a modernização de máquinas e equipamentos industriais foi impulsionada pelo uso da energia elétrica que contribuiu para tornar as máquinas mais produtivas e menos poluentes, embora esta última característica não fosse muito relevante, uma vez que, nessa época, os problemas ambientais eram tratados de maneira superficial (Almeida, 2019; Oliveira *et al.*, 2019; Pasquini, 2020). Também foi durante a segunda Revolução Industrial que o modelo de produção chamado fordismo surgiu nos Estados Unidos, tendo como princípios fundamentais: a repetitividade, a padronização do produto e a produção em massa (Quintino *et al.*, 2019).

Durante décadas, as indústrias se preocuparam apenas com questões econômicas, negligenciando o impacto ambiental de suas atividades, inclusive sobre a saúde da população. Nesse período, alguns eventos industriais impactantes aconteceram, resultando na poluição do ar, na contaminação das águas e na perda de diversas vidas (Pott e Estrela, 2017).

Em 1930, ocorreu na Bélgica o primeiro evento agudo de poluição do ar (Tabela 2) que atraiu a atenção da comunidade científica, uma vez que forneceu evidências de que a poluição atmosférica poderia ocasionar mortes (Nemery *et al.*, 2001). Em 1956, outro evento industrial ocorrido no Japão causou danos ambientais impactantes (Tabela 2). A condição resultante da contaminação da baía de Minamata por metilmercúrio foi denominada como "Doença de Minamata" pela comunidade médica japonesa e pela mídia, uma vez que, inicialmente, sua causa era desconhecida (Jenks, 2010).

A terceira Revolução Industrial (1969-2010), conhecida como Revolução Digital e Revolução Técnico-Científica, foi marcada pelo advento dos semicondutores, em especial do transístor, responsável pela modernização dos computadores e demais equipamentos elétricos, eletromecânicos e eletrônicos (Almeida, 2019; Quintino *et al.*, 2019). Nesse período, surge no Japão o modelo produtivo denominado toyotismo, que tinha como principal característica a produção flexível, realizada conforme a demanda de mercado (Quintino *et al.*, 2019). Também se destacam como características da terceira Revolução Industrial a automação industrial, a nanotecnologia, a biotecnologia, a mecatrônica, a microinformática, as telecomunicações, bem como as tecnologias de automação (TA) e de informação (TI) (Quintino *et al.*, 2019). Durante essa Revolução Industrial, ocorreram avanços significativos na produção de energias renováveis, como a eólica e a solar, o que possibilitou que as indústrias diversificassem as fontes de energia utilizadas (Roberts, 2015; Sakurai e Zuchi, 2018).

O advento da indústria foi responsável por provocar grandes mudanças no ambiente. A indústria acelerou a extração dos recursos naturais visando à obtenção do lucro em curto prazo, sem levar em conta suas consequências (Borges *et al.*, 2009). Nesse contexto, para disciplinar o consumo racional de recursos naturais e contribuir para que o desenvolvimento econômico causasse menos impacto ao ambiente, uma série de acordos, convenções e leis surgiram, o que culminou no "aumento da consciência ambiental" nesse período (Borges *et al.*, 2009; Pott e Estrela, 2017; Sakurai e Zuchi, 2018).

Em 1972, foi realizada a Conferência Mundial das Nações Unidas (ONU) em Estocolmo (Suécia), a primeira manifestação dos líderes mundiais a respeito das consequências do progresso da economia sobre o ambiente (Nascimento, 2012). Essa conferência foi realizada em meio ao impacto provocado pelo relatório do Clube de Roma, intitulado *The limits of growth* (Os limites do crescimento), que propunha, entre outras ações, a desaceleração do desenvolvimento industrial nos países desenvolvidos e do crescimento populacional nos países subdesenvolvidos (Nascimento, 2012; Pott e Estrela, 2017). Dez anos após a conferência de Estocolmo, uma avaliação realizada pela ONU mostrou que os esforços empreendidos ficaram muito aquém do necessário. Isso resultou na formação da *World Commission on Environment and Development* (WCED - Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento), que foi coordenada pela então primeira-ministra norueguesa Gro Harlen Brundtland. O relatório produzido por essa comissão e apresentado em 1987, com o título de *Our common future* (Nosso futuro comum) propôs o desenvolvimento sustentável, que foi definido como o desenvolvimento que supre as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações em satisfazer suas próprias necessidades (WCED, 1987). Essa definição tornou-se clássica e objeto de discussão, pois deixa em aberto quais seriam as necessidades humanas do momento atual e as das gerações futuras, além de não fazer menção à finitude dos recursos naturais. O relatório ficou conhecido como relatório Brundtland e consagrou a dimensão social como parte integrante da questão ambiental, além de mostrar-se contra os efeitos do liberalismo, uma vez que ele provocava o aumento das desigualdades sociais entre os países (Nascimento, 2012; WCED, 1987).

O advento da indústria foi responsável por provocar grandes mudanças no ambiente. A indústria acelerou a extração dos recursos naturais visando à obtenção do lucro em curto prazo, sem levar em conta suas consequências (Borges *et al.*, 2009).

Em 1984, ocorreu na Índia a maior catástrofe industrial da história, o desastre de Bhopal (Tabela 2) (Wittckind *et al.*, 2017).

Em 2011, um projeto intitulado *Plattform Industrie 4.0* (Plataforma Indústria 4.0) foi lançado pelo governo alemão durante a Feira de Hannover (Alemanha), a principal feira de tecnologia industrial do mundo. O projeto tinha como objetivo permitir a troca de informações/dados entre máquinas e seres humanos e a otimização de todo o processo produtivo.

Tabela 2: Principais eventos industriais que resultaram em catástrofes ambientais.

Evento	Evento agudo de poluição atmosférica	Doença de Minamata	Desastre de Bhopal
Local	Vale do Rio Meuse (Bélgica)	Baía de Minamata (Japão)	Bhopal (Índia)
Ano	1930	1956	1984
Causas do evento	Combinação entre emissões acentuadas de poluentes e condições meteorológicas durante o inverno resultou em uma neblina tóxica e densa que cobriu parte da Bélgica.	Descarte de efluentes contendo metilmercúrio na baía de Minamata pela Chisso Corporation, de 1932 a 1968.	A inexistência de planos de segurança e de conscientização da população local, além de planos de evacuação da área em caso de acidente; a adoção de um método reacional de menor custo e maiores riscos; a falta de investimento à medida que a rentabilidade da fábrica de Bhopal diminuiu devido ao surgimento de pesticidas concorrentes.
Consequências do evento	Centenas de pessoas apresentaram problemas respiratórios e cerca de 60 pessoas morreram.	Gatos e cachorros alimentados com restos de peixe das docas da baía de Minamata começaram a sofrer convulsões e a apresentar comportamentos estranhos. Corvos começaram a cair sem vida nas rochas e moradores passaram a apresentar sintomas alarmantes como: tremores e convulsões incontroláveis, perda de fala e audição e dormência. Estudos epidemiológicos realizados em 1956 identificaram 55 casos da doença, 17 dos quais evoluíram a óbito.	A catástrofe resultou na morte de mais 20.000 pessoas e em diversos problemas médicos e ambientais.
Explicação química para o evento	Estima-se que a concentração de SO_2 na região aumentou de 9,6 ppm para 38,4 ppm.	Mercúrio inorgânico era empregado como catalisador na síntese do acetaldeído a partir da hidrólise do acetileno. Na reação era gerado metilmercúrio como subproduto, a espécie de mercúrio mais tóxica e cuja exposição é capaz de provocar efeitos de origem neurológica.	A filial indiana da empresa estadunidense *Union Carbide Corporation* passou a produzir o pesticida carbaril por meio da mistura do α-naftol com isocianato de metila (ICM), sendo que este último era produzido a partir da reação entre a metilamina e o fosgênio, um gás extremamente letal. Uma reação inesperada em um dos tanques que armazenava o ICM provocou a liberação de gases tóxicos que se espalharam rapidamente pela região ao redor da fábrica.
Referências	Jun, 2021; Nemery *et al.*, 2001; Silva e Vieira, 2017.	Bisinoti e Jardim, 2004; Hachiya, 2006; Jenks, 2010.	Chemello, 2010; Martins, 2016; Wittckind *et al.*, 2017.

Em 2015, a Plataforma Indústria 4.0 foi relançada como um programa do governo alemão (Sacomano *et al.*, 2018).

A Indústria 4.0 se apoia em nove pilares tecnológicos: *Big Data*, robótica autônoma, manufatura aditiva (ex.: impressão 3D), simulação, integração de sistemas, computação em nuvem, Internet das Coisas, segurança cibernética e realidade aumentada. A linha de produção de uma planta industrial 4.0 pode ser acionada e controlada remotamente. Nesse contexto, um modelo virtual dessa linha pode ser criado para ser otimizado *online*, garantindo que, quando implantado, cause um número reduzido de problemas. Problemas na linha de produção podem ser detectados pelo próprio sistema que aciona os fornecedores, solicitando sua manutenção. Além disso, os clientes podem ter seus pedidos processados e programados automaticamente, além de terem acesso virtual às fases de produção, tendo inclusive a possibilidade de realizarem customizações em seus produtos (Sacomano *et al.*, 2018).

Além de promover automatização nas plantas industriais e maior eficácia dos processos, a Indústria 4.0 pode contribuir para a adequação da produção visando o desenvolvimento sustentável. Em geral, as indústrias consomem muita energia e água. A automatização dos processos torna possível programar as máquinas para que operem com menos recursos em determinados horários e para que sejam desligadas quando não houver demanda, o que contribui para a economia de energia e de água. A manufatura aditiva, na qual a matéria-prima é adicionada até a formação completa de um produto, contribui para a redução de resíduos. Em se tratando da fabricação tradicional, os sistemas inteligentes conseguem utilizar os recursos de forma mais precisa, evitando o desperdício (Pederneiras, 2020).

Após a aula virtual sobre Indústria 4.0 e sustentabilidade, foi apresentado aos professores cursistas o produto educacional desenvolvido no PROFQUI e que propõe duas atividades para a abordagem da mineração e da reciclagem do alumínio.

Abordagem do ciclo de vida do alumínio no Ensino Médio e no PROFQUI

O alumínio é um elemento economicamente importante no mundo contemporâneo por possuir inúmeras aplicações em diversos setores industriais, estando presente nos meios de transporte (automóveis, aeronaves, trens e navios), na construção civil (portas, janelas e fachadas) e nos eletroeletrônicos (equipamentos elétricos, componentes eletrônicos e de transmissão de energia) (Constantino *et al.*, 2002). Além de possuir diversas propriedades químicas que o tornam um material excepcional, ele é considerado sustentável por apresentar alto nível de reciclabilidade, ou seja, ele pode ser reciclado diversas vezes sem perder qualidade (Beegreen, 2019). O Brasil tem se destacado como um dos líderes mundiais na reciclagem de latas de alumínio, sendo que, de acordo com a Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio (Abralatas), o país obteve um índice de reciclagem de 97,4% em 2020, mesmo em um cenário de pandemia em que houve interrupção de atividades de coleta seletiva em diversos municípios e a suspensão do trabalho de cooperativas de catadores (Agência Brasil; 2021). Essas características permitem que o tema sustentabilidade possa ser contextualizado a partir do ciclo de vida do alumínio.

Um produto educacional para a abordagem do tema metais no Ensino Médio foi desenvolvido no PROFQUI. Ele consiste em um material de apoio ao professor constituído por cinco atividades. As duas primeiras atividades desse material são dinâmicas de grupo, cujos objetivos são: fazer com que os estudantes identifiquem a presença de elementos metálicos em objetos/produtos selecionados; e promover uma discussão sobre a organização desses elementos na tabela periódica (Freitas *et al.*, 2019; Freitas *et al.*, 2021). A terceira atividade propõe explorar o conceito de densidade por meio da sua determinação experimental para alguns metais (Freitas *et al.*, 2019). As duas últimas atividades objetivam trabalhar conceitos químicos relacionados à fabricação do alumínio, além de aspectos químicos, ambientais e sociais relacionados à reciclagem deste metal por meio de uma história em quadrinhos e de recursos audiovisuais. A seguir é apresentado um relato do desenvolvimento das duas últimas atividades, realizadas em 4 aulas, com 14 alunos do 1º ano do Ensino Médio do período matutino de um colégio estadual de Goiás, no segundo semestre de 2018, em uma disciplina criada pela Secretaria de Educação do referido estado com o objetivo de possibilitar a melhoria do ensino de Química.

Um produto educacional para a abordagem do tema metais no Ensino Médio foi desenvolvido no PROFQUI. Ele consiste em um material de apoio ao professor constituído por cinco atividades.

O ciclo de vida do alumínio se inicia com a mineração da bauxita e termina com a reciclagem do alumínio. Na atividade intitulada "De onde vem os metais?", o professor propôs a leitura, em sala de aula, da história em quadrinhos "Wandeca e o que sai da mina: a aventura com o alumínio" (CETEM e MCT, 2006), um material de divulgação científica disponibilizado gratuitamente na internet. O material conta a aventura de uma perereca chamada Wandeca que, no começo da história, caminha levando uma prancha de *surf* rumo à casa de seu primo Deco, que não aparece na história, uma vez que Wandeca não chega ao seu destino. No caminho, ela percebe que está andando sobre um chão vermelho, quando encontra dois robôs: Tecno e Logia. Nesse momento, Wandeca descobre que aquele local era uma área de exploração mineral de alumínio e que a terra vermelha onde pisava se tratava de rejeitos de bauxita (minério de alumínio), da qual é extraída a alumina, mineral que dá origem ao alumínio primário. A partir daí eles percorrem juntos todo o processo envolvido na obtenção do alumínio. No final da história, Wandeca aparece descartando uma lata de alumínio no lixo convencional, quando Logia chama sua atenção dizendo que a latinha não deveria ser descartada ali porque o alumínio é um metal reciclável (CETEM e MCT, 2006).

Para tornar a leitura do livro mais atrativa e proporcionar um ambiente agradável de aprendizagem, o professor designou três estudantes para fazer o papel dos protagonistas da história. No decorrer da leitura, o professor fez intervenções para explicar os conceitos químicos necessários para promover uma compreensão crítica da história, destacando aqueles considerados relevantes para o primeiro ano do Ensino Médio e que haviam sido abordados nas atividades anteriores. Ele explicou que o minério com aspecto de terra vermelha (bauxita) é uma forma impura do mineral alumina (Al_2O_3), de onde é extraído o metal alumínio por meio do processo Hall-Héroult. Nesse processo, ocorre a eletrólise ígnea da alumina (preliminarmente refinada pelo processo Bayer), que é reduzida a alumínio metálico enquanto que o ânodo de carbono é oxidado a CO_2 (Toquetto, 2019). Após a finalização da leitura, o vídeo "De onde vem o alumínio?"

(Manual do Mundo, 2018) foi apresentado aos estudantes para complementar as informações retratadas na história em quadrinhos.

Ao final da atividade, foi solicitado aos alunos que respondessem a pergunta: "O que é o alumínio e onde ele é utilizado?". As respostas *"Elemento químico muito abundante na crosta terrestre, utilizado na fabricação de copos, panelas"* e *"É um metal usado em panelas, fabricação do papel alumínio"* foram consideradas satisfatórias, e a resposta *"É um metal usado em vários objetos"* foi considerada parcialmente satisfatória. *"Não sei"* e *"Em muitos lugares"* são exemplos de respostas consideradas insatisfatórias.

A outra atividade, intitulada "Como são recicladas as latinhas de alumínio?", teve como objetivo conscientizar os alunos sobre a importância ambiental, econômica e social da separação e do destino adequados de materiais recicláveis como o alumínio. Primeiramente, os estudantes assistiram ao vídeo "Como funciona a reciclagem de latinhas de alumínio?" (Manual do Mundo, 2016). Após isso, o professor iniciou uma discussão sobre os benefícios ambientais da reciclagem do alumínio, destacando que ela promove economia de matéria-prima (bauxita) para a fabricação de alumínio e de energia, utilizando apenas 5% da energia elétrica empregada na produção do alumínio primário, além de promover uma diminuição do volume de lixo gerado que seria destinado aos aterros sanitários (ABAL, 2018). Além disso, a reciclagem do alumínio promove uma diminuição significativa dos gases de efeito estufa (GEE), como CO_2, CF_4 e C_2F_6, em comparação com aqueles emitidos no processo de produção do alumínio primário (Silva, 2010). A cadeia de reciclagem do alumínio também tem um papel social importante, pois é capaz de gerar um número significativo de empregos, uma vez que envolve cooperativas e catadores autônomos de materiais recicláveis, sucateiros de pequeno e grande porte e outros intermediários, que recolhem as embalagens em postos de coleta, condomínios públicos e privados e pontos comerciais (CEMPRE, 2018).

Para finalizar a atividade, os estudantes responderam duas questões. Quando questionados acerca da importância da reciclagem do alumínio, as duas respostas que mais chamaram a atenção foram: *"Minimizar a emissão de carbono e promover o eficiente uso de recursos naturais"* e *"Além de combater a poluição de rios, lagos, das ruas, podemos economizar recursos com a reciclagem do alumínio e ajudar o meio ambiente"*. Quando questionados se realizavam a coleta seletiva em suas casas, constatou-se que a maioria dos educandos não faziam a separação dos materiais, justificando tal ato pelo fato de não ocorrer a coleta seletiva por catadores ou cooperativas na região onde moram. A atividade despertou a consciência ambiental nos estudantes e muitos afirmaram que passariam a fiscalizar os pais no descarte das latinhas de alumínio.

As duas atividades relatadas anteriormente foram apresentadas de maneira sucinta aos professores cursistas do PROFQUI e o material contendo essas atividades foi disponibilizado a eles. Após a apresentação, foi solicitado aos professores cursistas que elaborassem um plano de aulas que contemplasse os temas sustentabilidade, mineração, produção e reciclagem do alumínio.

De maneira geral, a avalição dos planos de aulas mostrou que os professores cursistas têm dificuldade em definir com clareza os objetivos de suas propostas. Com relação ao público-alvo das aulas propostas, dois professores propuseram atividades para o 1º ano do Ensino Médio, dois para o 2º ano do Ensino Médio e um para o 2º módulo do Ensino Técnico em Química. O tempo previsto para o desenvolvimento dos planos de aulas propostos variou entre 4 e 6 aulas.

De maneira geral, a avalição dos planos de aulas mostrou que os professores cursistas têm dificuldade em definir com clareza os objetivos de suas propostas.

Com relação aos conteúdos químicos a serem abordados nas aulas propostas, os seguintes conteúdos foram classificados como satisfatórios: propriedade dos metais, ligação metálica, metalurgia e siderurgia, impactos ambientais, separação de sólidos, estudo do elemento alumínio, mineração da bauxita, refino (processo Bayer), redução, tratamento dos rejeitos da mineração, fabricação de produtos derivados do alumínio, reciclagem, eletrólise ígnea e processo industrial do alumínio. Observa-se que a maioria desses conteúdos são coerentes com a temática mineração e reciclagem do alumínio, exceto os conteúdos separação de sólidos e redução, que não estão completamente claros. O professor cursista **E** elencou os seguintes conteúdos: conscientização ambiental (Geografia); recicláveis e não recicláveis (Ciências - Química), reutilização e recuperação de objetos (Ciências - Química); descarte do lixo orgânico (Geografia e Química); e história do reaproveitamento e da reciclagem dos materiais ao longo do tempo (História). Esses conteúdos foram considerados parcialmente satisfatórios por envolverem a temática sustentabilidade, mas não serem direcionados para o contexto do alumínio, conforme havia sido solicitado.

Com relação aos recursos didáticos, a maioria dos professores elencaram recursos tradicionais, como quadro branco, pincel, *datashow*, livros, vídeos e outros. As propostas de dois professores cursistas chamaram a atenção: o professor **D** mencionou a utilização de reagentes químicos, vidrarias e equipamentos de laboratório, e o professor **B** mencionou uma visita virtual a uma mineradora e o uso de jogos e simuladores do processo de mineração.

Na metodologia, chamou a atenção a resposta do professor cursista **D**, que possivelmente baseou a sua proposta em sua pesquisa de mestrado. A resposta do referido professor foi: "*As aulas serão expositivas, explicativas e dialogadas no formato híbrido no modelo rotacional, adaptando o modelo de sala de aula invertida, rotação por estações e laboratório rotacional*". No item avaliação, os professores cursistas sugeriram: aplicação de avaliação escrita, participação dos estudantes nas aulas e seminários, debate de notícias sobre desastres ambientais causados pela mineração e análise de

textos interdisciplinares. Nesse tópico do plano de aulas, o professor cursista **A** também sugeriu a utilização da ferramenta *Plickers* (Plickers, 2022) para avaliar os alunos.

Para finalizar essa etapa, foi produzido um *podcast* de aproximadamente 15 minutos, com o objetivo de apontar alguns objetos de conhecimento que poderiam ser abordados no Ensino Médio a partir do tema produção e reciclagem do alumínio e realizar o fechamento da atividade. Optou-se pelo *podcast* uma vez que os professores cursistas possuem pouco tempo para se dedicar às atividades do PROFQUI, pois realizam o mestrado concomitantemente ao trabalho nas escolas.

Avaliando os objetos de conhecimento da Química referentes à área de ciências da natureza e suas tecnologias no Currículo Referência do Ensino Médio de Minas Gerais (Minas Gerais, 2021), oberva-se que a eletroquímica é um objeto de conhecimento da competência 1 e a produção e aplicação do alumínio, da competência 3. Assim, a produção do alumínio a partir da redução eletroquímica do óxido de alumínio fundido pelo processo Hall-Héroult (Toquetto, 2019) poderia ser abordada para contemplar esses conteúdos.

Problemas ambientais mundiais, nacionais e regionais integram os objetos de conhecimento da competência 2 (Minas Gerais, 2021). Um problema recorrente em Minas Gerais e que pode ser trabalhado com os alunos do Ensino Médio consiste no rompimento de barragens, que constituem o principal dispositivo de destinação final de rejeitos da mineração no Brasil. Em Minas Gerais, os casos ocorridos nos municípios de Mariana e Brumadinho causaram desastres ambientais catastróficos, o que possibilitou questionar a segurança do método frequentemente empregado na construção de barragens de rejeitos de mineração, denominado método de alteamento para montante, muito empregado por apresentar baixo custo quando comparado a outros métodos mais seguros (Silva e Ribeiro, 2020).

Para finalizar essa etapa, foi produzido um podcast de aproximadamente 15 minutos, com o objetivo de apontar alguns objetos de conhecimento que poderiam ser abordados no Ensino Médio a partir do tema produção e reciclagem do alumínio e realizar o fechamento da atividade.

Propriedades coligativas e suas aplicações constituem outro objeto da competência 2 (Minas Gerais, 2021). A produção do alumínio também pode ser utilizada na contextualização da abordagem desse conteúdo. Como mencionado anteriormente, o processo de produção do alumínio primário consiste na eletrólise do óxido de alumínio fundido. A temperatura de fusão do óxido de alumínio é em torno de 2072 ºC. A mistura de criolita (Na_3AlF_6) ao óxido de alumínio fundido resulta no abaixamento significativo da temperatura de fusão para 980 ºC, o que contribui para tornar o processo menos dispendioso (Kotz *et al.*, 2011).

O uso de novas tecnologias com objetivos sustentáveis é um objeto de conhecimento da competência 3 (Minas Gerais, 2021), possibilitando uma abordagem integrada dos temas Indústria 4.0 e sustentabilidade com alunos do Ensino Médio. Considerando a produção de alumínio, um estudo realizado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) em parceria com a Associação Brasileira do Alumínio (ABAL) mostrou que a maioria das plantas industriais do setor do alumínio possuem soluções de automação e sensores em pelo menos parte de seu parque fabril. Apesar disso, ainda é necessário ampliar a combinação de novas tecnologias habilitadoras de Indústria 4.0. Assim, a transformação digital deve fortalecer cada vez mais a sustentabilidade, a inovação e a competitividade do setor (Agência CNI de Notícias, 2021).

A química ambiental, descarte consciente, substâncias e ações sustentáveis também integram um objeto de conhecimento da competência 3. Tal objeto pode ser abordado a partir do descarte adequado e da reciclagem do alumínio, como apresentado anteriormente.

Considerações finais

Este trabalho teve como objetivo apresentar relatos de experiências de atividades desenvolvidas no Ensino Médio e no PROFQUI envolvendo os temas Indústria 4.0 e sustentabilidade. Essas atividades podem contribuir para a contextualização histórica e regional dos temas e para uma aprendizagem mais crítica e efetiva. Foram apresentadas propostas de conteúdos que podem ser abordados na Educação Básica a partir da cadeia produtiva do alumínio, atendendo os objetos de conhecimento e as competências do Currículo Referência do Ensino Médio de Minas Gerais. No caso do PROFQUI, a contextualização envolvendo o ciclo de vida do alumínio possibilitou a discussão de um tema regional de grande relevância econômica, social e ambiental que poderá inspirar os professores cursistas na abordagem crítica desse e de outros temas com seus alunos do Ensino Médio.

Nota

*O número de ocorrências de palavras foi contabilizado empregando o *Google Chrome*.

Jefferson Silva Ribeiro (d201610339@uftm.edu.br), técnico em Química e discente do curso de Licenciaturaem Química da Universidade Federal do Triângulo Mineiro. Uberaba, MG – BR. **Sérgio de Oliveira Freitas** (sofreitasprofessor@hotmail.com), mestre pelo Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) e professor da Educação Básica no Colégio Estadual Adoniro Martins de Andrade. Itumbiara, GO – BR. **Pedro Ivo da Silva Maia** (pedro.maia@uftm.edu.br), graduado em Química (Bacharelado e Licenciatura) e mestre em Química Inorgânica pela Universidade de Brasília, doutor em Química Inorgânica pela Universidade de São Paulo. Atualmente é Professor Associado da Universidade Federal do Triângulo Mineiro. Uberaba, MG – BR. **Carla Regina Costa** (carla.costa@uftm.edu.br), graduada em Química (Licenciatura e Bacharelado com Atribuições Tecnológicas), mestre em Ciências e doutora em Ciências (área de concentração: Química) pela Universidade de São Paulo. Atualmente é Professora Associada da Universidade Federal do Triângulo Mineiro. Uberaba, MG – BR.

Referências

ABAL (Associação Brasileira de Alumínio). *Sustentabilidade*: Reciclagem. Disponível em: http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/por-que-reciclar/, acesso em jun. 2018.

AGÊNCIA BRASIL. *Brasil fecha 2020 entre os maiores recicladores de latas de alumínio*. 2021. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2021-04/brasil-fecha-2020-entre-os-maiores-recicladores-de-latas-de-aluminio, acesso em jul. 2021.

Agência CNI de Notícias. *Empresas de alumínio rumo à indústria 4.0*. 2021. Disponível em: https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao-e-tecnologia/empresas-de-aluminio-rumo-a-industria-40/, acesso em jul. 2021.

ALMEIDA, P. S. *Indústria 4.0 -Princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial*. São Paulo: Érica, 2019. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536530451/, acesso em out. 2021.

BARRETO, T. O que significa o termo 4.0 quando aplicado a empresas, setores e profissionais? *Ind4.0 Manufatura Avançada Organização*. 2020. Disponível em: https://www.industria40.ind.br/artigo/19813-o-que-significa-o-termo-40-quando-aplicado-a-empresas-setores-e-profissionais, acesso em nov. 2021.

BASTOS, A. Mineração 4.0: O futuro da mineração. *TECKAVAN Blog*. 2020. Disponível em: https://teckavan.com.br/blog/mineracao-4-0/, acesso em nov. 2021.

BEEGREEN. *Consumo consciente e sustentabilidade*: conheça a reciclabilidade dos materiais. 2019. Disponível em: https://beegreen.eco.br/consumo-consciente-reciclabilidade-dos-materiais/, acesso em nov. 2021.

BISINOTI, M. C. e JARDIM, W. F. O comportamento do metilmercúrio (MetilHg) no ambiente. *Química Nova*, v. 27, n. 4, p. 593-600, 2004.

BORGES, L. A. C.; REZENDE, J. L. P. e PEREIRA, J. A. A. Evolução da legislação ambiental no Brasil. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v. 2, n. 3, p. 447-466, 2009.

BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/, acesso em out. 2021.

CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem). *Latas de alumínio*. Disponível em: https://cempre.org.br/latas-de-aluminio/, acesso em jun. 2018.

CETEM (Centro de Tecnologia Mineral); MCT (Ministério da Ciência e Tecnologia). *Wandeca e o que sai da mina: a aventura com o alumínio*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2006. Disponível em: https://www.cetem.gov.br/antigo/images/popularizacao-ciencia/wandeca-2.pdf, acesso em nov. 2019.

CHEMELLO, E. Desastre em Bhopal. *Química Virtual*. 2010. Disponível em: https://pdfslide.net/documents/a-tragedia-de-bhopal.html, acesso em out. 2021.

CONSTANTINO, V. R. L.; ARAKI, K.; SILVA, D. O. e OLIVEIRA, W. Preparação de compostos de alumínio a partir da bauxita: considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático. *Química Nova*, v. 25, n. 3, p. 490-498, 2002.

FREITAS, S. O.; COSTA, C. R. e MAIA, P. I. S. Uma proposta de sequência didática para a abordagem do tema metais no Ensino Médio. 2019. Disponível em: http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/574367, acesso em fev. 2022.

FREITAS, S. O.; MAIA, P. I. S. e COSTA, C. R. Uma proposta para a abordagem da tabela periódica nos cursos de formação de professores de ciências e no Ensino Médio a partir do tema metais. *Revista Virtual de Química*, v. 13, n. 3, p. 822-835, 2021.

GONZAGA, G. R.; PAIVA, D. C. e EICHLER, M. L. Desafios e perspectivas atuais na formação do professor de química: expectativas sobre o Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI). *Química Nova*, v. 43, n. 4, p. 493-505, 2020.

HACHIYA, N. The history and the present of Minamata disease – Entering the second half a century. *Japan Medical Association Journal*, v. 49, n. 3, p. 112-118, 2006.

JENKS, A. L. *Perils of progress:* environmental disasters in the twentieth century. London: Pearson, 2010.

JUN, K. *Case study of air pollution episodes in Meuse Valley of Belgium, Donora of Pennsylvania, and London, U.K.* Environmental Toxicology and Human Health, vol. I, *Encyclopedia of Life Support Systems* (EOLSS). Disponível em: https://www.eolss.net/sample-chapters/C09/E4-12-02-03.pdf, acesso em out 2021.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M. e WEAVER, G. C. *Química Geral e Reações Químicas*, Vol. 2. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

LEVIN, G. *Agricultura moderna e sustentabilidade*. 2020. Disponível em: https://www.bayer.com.br/pt/blog/agricultura-moderna-e-sustentabilidade, acesso em nov. 2021.

MANUAL DO MUNDO. *Como funciona a reciclagem de latinhas de alumínio?* 1 vídeo (3 min. 30 s). 2016. Disponível em: http://www.manualdomundo.com.br/2016/06/reciclagem-de-latinha-de-aluminio/, acesso em jun. 2018.

MANUAL DO MUNDO. *De onde vem o alumínio?* 1 vídeo (10 min). 2018. Disponível em: http://www.manualdomundo.com.br/2018/07/como-e-fabricado-o-aluminio-borave/, acesso em jun. 2018.

MARTINS, B. S. Revisitando o desastre de Bhopal: os tempos da violência e as latitudes da memória. *Sociologias*, v. 18, n. 43, p. 116-148, 2016.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais. *Currículo Referência do Ensino Médio de Minas Gerais*. Minas Gerais, 2021. Disponível em: https://www2.educacao.mg.gov.br/images/documentos/Curr%C3%ADculo%20Refer%C3%AAncia%20do%20Ensino%20M%C3%A9dio.pdf, acesso em nov. 2021.

NASCIMENTO, E. P. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. *Estudos Avançados*, v. 26, n. 74, p. 51-64, 2012.

NEMERY, B.; HOET, P. H. M. e NEMMAR, A. The Meuse Valley fog of 1930: an air pollution disaster. *The Lancet*, v. 357, n. 9257, p. 704-708, 2001.

OLIVEIRA, S. V. W. B.; LEONETI, A. B. e CEZARINO, L. O. *Sustentabilidade: princípios e estratégias.* São Paulo: Manole, 2019. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788520462447/, acesso em out. 2021.

PASQUINI, N. C. As Revoluções Industriais: uma abordagem conceitual. *Revista Tecnológica da Fatec Americana*, v. 8, n. 1, p. 29-44, 2020.

PEDERNEIRAS, G. *Sustentabilidade na Indústria 4.0*. 2020. Disponível em: https://www.industria40.ind.br/artigo/20042-sustentabilidade-na-industria-40, acesso em out. 2021.

PLICKERS. *Formative assessment has never been faster*. Disponível em: https://get.plickers.com/, acesso em fev. 2022.

POTT, C. M. e ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres

ambientais e o despertarde um novo pensamento. *Estudos Avançados*, v. 31, n. 89, p. 271-283, 2017.

QUIMENTÃO, F. e MILARÉ, T. Contextualização, interdisciplinaridade e experimentação na proposta curricular paulista de Química. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente*, v.1, n. 1, p. 47-54, 2015.

QUINTINO, L. F.; SILVEIRA, A. M.; AGUIAR, F. R.; RUWER, L. M. E. e QUADROS, M. L. *Indústria 4.0*. Porto Alegre: SAGAH, 2019. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595028531/, acesso em out. 2021.

ROBERTS, B. The Third Industrial Revolution: Implications for Planning Cities and Regions. Camberra: Working Paper Urban Frontiers 1. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/278671121, acesso em out. 2021.

SACOMANO, J. B.; GONÇALVES, R. F.; SILVA, M. T.; BONILLA, S. H. e SÁTYRO, W. C. *Indústria 4.0: conceitos e fundamentos*. São Paulo: Blucher, 2018. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521213710/, acesso em out. 2021.

SAE DIGITAL. *Educação 4.0 – Tudo o que você precisa saber.* Disponível em: https://sae.digital/educacao-4-0/, acesso em out. 2021.

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. As Revoluções Industriais até a Indústria 4.0. Revista Interface Tecnológica, v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018.

SANTANDER. Por que sua empresa deve ser sustentável? Disponível em: https://santandernegocioseempresas.com.br/conhecimento/empreendedorismo/por-que-sua-empresa-deve-ser-sustentavel/, acesso em out. 2021.

SANTOS, B. C. D. e FERREIRA M. Contextualização como princípio para o ensino de Química no âmbito de um curso de educação popular. *Experiências em Ensino de Ciências*, v.13, n. 5, p. 497- 511, 2018.

SILVA, A. F. e VIEIRA, C. A. Aspectos da poluição atmosférica: uma reflexão sobre a qualidade do ar nas cidades brasileiras. *Ciência e Sustentabilidade*, v. 3, n. 1, p. 166-189, 2017.

SILVA, K. B. C. e RIBEIRO, K. D. R. Ruptura em barragens de rejeitos: uma abordagem sobre monitoramento e fiscalização. *Ignis*, v. 9, n. 3, p. 17-34, 2020.

SILVA, D. C. C. *Estudo sobre a vulnerabilidade sócio-ambiental no município de Alumínio , São Paulo, a partir da poluição do ar*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 159 f. 2010.

TOQUETTO, A. R. O tema "Alumínio" nas coleções do PNLD 2018: uma análise de acordo com a educação CTS. *Química Nova na Escola*, v. 41, n. 3, p. 233-241, 2019.

TRABAZO, C. *Meio ambiente é uma das principais vítimas de guerras e conflitos armados*. 2018. Disponível em: http://diplomaciacivil.org.br/meio-ambiente-e-uma-das-principais-vitimas-de-guerras-e-conflitos-armados/. Acesso em: 15 nov. 2021.

VIANA, M. H. Capes aprova criação do Profqui, mestrado profissional em rede para professores de química. *Sociedade Brasileira de Química.* 2015. Disponível em: http://www.sbq.org.br/noticia/capes-aprova-cria%C3%A7%C3%A3o-do-profqui-mestrado-profissional-em-rede-para-professores-de-qu%C3%ADmica. Acesso em: 02 nov. 2021.

WITTCKIND, E. V.; BERWIG, J. A. e ENGELMANN W. O desastre de Bhopal: riscos e vulnerabilidades na transferência de tecnologias e o direito de saber. *Veredas do Direito*, v. 14, n. 30, p. 293-316, 2017.

WCED (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT): *Our Common Future.* United Nations, 1987. Disponível em: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf, acesso em fev. 2022.

Abstract: *Approach to Industry 4.0 and sustainability themes: contextualization based on historical facts and on the aluminum production chain.* The Common National Curriculum Base (BNCC) includes terms that are widespread in today's society, such as "digital" and "technology", which characterize the current historical scenario called Industry 4.0, as well as "sustainability", which has considerably influenced strategic business decisions. BNCC states that it is necessary to discuss with students the impacts of technology on the operation of society and its consequences for sustainable development. Thus, the themes Industry 4.0 and sustainability can be approached in a contextualized way in High School and in continuing education courses for teachers. This article aims to report the experiences with PROFQUI program teachers and high school students during the approach to the themes Industry 4.0 and sustainability, relating them to historical events and the aluminum production chain.
Keywords: Industrial Revolutions; sustainable development; mining.

A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160303

A Educação Ambiental na práxis do Antropoceno e dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

Jussara L. de Miranda, Priscila Tamiasso-Martinhon, Rosana Gerpe, Raquel F. de Oliveira, Priscila de S. Faria, Ariane S. Gonçalves

Neste artigo são abordadas criticamente as inter-relações entre educação ambiental (EA), as discussões sobre o Antropoceno e as propostas para os objetivos de desenvolvimento sustentável no contexto do ensino de química. São apresentadas atividades de EA no ensino de química, na perspectiva crítica, contemplando temas ambientais relevantes em nosso país em uma abordagem interdisciplinar e transdisciplinar, como, por exemplo, os impactos sociais das mudanças climáticas. Essas atividades basearam-se nas vivências de nossos grupos de pesquisa adotando as metodologias de oficinas temáticas e abrangendo os eixos de ensino, pesquisa e extensão na UFRJ, nos níveis de pós-graduação, superior, médio e fundamental de ensino. A fundamentação teórica para a realização dessas oficinas consistiu no entrelaçamento entre os pressupostos freirianos e humanistas de Carl Rogers, destacando-se o emprego do protagonismo do educando/indivíduo, assim como a responsabilização por suas escolhas e atuação no mundo.

▶ educação ambiental crítica, desenvolvimento sustentável, antropoceno ◀

Recebido em 21/11/2021, aceito em 06/03/2022

O mundo que ansiava por um momento de um "novo normal" (aspas das autoras) pós pandemia de covid-19 ou por um contexto pandêmico sem restrições sociais se defrontou com os desafios planetários e suas consequências que têm sido ignorados ou menosprezados, especialmente no âmbito das decisões governamentais. Quando nos referimos ao mundo e ao utilizarmos assim, podemos não perceber, mas já estamos pressupondo uma concepção hierárquica da espécie humana sobre as demais, como dominante no planeta, por igualar o mundo à humanidade, sem levar em consideração as outras espécies e ecossistemas diversos.

Podemos, a partir daí, contextualizar a reflexão sobre a proposta do Antropoceno, termo cunhado por Stoermer e depois divulgado por ele e Crutzen (2000) como sendo a chamada Época dos Humanos, ou seja, um tempo no qual a espécie humana adquire uma "força" ou ação de magnitude geológica, capaz de imprimir a sua pegada ou alterações por todo o planeta e por um longo tempo. Crutzen e Stoermer (2000) divulgaram o termo Antropoceno, de origem grega (*anthropos*- humano e *ceno*- novo, recente), como a época geológica atual, na qual os seres humanos assumem um papel central na geologia e ecologia. Seu início se deu com a Revolução Industrial, com a invenção e uso da máquina a vapor (Silva e Arbilla, 2018).

Mesmo que ainda exista o debate se vivemos ou não na Época dos Humanos, as discussões e reflexões relacionadas com o Antropoceno são de grande valor tanto para a comunidade acadêmica quanto para a sociedade.

Mesmo que ainda exista o debate se vivemos ou não na Época dos Humanos, as discussões e reflexões relacionadas com o Antropoceno são de grande valor tanto para a comunidade acadêmica quanto para a sociedade. Algumas dessas indagações podem ser apontadas inicialmente: - Quais seriam as modificações em escala e força planetárias pelas quais a espécie humana é responsável? De que espécie humana estamos falando: de todos da espécie, incluindo as populações mais vulneráveis às mudanças climáticas? Os países do continente africano que emitem pouca quantidade de gases de efeito estufa (GEE) devem ser auxiliados por um fundo verde internacional? Se, como espécie, temos essa "força" geológica, por que ficamos à mercê de um vírus como o SARS-CoV-2?

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

O começo das respostas pode estar na proposta de modificação ou atualização de Antropoceno para Capitaloceno (Figura 1), feita por Moore (2015, 2016), que relaciona o capitalismo como sendo a real força propulsora da nova e atual época geológica, visto haver uma grande desigualdade social de acesso e usufruto dos recursos naturais e, consequentemente, também há desigualdade dos atuantes nas modificações planetárias. O capitalismo é o "inimigo" (aspas das autoras) a ser enfrentado, pois promove a exploração planetária até a exaustão em suas relações de consumo da natureza e da própria espécie humana elevada também à categoria de *commodity*. As reflexões nas relações entre a espécie humana e o meio, desfazendo a dicotomia ser humano-natureza, são provocadas na proposta do Capitaloceno/Antropoceno e a partir delas desencadeiam também discussões sobre as mudanças planetárias, tanto as climáticas quanto as sócio-políticas.

Figura 1: A nova época geológica: Antropoceno ou Capitaloceno? (Fonte: Adaptado de Geomorfus, 2019).

Educação Ambiental, Antropoceno e os ODS no Ensino de Química

De qual educação ambiental estamos falando?

A Educação Ambiental (EA) deveria ser contextualizada, social, histórica, científica e democrática, acessível e participativa, mesmo existindo diversas conceituações para ela, muitas delas influenciadas por forças políticas e econômicas (Sauvé, 2005; Loureiro, 2017). A abordagem da EA neste trabalho e na práxis dos grupos de pesquisa envolvidos nele é a social crítica. A Educação Ambiental Crítica (EAC) foi adotada como sendo a identificadora da prática cidadã e está, segundo a nossa óptica, aderente à discussão do Antropoceno, à abordagem crítica dos limites planetários (LP) e dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Segundo Loureiro, a EAC se traduz em complexa por ser abrangente, social, transdisciplinar:

> *A Educação ambiental crítica é bastante complexa em seu entendimento de natureza, sociedade, ser humano e educação, exigindo amplo trânsito entre ciências (sociais ou naturais) e filosofia, dialogando e construindo "pontes" e saberes transdisciplinares. Implica igualmente no estabelecimento de movimento para agirmos-pensarmos sobre elementos micro (currículo, conteúdos, atividades extracurriculares, relação escola-comunidade, projeto político pedagógico etc.) e sobre aspectos macro (política educacional, política de formação de professores, relação educação-trabalho-mercado, diretrizes curriculares etc), vinculando-os* (Loureiro, 2021, s/n).

Os referenciais teóricos para a nossa abordagem para a EAC se baseiam na dialogicidade entre os pressupostos de Paulo Freire e a ética humanista de Carl Rogers (Loureiro, 2016; Freitas, 2018; Amatuzzi, 2012; Ruffino, 1985).

O protagonismo do ser humano na aprendizagem e a autonomia responsável são arcabouços teóricos comuns a Rogers e Freire, em suas respectivas propostas de abordagem centrada na pessoa e no ensino no aluno (Ruffino, 1985). Além disso, as concepções de ser humano em transformação no mundo, a educação e suas relações têm pontos em comum para os dois, como ilustram as citações:

> *Em consequência entre o organismo e o meio, esta consciência de existir cresce e se organiza gradativamente para formar a noção do eu que, enquanto objeto da percepção, faz parte do campo da experiência total* (Justo, 1973).
>
> *A educação problematizadora se faz assim, um esforço permanente através do qual os homens vão se percebendo, criticamente, como* estão sendo *no mundo* com que *e* em que *se acham* (Freire, 2013, p. 73).

É com essa perspectiva que ensejamos a prática da EA na sociedade e no ensino de química capaz de promover trocas entre os saberes, fomentando a inter-, a trans- e a indisciplinaridade na discussão dos temas ambientais mais preocupantes em nosso país (Miranda *et al.*, 2018). Estes, por sua vez, são muitos atualmente, quer em quantidade, quer em intensidade de impactos, abrangendo desde o aumento das queimadas e do desmatamento da floresta Amazônica, identificados pelos dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) até o tratamento (ou a falta dele) do nosso lixo urbano (G1, 2021).

O Antropoceno e os tecnofósseis no ensino de química

A proposta do Antropoceno vai além das mudanças climáticas porque também traz à tona a discussão dos novos materiais, o uso de fertilizantes que tem incrementado as concentrações de fósforo e nitrogênio, a mineração e os testes nucleares que têm deixado marcas nos sedimentos e no gelo. Os novos materiais introduzidos pela ação das atividades humanas que se encontram em (praticamente) todas regiões do planeta, alguns até dentro dos nossos próprios organismos, são chamados de tecnofósseis (Figura 2). Como exemplos de tecnofósseis, temos o metal alumínio, o concreto, os plásticos,

ou seja, materiais que não ocorrem ou existem no planeta na forma que usamos, mas que foram nele introduzidos e podem ser encontrados em praticamente toda a sua extensão e poderão nele existir por muito tempo, representando "pegadas" do produto da tecnologia da espécie humana.

Promover reflexões críticas e estabelecer associações com os conteúdos de química a respeito dos tecnofósseis, de como são obtidos e quais são os custos ambientais para isso podem ser feitas no ensino de química, contextualizando-os com a EA. As aulas de tabela periódica, de propriedades de metais, de eletroquímica, por exemplo, podem ser provocadas pela abordagem do tecnofóssil alumínio, metal tão utilizado de diferentes modos por nossa sociedade e pouco discutido no ensino de química/ciências. A partir dessa abordagem provocativa, podem-se estabelecer inter-relações com suas propriedades, assim como a comparação com outros metais, como o ferro, por exemplo.

Analogamente, os plásticos, microplásticos, bioplásticos carecem ainda de uma contextualização ambiental mais abrangente que enseje a reflexão crítica e a associação com as propriedades dos polímeros que os compõem, as cadeias carbônicas presentes, suas estabilidades químicas *versus* tempo de decomposição. Inserir de modo compartilhado e participativo essas temáticas, propondo inter-relações nas áreas do conhecimento com a contextualização ambiental, respeitando e incentivando a dialogicidade e deixando fluir a análise crítica a partir da própria construção dos discentes, pode contribuir significativamente para o desenvolvimento de um novo olhar para a química no seu processo de ensino-aprendizagem.

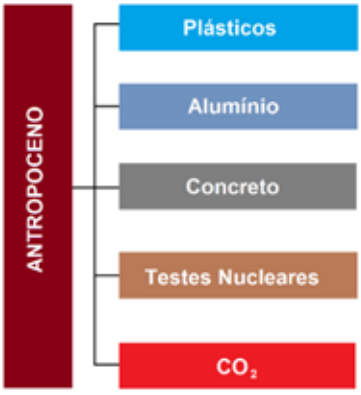


Figura 2: Os tecnofósseis do Antropoceno e o CO_2.

Os limites planetários e os ODS no ensino de química

Além dos tecnofósseis, a proposição da abordagem sobre os LP (Figura 3) nas aulas de química e de ciências, ou seja, os limites considerados para termos, como humanidade, um "espaço de sobrevivência operacional seguro" – propostos por um grupo de pesquisadores liderado pelo *Stockholm Resilience Centre* (SRC) – e todas suas consequências podem proporcionar uma visão sistêmica que se contrapõe à fragmentação disciplinar e conteudista (Rockström *et al.*, 2009a; Rockström *et al.*, 2009b; Steffen *et al.*, 2015). Os nove LP têm sido discutidos, questionados e atualizados quanto a suas fronteiras terem sido ultrapassadas ou não e se são de impactos globais ou regionais ou de ambas as esferas. É justamente essa discussão que pode enriquecer a análise de uma ciência viva, dinâmica, que tem incertezas, mas que também se move pela argumentação científica e dialógica.

A proposta de intervenção dialógica para o ensino de química abordando os 9 LP torna-se mais rica estabelecendo a inter-relação com os 17 ODS (Figura 3) que, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) são definidos como:

> *Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável são um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade. Estes são os objetivos para os quais as Nações Unidas estão contribuindo a fim de que possamos atingir a Agenda 2030 no Brasil* (Brasil, 2021).

Essas *intervenções* no ensino de química e de ciências podem ser concretizadas de diferentes formas metodológicas, que vão desde as oficinas de grupos a projetos inter e transdisciplinares, dependendo da proporção de participação do meio acadêmico em questão. Os temas no ensino de química/ciências que podem ser abordados são inúmeros. Podemos exemplificar alguns deles dentro desse vasto universo como: - o LP da acidificação dos oceanos e o ODS 14 - Vida na água com o conceito de acidez e basicidade das substâncias, o conceito de pH e sua importância ambiental e o LP de mudanças climáticas com o ODS 13 - Ação contra a mudança global do clima com os temas de energia, processos de combustão e fontes dos gases do efeito estufa.

Essas propostas também podem e devem ser feitas no escopo de projetos de extensão e em dinâmicas nos espaços não-formais, transpondo os muros acadêmicos para o acesso à sociedade.

O Antropoceno e as pandemias

Um dos LP que podemos destacar e associar com o ensino de química e de ciências é referente à perda da biodiversidade inter-relacionado com o ODS 15 - Vida Terrestre, o que não pode deixar de ser contextualizado com o tempo de pandemia do coronavírus SARS-CoV-2, vivenciado desde 2019. Na Figura 4, há a representação de como essa perda da biodiversidade afeta os equilíbrios naturais presentes em diferentes ecossistemas. A destruição dos habitats, dos *oikos* de algumas espécies, pode desencadear o chamado transbordamento zoonótico, ou seja, a quebra da barreira ecológica que mantém microrganismos e vírus longe dos grandes centros urbanos, dos adensamentos populacionais. Essa relação entre mudanças globais ou o que é proposto hoje como Antropoceno, com a saúde humana e o risco de doenças infecciosas foi proposta já em 1993 pelo epidemologista ambiental Tony McMichael (1993). Ele descreveu como o desmatamento e o uso dos ecossistemas impactam nas reservas animais e nas mudanças

Figura 3: Esquema representativo das inter-relações entre os Limites Planetários e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Adaptado de Brasil (2021).

Figura 4: Representação esquemática para a quebra da barreira ecológica ou transbordamento zoonótico.

na biodiversidade que, associados às mudanças climáticas, podem originar doenças infecciosas. Outros pesquisadores, como Casado-Aranda *et al*. (2020) e Cheng *et al*. (2007), apontam as relações entre fatores ambientais e doenças infecciosas e a passagem para a transmissão para os seres humanos, como pode ter eclodido na covid-19.

O aumento das queimadas e do desmatamento em importantes biomas brasileiros (INPE, 2021), por exemplo, não pode deixar de ser abordado e discutido no ensino de química e de ciências, podendo ser associado aos conteúdos de combustão e termoquímica, por exemplo.

Projetos transdisciplinares em Educação Ambiental: o projeto "A Arte no Lixo"

O projeto "A Arte no Lixo" propõe a abordagem dos resíduos sólidos de modo abrangente, científico, econômico, social, geográfico, histórico e artístico. Ele se iniciou em 2016 no espaço escolar e progrediu para o espaço não-formal em 2019/2020, tornando-se em 2021 um projeto de extensão voltado para a comunidade. Em seu início, foi desenvolvido durante um ano em duas escolas do município de Duque de Caxias, uma pública e outra privada. Nessa etapa, o projeto contou com a participação de docentes de diferentes áreas, a saber: química, língua portuguesa, biologia, geografia e matemática, estabelecendo diálogos interdisciplinares e transdisciplinares, eclodindo na mobilização da comunidade escolar com a realização da Feira do Conhecimento com a temática abordada (Berendonk e Miranda, 2017). No seu formato de extensão, o projeto se expandiu e realiza as oficinas de reciclagem de papel, "Um olhar sobre o bairro" e "Oficina gráfica do lixo" (Miranda *et al*., 2019).

A temática social dos catadores de material reciclado foi abordada no projeto desde seu início, tendo sido feitos registros fotográficos sobre isso em 2020 durante a pandemia da covid-19 (Miranda *et al.*, 2020; Miranda, 2022). O projeto se encontra em sua terceira fase de execução, no qual tem a participação de alunos de graduação das mais diversas áreas, promovendo a divulgação científica e a EA (Mídia Instagram do Projeto "A Arte no Lixo" disponível em: https://instagram.com/projetoartenolixo?utm_medium=copy_link).

Oficinas de Educação Ambiental no ensino de química e de ciências

Serão apresentadas a seguir algumas das oficinas em dinâmicas de grupo realizadas pela parceria entre o Laboratório de Catálise e Química Ambiental (LACQUA) e o Grupo Interdisciplinar de Educação, Eletroquímica, Saúde, Ambiente e Arte (GIEESAA) do Instituto de Química (IQ) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com a colaboração de docentes e orientandos do LACQUA e do GIEESAA.

A escolha por oficinas em dinâmicas de grupo foi feita por estarem baseadas no protagonismo freiriano e no conceito de grupo como algo vivo, dinâmico, interativo, proposto pela concepção de Kurt Lewin e Pichon-Riviére (*apud* Castanho, 2012). Assim, o grupo não pode ser considerado como uma somatória dos seus integrantes, pois seu funcionamento pressupõe um conjunto de relações em movimento de todas as psicologias individuais interagindo.

Para cada uma das oficinas, foi proposta uma tarefa, entendida, segundo Pichon-Rivière, como sendo algo em que se "constrói um pensar, um sentir e um agir, cuja distinção é central". As oficinas serão apresentadas em três perspectivas: (1) ensino superior e de pós-graduação; (2) ensino médio e (3) ensino fundamental.

As oficinas: Educação Ambiental na práxis

Âmbito do ensino superior e de pós-graduação

Dinâmica: que educação ambiental sou eu?

A sensibilização temática foi realizada a partir da proposição da leitura prévia das correntes da EA, de Sauvé (2005). No momento de sensibilização, foram discutidas principalmente a contraposição entre a corrente conservacionista *versus* a crítica e a da sustentabilidade.

A metodologia foi aplicada em dois momentos (M), relativos a duas aulas de 2h cada: (M1) roda de conversa sobre as correntes de EA; (M2) proposição da elaboração de um painel, ou caixa de diálogo, para cada participante apresentar a resposta à pergunta "que educação ambiental sou eu?" Ou seja, com qual ou quais correntes de EA cada um se identifica na sua prática docente ou profissional, com base nas correntes e características da EA propostas por Sauvé (*apud* Santos e Cunha, 2017). O material elaborado pelos participantes foi apresentado oralmente e discutido no grupo, a fim de colocar em relevância a subjetividade e a riqueza da diversidade nas vivências de cada um. Trata-se de uma abordagem/investigação qualitativa, mesmo que já tenha sido utilizada por muitos participantes.

Essa dinâmica foi realizada com diferentes grupos de mestrandos em química e em ensino de química nos Programas de Pós-graduação em Química (PGQu) e em Ensino de Química (PEQUI), do IQ da UFRJ, no âmbito da disciplina de Química Ambiental. Um dos relatos é apresentado na Figura 5, que mostra a linha do tempo de uma docente de química relativa às concepções ou correntes de EA.

É interessante destacar a reflexão do dinamismo de concepções de EA da docente 1, que transita na corrente conservacionista, ainda vigente no processo formativo, e a crítica e humanista.

A docente 2 relata se perceber na corrente conservacionista relacionada à educação para conservar os recursos naturais, mas com projetos voltados para a sustentabilidade.

> [...] *dentro das correntes destacadas no artigo me identifico com a corrente conservacionista, pois a maneira que trabalho a EA na escola ainda está muito baseada na conservação dos recursos da natureza.*

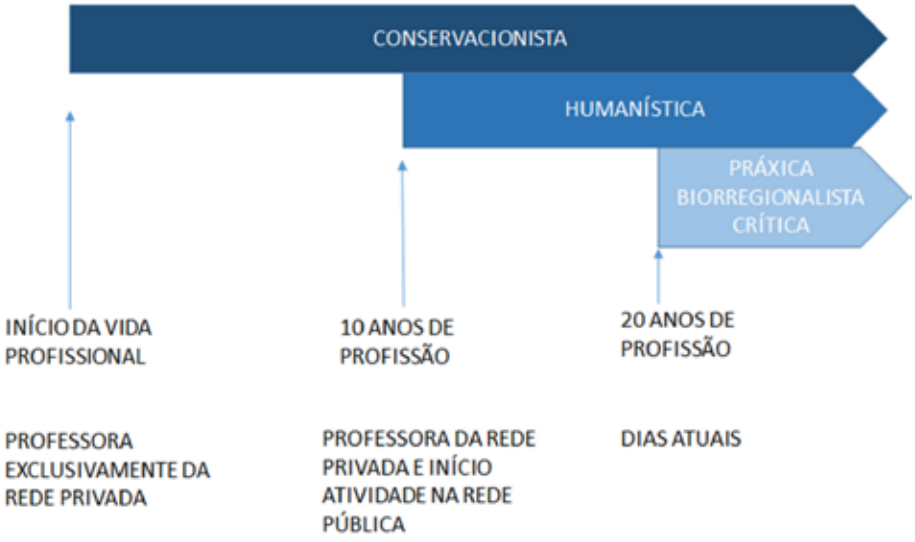


Figura 5: Linha do tempo das correntes de EA - relato da docente 1 de química.

E os projetos na maioria das vezes são relacionados com a preocupação da gestão ambiental, que contempla a mudança de comportamentos individuais e projetos coletivos. Também me identifiquei com a corrente ambiental da Sustentabilidade…. Considero extremamente importante discutir com meus alunos sobre ações sustentáveis que podemos ter perante o planeta. Sem deixar de refletir de modo crítico a maneira pela qual o capitalismo se apropriou do termo sustentabilidade (Docente 2, 2021).

Pôde-se perceber a influência do processo formativo dos docentes na formulação de suas concepções sobre EA. Isso denota que a abordagem conservacionista ainda é predominante nos cursos de Licenciatura em Química, o que foi observado não somente nos relatos expostos, mas ao longo dos anos nos quais essa dinâmica foi utilizada com docentes de Química de diferentes cursos e instituições, tanto públicas quanto privadas [...].

Pôde-se perceber a influência do processo formativo dos docentes na formulação de suas concepções sobre EA. Isso denota que a abordagem conservacionista ainda é predominante nos cursos de Licenciatura em Química, o que foi observado não somente nos relatos expostos, mas ao longo dos anos nos quais essa dinâmica foi utilizada com docentes de Química de diferentes cursos e instituições, tanto públicas quanto privadas (participantes desde 2018), assim como em pesquisas realizadas no grupo (Silva, 2022). A maioria só toma conhecimento da corrente da EAC a partir da discussão feita durante a dinâmica.

Também podemos refletir sobre a "tomada de consciência" (*awareness*) dos docentes nesse processo ao se defrontarem com a sua prática docente a respeito das temáticas ambientais e de como elas são abordadas. A mesma dinâmica foi realizada com outro grupo focal: o de mestrandos em química, para o qual foi solicitada a elaboração de um painel que reproduzisse as suas concepções de EA em forma de desenho e de uma palavra associada. Observou-se nesse contexto a presença da concepção da sustentabilidade.

Âmbito do ensino médio

Descascando as pilhas: oficina de educação ambiental sobre pilhas e baterias com o cordel científico na Educação de Jovens e Adultos

Nessa oficina, propomos a associação entre a EA e a literatura de cordel com a temática do descarte de pilhas. É nesse contexto de troca de saberes que procuramos estabelecer o diálogo entre a literatura de cordel e a EA, contribuindo para uma proposta de mediação didática para o protagonismo do aluno-cidadão (Gerpe *et al.*, 2019).

Utilizamos a literatura de cordel como disseminadora das ciências em uma linguagem simples e clara, assim como uma proposta metodológica alternativa no processo ensino-aprendizagem dos conteúdos, promovendo diálogo, interatividade e contextualização entre alunos e professor e, ao mesmo tempo, incentivando uma maior produção dos chamados folhetos de cordel científicos (Almeida *et al.*, 2016).

Os folhetos de cordel trabalham com o imaginário do leitor, explorando o que estes já possuem em seu cognitivo, com seus conhecimentos prévios que podem vir a estabelecer conexões e a desencadear a formação de novas aprendizagens. Por outro lado, os folhetos abordam suas temáticas fazendo relações com o cotidiano do leitor, a realidade política e social, sempre antenados com as questões atuais (Nobre, 2017). Tudo isso pautado pela superação do ensino bancário e pela aprendizagem mediatizada pelo mundo, como propôs Paulo Freire (2013, 1996).

A escolha pela temática das pilhas se baseou no problema ambiental associado a seu descarte inapropriado. No Brasil, pilhas e baterias são descartadas juntamente com o lixo comum ou são deixadas nas gavetas, por falta de conhecimento do

destino correto e dos riscos que representam à saúde humana e ao ambiente. O aumento do uso de aparelhos eletroeletrônicos aumentou também o consumo de pilhas e baterias que, ao serem descartadas em lixões ou aterros sanitários, liberam componentes tóxicos contaminando o solo, a água e o ser humano pela cadeia alimentar. Essa contaminação é diversa de acordo com os tipos de pilhas e baterias usadas em nossa sociedade, havendo em sua composição metais tóxicos como o chumbo (presente nas baterias de automóveis), níquel, cádmio e mercúrio, capazes de causar diversas anormalidades não só para o organismo humano, como para outras espécies, podendo afetar o sistema nervoso central e serem carcinogênicos. O uso de baterias pode aumentar significativamente com a inclusão de carros elétricos nas frotas dos grandes centros urbanos e o descarte e reaproveitamento dos seus componentes precisa ter uma política ambiental governamental associada. Diante dessas considerações, evidencia-se a necessidade de partir dos saberes do cotidiano dos estudantes para promover um debate construído por todos e compartilhado com o conhecimento científico e a EA.

Nos cordéis sobre pilhas e baterias se pôde observar a presença do uso do conhecimento científico, a abordagem do problema do descarte inadequado de pilhas e baterias, assim como o contexto socioambiental retratado com o uso de reportagens sobre o assunto.

Essa oficina se iniciou através de uma roda de conversa sobre conhecimentos prévios dos alunos referentes ao descarte, funcionamento e composição de pilhas e baterias. Após a conversa, verificamos a necessidade de trabalhar com um projeto para conscientização e mudanças de hábito, pois a grande maioria não tinha conhecimento do que fazer com as pilhas e baterias após seu uso e nem dos riscos que elas oferecem quando descartadas no lixo comum.

Essa oficina foi realizada em dois encontros divididos em três atividades com uma turma de 27 alunos, com idades entre 18 e 56 anos do segundo ano do ensino médio da Educação de Jovens e Adultos (EJA) de uma escola filantrópica situada no município do Rio de Janeiro, no decorrer de duas semanas.

O desenho metodológico do trabalho se constituiu nas seguintes etapas: (1) contextualização e roda de conversa; (2) dinâmica "descascando a pilha" e (3) divulgação científica.

A primeira etapa consistiu na contextualização da temática relativa ao descarte de pilhas e baterias, mediada pelo emprego do documentário *Meio Ambiente por Inteiro*, que retrata a realidade em que pilhas e baterias são jogadas em lixões brasileiros (Canal do Meio Ambiente, 2016). Após o documentário, foi realizada uma RC para a discussão do assunto em grupo. Durante a segunda etapa, foi realizada a abordagem científica sobre a composição das pilhas, empregando a dinâmica "descascando a pilha e aprendendo sobre a toxicidade dos metais e sua reutilização". Por fim, foi realizada a etapa de divulgação científica sobre EAC, denominada "conscientizando a comunidade escolar", em que os perigos do descarte incorreto de pilhas foram publicados através dos folhetos de cordel.

Dentre os resultados obtidos, destaca-se a produção dos cordéis científicos feitos pelos próprios alunos, apresentados na Figura 6. Nos cordéis sobre pilhas e baterias se pôde observar a presença do uso do conhecimento científico, a abordagem do problema do descarte inadequado de pilhas e baterias, assim como o contexto socioambiental retratado com o uso de reportagens sobre o assunto. Também é importante ressaltar a produção textual dos alunos, entrelaçando saberes e promovendo a divulgação científica.

Biomapas como pertencimento socioambiental/regional

O biomapa consiste na elaboração de mapas com a participação e os conhecimentos da comunidade com o intuito de promover a percepção do espaço e das diversas atividades inseridas no mesmo, de forma que os participantes possam discutir e refletir seus pontos de vista, elencando ao final do processo as potencialidades e vulnerabilidades de uma determinada realidade (Ecoar, 2008). No cenário de suspensão de aulas presenciais, o trabalho com mapas disponíveis no site *Google Maps*, da região do entorno de uma escola técnica da zona norte do Rio de Janeiro, foi a alternativa deste relato de experiência para abordar a questão climática.

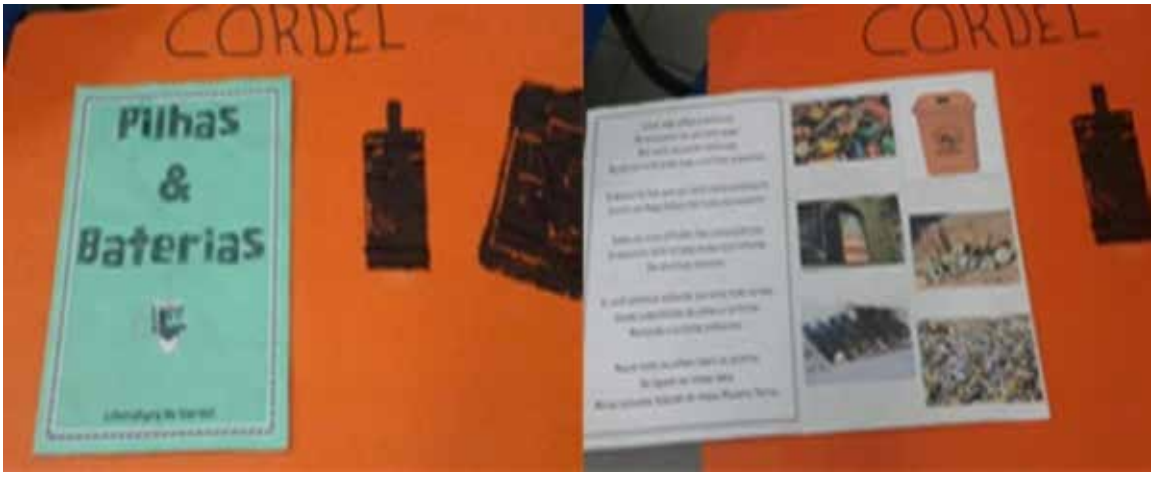


Figura 6: Capa e páginas internas do folheto de cordel científico da oficina "Descascando as Pilhas".

A metodologia utilizou atividades remotas síncronas e assíncronas, desenvolvidas em três etapas com intervalo de uma semana entre elas, envolvendo 28 alunos da 2ª e 3ª série do Ensino Médio com acesso ao *Google Classroom*. Na primeira etapa assíncrona, a imagem do mapa da região vizinha à escola foi apresentada com auxílio do *Jamboard*, um quadro virtual gratuito do *Google*, que permite um trabalho cooperativo. Os alunos foram orientados a colocar "avatares" nas regiões onde se localizavam suas residências e indicar que meios de transporte usavam para deslocamento até a unidade escolar. A Figura 7 mostra os biomapas elaborados pelos alunos. Na segunda etapa, foi realizado um encontro remoto síncrono, com duração de uma hora para análise dos biomapas e a construção de um painel virtual com os registros das impressões dos alunos sobre o tema. A terceira etapa foi uma roda de conversa remota na qual foi debatido o agrupamento dos registros semelhantes (Figura 8) e a discussão da percepção dos alunos.

Dentre os resultados alcançados, cabe pontuar a localização das residências dos alunos por seus "avatares" no biomapa da Figura 7, que demonstra que os discentes vivem próximos à região da escola. Para aumentar a identificação,

Figura 7: Biomapas: localização regional com o uso personalizado de avatares (esquerda) e meios de transporte utilizados pelos alunos. Fonte: registros das autoras.

Figura 8: Painel elaborado pelos alunos para agrupar eixos ambientais com os biomapas. Fonte: registros das autoras (2021).

os "avatares" tinham opção de gênero e cor, além de uma figura neutra caso nenhuma das opções oferecesse uma representação adequada. A Figura 7 mostra que o deslocamento é feito através de veículo particular ou transporte coletivo. As opções eram: caminhada, bicicleta, veículo particular ou transporte coletivo. Quando, na segunda etapa, expuseram suas impressões sobre a visão aérea do mapa, os alunos refletiram sobre as características que poderiam significar problemas de ordem urbana com impactos ambientais. As impressões principais relacionam-se à precariedade do transporte coletivo apesar da escola estar margeada por vias importantes, a falta de vegetação em meio ao emaranhado de construções e a proximidade de rios e da Baía da Guanabara. Na terceira etapa, em um encontro síncrono, as impressões semelhantes foram agrupadas gerando três eixos ambientais, como mostra a Figura 8.

O uso dos biomapas ampliou a percepção dos alunos em relação à região na qual estão inseridos. A visão aérea da região trouxe a reflexão da densidade demográfica elevada, da precária mobilidade da área urbana, do crescimento desordenado, o desmatamento pregresso, da falta de proposta urbanística, da proximidade de corpos aquáticos de médio e grande porte, que são fortemente impactados pela presença da civilização e seus hábitos de vida. As falas dos alunos na roda de conversa revelaram que os mesmos se sentiram motivados a aprofundar suas pesquisas e desenvolver trabalhos interdisciplinares futuros.

Âmbito do ensino fundamental

Fantoches socioambientais

Essa dinâmica foi realizada remotamente durante o isolamento social para a pré-escola I, com crianças de 4 a 5 anos, mas pode ser utilizada para crianças com 6 anos também, do 1° ano do Ensino Fundamental (EF). Ela emprega a ludicidade do teatro de fantoches (Figura 9) e foi adotada por uma docente licenciada em Química que atua no EF I.

O teatro oportuniza simulações de aspectos cotidianos em contexto favorável ao exercício da ludicidade. O teatro de fantoches é uma opção que lida com a dramatização e tem grande receptividade junto às crianças, estabelecendo a relação com o ensino de arte (BRASIL, 2001). A ciência e as temáticas ambientais podem, desse modo, ser apresentadas e discutidas no universo infantil. O lúdico faz parte do mundo das crianças e possui um papel fundamental no desenvolvimento e aprendizagem, pois possibilita adquirir conhecimentos e desenvolver habilidades de forma natural e agradável. De acordo com Guerra e colaboradores (2012), "a utilização do teatro de fantoches possibilita a criatividade, a sensibilização e a mudança de atitude em relação ao ambiente." A atividade teatro de fantoches, articulada a outras metodologias, promove um momento lúdico facilmente absorvido pelas crianças, capaz de socializá-las entre si, ajudando na formação de opiniões e condutas ambientalmente corretas. Diante disso, durante a pandemia de covid-19 (julho de 2020) foi criado e encenado o teatro de fantoches "O Rei Esponjinha", com sucatas e materiais de fácil acesso, que tem como público-alvo alunos do ensino fundamental.

Figura 9: Fantoches socioambientais feitos pela docente.

A história se passa no reino do Rei Esponjinha, que não gostava de tomar banho. Com o surgimento de uma doença altamente contagiosa teve de mudar suas atitudes, abordando principalmente a questão da pandemia de covid-19 e os cuidados que precisam ser tomados para evitar o contágio, com o intuito de que as crianças, desde cedo, aprendam a ter bons hábitos de higiene e conheçam o ambiente a seu redor. O teatro, com a duração de 3 minutos, foi postado nas redes sociais e visualizado por 30 crianças, A linguagem era apropriada para crianças da educação infantil e ensino fundamental – anos iniciais. O vídeo está disponibilizado em https://www.instagram.com/tv/CCbl_NUpHOk/?utm_medium=copy_link.

A peça de teatro com sucata permitiu que as crianças interagissem com os personagens no tema abordado, por ser um cenário vivido mundialmente, alcançando o objetivo do trabalho. Isso foi realizado em função das condições de isolamento social, através de postagens de *WhatsApp*, com grande participação e mobilização dos alunos, o que foi bem gratificante para os participantes, incluindo a docente. Percebe-se que é necessário ensinar, mobilizar e sensibilizar as crianças para que elas se tornem cidadãos críticos e reflexivos, formando uma consciência ambiental que permita a mudança de seus hábitos. Nesse contexto, a utilização de metodologias lúdicas e utilizando fantoches feitos com materiais não estruturados foi eficaz na disseminação de assuntos científicos promovendo uma construção reflexiva no processo de ensino-aprendizagem.

Considerações Finais

Nas considerações finais deste artigo, ensejamos deixar uma mensagem de reflexão de como nossos povos originários consideram e valorizam o nosso *oikos* e de como precisamos ser aprendizes da sabedoria da Terra que é harmoniosa em sua gênese e dinâmica no devir, de transformação contínua. Ensejamos, desse modo, o resgate da concepção de que nós e o nosso meio somos uma coisa só. Apresentamos diferentes possibilidades do emprego da metodologia de oficinas para a abordagem da educação ambiental crítica nos níveis do ensino fundamental, médio, superior e de pós-graduação,

propondo e promovendo a interdisciplinaridade e o olhar humanista que acolhe as diferentes subjetividades e não dicotomiza a natureza *versus* humanos, o que é observado na abordagem conservacionista. O ambiente não cabe mais como uma fonte de recursos que a espécie humana (ou melhor, parte dela) usufrui e tende a esgotar, mas, como algo dinâmico do qual fazemos parte, somos afetados por ele e por ele também devemos nos tornar responsáveis.

Jussara Lopes de Miranda (jussaraufrj@gmail.com), licenciada em Química (UERJ), mestre e doutora em Química pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Docente, pesquisadora e extensionista do Instituto de Química (UFRJ). Docente do PGQu/IQ/UFRJ e do PEQui/IQ/UFRJ. Coordenadora do Grupo de Diretórios do CNPq de Educação Ambiental no Ensino de Química, do Grupo de Pesquisa e do Laboratório de Catálise de Química Ambiental- LACQUA-IQ/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ – BR. **Priscila Tamiasso-Martinhon** (pris-martinhon@hotmail.com), licenciada e bacharel em Química (UFF), mestra e doutora em Físico-Química (UFRJ), pós-doutora em Eletroquímica (UPMC) e em Biossensores (Fiocruz). Professora extensionista do Instituto de Química (UFRJ). Atualmente é professora adjunta do Departamento de Físico-Química (DFQ), do Instituto de Química da UFRJ; docente do Programa do PEQui/IQ/UFRJ; do Programa PROFQui, do IQ/UFRJ e do HCTE/CCMN. Coordenadora do Laboratório FQME (DFQ/UFRJ) e do GIMEnPEC e Pesquisadora do GIEESAA. Rio de Janeiro, RJ – BR. **Rosana Lima Gerpe** (rosanagerpe@gmail.com), licenciada em Ciências Biológicas, licenciando em Química e mestranda em Ensino de Química pelo Instituto de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ – BR. **Raquel Freitas de Oliveira** (raquel.freitas.quimica@gmail.com), mestranda no Mestrado Profissional em Ensino de Química (PEQui) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro, graduada em Licenciatura em Pedagogia pelo Consórcio CEDERJ/ UERJ. Licenciada e bacharel em Química pela Universidade Federal Fluminense. Professora da Rede Faetec e da Rede Particular de Ensino do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ – BR. **Priscila de Souza Faria** (priscila_cefet@hotmail.com), graduada em Ciências da Natureza - Licenciatura em Química pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos - Atual Instituto Federal Fluminense. É mestre em Educação Profissional e Tecnológica pelo Instituto Federal Fluminense. Atualmente é doutoranda no Programa de Química (PGQu) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Rio de Janeiro, RJ – BR. **Ariane Souza Gonçalves** (any.ariane2010@gmail.com), licenciada em Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro, pedagoga pela Faculdade São Marcos. Atualmente, é professora de educação infantil na Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ – BR.

Referências

ALMEIDA, C; MASSARANI, L. e MOREIRA, I. C. Representações da ciência e da tecnologia na literatura de cordel. *Bakhtiniana*, v. 11, n. 3, p. 5-25, 2016.

AMATUZZI, M. M. *Rogers:* Ética humanista e psicoterapia. 2ª ed. Campinas: Alínea, 2012.

BERENDONK, M. e MIRANDA, J. L. Resíduos sólidos e a educação ambiental: desafios na busca da transdisciplinaridade. *In:* GRAÇA, G. C.; MIRANDA, J. L.; MOREIRA, L. M. M. e SANTOS, P. L. S (orgs). *Ensino de Química em Revista: o papel social do ensino de química*. Rio de Janeiro: Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017. p. 133.

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. Secretaria de Educação Fundamental. *Parâmetros Curriculares Nacionais:* Arte. vol. 6, 3ª ed. Brasília: SEF, 2001.

BRASIL, ONU. *Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável*, 2021. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs, acesso em nov. 2021.

CANAL DO MEIO AMBIENTE, 2016. *Canal do Meio Ambiente:* Meio ambiente por inteiro: pilhas e baterias são jogadas em lixões brasileiros. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=u56a5faG2Lg, acesso em nov. 2019.

CASADO-ARANDA, L. A.; SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, J. e VIEDMA-DEL-JESÚS, M.I. Analysis of the scientific production of the effect of COVID-19 on the environment: a bibliometric study. *Environmental Research.* p.110416, 2020.

CASTANHO, P. Uma introdução aos grupos operativos: teoria e técnica. *Vínculo – Revista do NESME*, v. 9, n. 1, p. 1-60, 2012.

CHENG, V. C. C.; LAU, S. K. P.; WOO, P. C. Y. e KWOK, Y. Y. Severe acute respiratory syndrome coronavirus as an agent of emerging and reemerging infection. *Clinical Microbiology Review*,v. 20, n. 4, p. 660-694, 2007.

CRUTZEN, P. J. e STOERMER, E. F. The Anthropocene. *Global Change Newsletter*, v. 41, n. 1, 2000.

ECOAR. Instituto Ecoar para a Cidadania. *Manual de metodologias participativas para o desenvolvimento comunitário*. São Paulo: ECOAR, 2008.

FREIRE, P. *Pedagogia da Autonomia*. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREIRE, P. *Pedagogia do Oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra [ePub/recurso digital], 2013.

FREITAS, P. R. D. e BOECHAT, I. T. A psicologia de Carl Rogers e a pedagogia de Paulo Freire: reflexões sobre docência. *Linkscienceplace. Interdisciplinary Scientific Journal,* v. 5, n. 6 especial, 2018.

G1. GLOBO. Desmatamento na Amazônia na temporada 2020/2021. Disponível em: https://g1.globo.com/natureza/amazonia/noticia/2021/08/19/taxa-anual-de-desmatamento-na-amazonia-e-a-maior-do-ultimos-dez-anos-diz-imazon.ghtml, acesso em nov. 2021.

GERPE, R.; TAMIASSO-MARTINHON, P. e MIRANDA, J. L. Contextualizando a Educação Ambiental sobre pilhas e baterias com cordel científico na EJA. In: *Anais do II Encontro da Rede de Ensino de Química (EREQ)*, Resende, 2019.

GEOMORFUS, 2019. Disponível em: https://geomorfusjr.wixsite.com/geomorfusjr/post/o-antropoceno-e-a-interven%C3%A7%C3%A3o-humana, acesso em jan. 2022.

GUERRA, R. A. T.; GUSMÃO, C. R. C. e SIBRÃO, E. R. Teatro de fantoches: uma estratégia. *Educação e Pesquisa*, São Paulo, v. 38, n. 03, p. 711-726, 2012.

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Programa Queimadas. *Monitoramento dos Focos Ativos por Bioma*. Disponível em: https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portal-static/estatisticas_estados/, acesso em nov. 2021.

JUSTO, A. *Carl Rogers.* Teoria da Personalidade - Aprendizagem Centrada no Aluno. S.l.: Livraria Santo Antônio, 1973.

LOUREIRO, C. F. *Instituto Tear*. Disponível em: https://institutotear.org.br/educacao-ambiental-critica-contribuicoes-e-desafios/, acesso em nov. 2021.

LOUREIRO, C. F. Alguns apontamentos sobre a educação ambiental no Brasil. *In:* GRAÇA, G. C.; MIRANDA, J. L.; MOREIRA, L. M. M. e SANTOS, P. L. S (orgs). *Ensino de Química em Revista:* o papel social do ensino de química. Rio de Janeiro: Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017. p. 12.

LOUREIRO, C. F. e TORRES, J. R. *Educação ambiental:* dialogando com Paulo Freire. Rio de Janeiro: Cortez, 2016.

McMICHAEL, A. J. *Planetary Overload:* Global environmental changes and health of the human species. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

MIRANDA, J. L. *Projeto a Arte no Lixo*. Rio de Janeiro. Instagram. projetoartenolixo. 2021 Disponível em: https://instagram.com/projetoartenolixo?utm_medium=copy_link, acesso em mar 2022.

MIRANDA, J. L; GERPE, R. L; GOMES, F.; BERENDONK, M.; ROCHA, G. S. e TAMIASSO-MARTINHON, P. O contexto dos catadores de material reciclado durante a COVID-19 no Brasil: reflexões entrecruzadas sob as ópticas de Paulo Freire e Edgard Morin. *In:* COELHO, F. J. F. e MEIRELLES, R. M. S. (orgs.). *Ensino de Biociências, meio ambiente e saúde:* dialogando com referenciais teóricos. Curitiba: Brazil Publishing, 2020. p. 133-151.

MIRANDA, J. L.; ABREU, T. P. e BERENDONK, M. A arte no lixo: um projeto de extensão de química contextualizando o socioambiental. *In:* COELHO, F. J. F.; TAMIASSO-MARTINHO, P. e SOUSA, C. (orgs). *Educação em ciências, saúde e extensão universitária*. Curitiba: Brazil Publishing, 2019. p. 49-59.

MIRANDA, J. L.; SILVA, F. G. O.; ALMEIDA, C. D. e GERPE, R. L. O Antropoceno, a Educação Ambiental e o Ensino de Química. *Revista Virtual de Química*, v. 10, n. 6, 2018.

MOORE, J. W. *Anthropocene or Capitalocene?* Nature, History, and the Crisis of Capitalism. Oakland, CA: Kairos/PM Press, 2016.

MOORE, J. W. Putting Nature to Work. *In:* WEE, C.; SCHÖNENBACH, J. e ARNDT, O. (eds) *Supramarket:* A micro-toolkit for disobedient consumers, or how to frack the fatal forces of the Capitalocene. Gothenburg: Irene Books, 2015. p. 69-117.

NOBRE. *Folhetos de Cordel Científicos:* Um catálogo e uma sequência de ensino. São Leopoldo, RS: Trajetos, 2017.

ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, Å.; CHAPIN, F. S. III; LAMBIN, E.; LENTON, T. M.; SCHEFFER, M.; FOLKE, C.; SCHELLNHUBER, H. J.; NYKVIST, B.; DE WIT, C. A.; HUGHES, T.; VAN DER LEEUW, S.; RODHE, H.; SÖRLIN, S.; SNYDER, P. K.; COSTANZA, R.; SVEDIN, U.; FALKENMARK, M.; KARLBERG, L.; CORELL, R. W.; FABRY, V. J.; HANSEN, J.; WALKER, B.; LIVERMAN, D.; RICHARDSON, K.; CRUTZEN, P. e FOLEY, J. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, v. 14, n. 2, 32 (online), 2009. Disponível em: http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/, acesso em mar. 2022.

ROCKSTRÖM, J.; STEFFEN, W.; NOONE, K.; PERSSON, A.; CHAPIN, F. S.; LAMBIN, E. F.; LENTON, T. M.; SCHEFFER, M.; FOLKE, C.; SCHELLNHUBER, H. J.; NYKVIST, B.; DE WIT, C. A.; HUGHES, T.; VAN DER LEEUW, S.; RODHE, H.; SÖRLIN, S.; SNYDER, P. K.; COSTANZA, R.; SVEDIN, U.; FALKENMARK, M.; KARLBERG, L.; CORELL, R. W.; FABRY, V. J.; HANSEN, J.; WALKER, B.; LIVERMAN, D.; RICHARDSON, K.; CRUTZEN, P. e FOLEY, J. A. A safe operating space for humanity. *Nature*, v. 461, p. 472–475, 2009b.

RUFINO, M. I. M. *Carl R. Rogers e Paulo Freire:* aspectos semelhantes e complementares que favorecem a compreensão da educação de adultos. 1985. 181f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 1985.

SANTOS, M. P. R. e CUNHA, M. B. M. Concepções de Educação Ambiental no Ensino de Química. In: *Anais do XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC)*, Florianópolis, 2017.

SAUVÉ, L. Uma cartografia das correntes da Educação Ambiental. *In:* SATO, M. e CARVALHO (orgs.). *Educação Ambiental*. Porto Alegre: Armed, 2005.

SILVA, C. M. e ARBILLA, G. Antropoceno: os desafios de um novo mundo. *Revista Virtual de Química*, v. 10, n. 6, p. 1619-1647, 2018.

SILVA, F. G. O. *Educação Ambiental e a Formação Docente:* um olhar para o currículo no processo formativo dos docentes de química. Dissertação (Mestrado em Ensino de Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://pequiufrj.wordpress.com/egressos/ano-2020/, acesso em fev. 2022.

STEFFEN, W.; RICHARDSON, K.; ROCKSTRÖM, J.; CORNELL, S. E.; FETZER, I.; BENNETT, E. M.; BIGGS, R.; CARPENTER, S. R.; DE VRIES, W.; DE WIT, C. A.; FOLKE, C.; GERTEN, D.; HEINKE, J.; MACE, G. M.; PERSSON, L. M.; RAMANATHAN, V.; REYERS, B. e SÖRLIN, S. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science,* v. 347, p. 1259855, 2015.

Abstract: *Environmental Education in Anthropocene Praxis and Sustainable Development Goals.* In this article, the inter relationships among environmental education (EE), proposals for Anthropocene, discussions on the Sustainable Development Goals were addressed in the context of teaching chemistry. Different activities on environmental education are presented in a critical perspective involving relevant environmental themes in our country, in interdisciplinary and transdisciplinary approaches, such as the social impacts of climate changes. These activities were based on experiences of our groups adopting didactic workshops developed in education, research and extended learning at UFRJ, involving graduate, undergraduate, high school and elementary levels. The theoretical support consisted on the dialogicity between Freire's and Carl Roger's humanist assumptions, emphasizing the protagonism of the students/individuals, as well as the responsibility for their choices and existence in the world.
Keywords: critical environmental education, sustainable development, anthropocene.

A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160304

A Contextualização da Temática Energia e a Formação do Pensamento Sustentável no Ensino de Química

Fernanda W. Adams e Simara Maria T. Nunes

Problematizar o ensino de química contribui para que o estudante compreenda a realidade fazendo uso destes conhecimentos para interpretá-la. Objetiva-se relatar a experiência de pibidianas na elaboração/implementação/avaliação de uma sequência didática contextualizada com a temática "Energia e Sustentabilidade" no processo de ensino e aprendizagem de estudantes do segundo ano do Ensino Médio de uma escola pública do interior do Estado de Goiás. Esta partiu da problemática: O que levar em consideração na hora de se abastecer um carro flex, o rendimento ou a consequência ambiental (poluição do ar)? Trata-se de uma pesquisa qualitativa, tendo questionários prévio e posterior como instrumentos de coleta de dados, analisados a partir da Análise Textual Discursiva. Observou-se que os estudantes compreenderam os conceitos de termoquímica, energia, reação de combustão e fizeram uso destes para refletir e mudar de atitude frente à problemática proposta. Assim, cumpriu-se o objetivo de formar estudantes críticos e com pensamentos sustentáveis.

▶ sequência didática, combustíveis e energia, sustentabilidade ◀

Recebido em 03/11/2021, aceito em 06/03/2022

A química é uma ciência que contribui com os avanços tecnológicos da sociedade, estudando a composição da matéria, as modificações sofridas por esta e explicando os diversos fenômenos envolvidos nestas transformações, utilizando para isso seus saberes e técnicas em benefício do ser humano e do meio ambiente. Sendo assim, é de fundamental importância que os estudantes da Educação Básica se apropriem dos conhecimentos químicos de forma a pensar criticamente sobre sua realidade e o mundo em que estão inseridos de modo a se tornarem aptos a promover mudanças benéficas nesta sociedade. Para isso, os conhecimentos químicos devem ser apresentados aos estudantes em seu autêntico contexto social e tecnológico. Mas, o que se observa, é ainda uma grande dificuldade dos estudantes frente a essa ciência, seus conteúdos e aplicações. Rocha e Vasconcelos (2016) corroboram ao afirmar que o ensino de química ainda tem gerado entre os estudantes uma sensação de desconforto em função das dificuldades de aprendizagem existentes no processo de aprendizagem.

Portanto, se observa a necessidade da modificação no processo de ensino aprendizagem da química por meio da introdução de recursos didáticos e metodologias de ensino que busquem articular o conhecimento químico com a realidade do estudante, dando sentido ao conhecimento químico e permitindo a utilização destes conceitos pelos estudantes em seu cotidiano e comunidade. De acordo com Santos e Ferreira (2018), a necessidade de promover melhorias no ensino de química vem sendo discutida ao longo do tempo, principalmente no que diz respeito à necessária contextualização dos conteúdos, como um pressuposto da didática da ciência.

[...] se observa a necessidade da modificação no processo de ensino aprendizagem da química por meio da introdução de recursos didáticos e metodologias de ensino que busquem articular o conhecimento químico com a realidade do estudante, dando sentido ao conhecimento químico e permitindo a utilização destes conceitos pelos estudantes em seu cotidiano e comunidade.

Sendo assim, percebe-se a importância de um ensino de química contextualizado com a realidade dos estudantes, de forma que estes se interessem pelo aprendizado e busquem utilizar os conhecimentos

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

químicos para compreender os problemas do cotidiano e assim possam tomar decisões embasadas sobre questões de sua realidade.

Nesse aspecto, Pereira *et al.* (2021) destacam que a contextualização dos conteúdos escolares se articula com a preocupação em problematizar o conteúdo a ser ensinado, fazendo relações com os conhecimentos que os alunos já possuem, como forma de proporcionar-lhes a aquisição de um novo conhecimento. Problematizar o conteúdo, quando se trata de contextualização, significa problematizar a realidade. Adams *et al.* (2020, p. 5) complementam:

> *Contextualizar não é apenas ligar o cotidiano com os conhecimentos químicos usando a simples exemplificação de situações cotidianas dos alunos, pois a exemplificação não faz sentido para os alunos e não os motiva para buscar um aprendizado significativo. A contextualização deve ter como ponto de partida as experiências dos alunos e o contexto no qual os mesmos estão inseridos. No entanto, para essa metodologia atingir o objetivo de promover a motivação e o protagonismo do aluno, deve estar associada a um tema gerador da realidade social do aluno, de forma a estimular o interesse do educando estimulando, motivando-o a refletir e agir criticamente. Desse modo, a temática deve ser problematizadora, ou seja, deve-se apresentar aos alunos uma situação problema embasada nos conhecimentos químicos, estimulando os alunos a pensarem e buscarem uma solução para o problema proposto.*

[...] buscando se fomentar um processo de ensino e aprendizado contextualizado e ativo, desenvolveu-se uma sequência didática que buscou apresentar aos estudantes de Ensino Médio de uma escola pública do interior do Estado de Goiás uma problemática, momento em que o estudante pôde fazer uso da palavra e expressar seu posicionamento.

Portanto, ao contextualizar o professor tem a responsabilidade de agir e conduzir o aluno a agir como sujeito em meio ao mundo, compreendendo o conhecimento acumulado historicamente, propiciando o desenvolvimento do protagonismo desses alunos como atores sociais (Pereira *et al.*, 2021).

Com o intuito de promover um ensino de química diversificado e contextualizado com a realidade dos estudantes, as bolsistas do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência do Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Catalão (Pibid/Química/UFCat) elaboraram um Projeto Temático para ser desenvolvido na escola parceira do programa (Escola Estadual da cidade de Catalão/GO). Este projeto buscou incentivar os estudantes a compreenderem as diversas fontes de energia sustentáveis/renováveis e também o papel da química dentro dessa temática. O projeto foi denominado "Química e Energia em prol de um Desenvolvimento Sustentável" e foi elaborado com o auxílio de seis pibidianas nas três turmas do Ensino Médio.

Segundo Adams *et al.* (2020), o Projeto Temático busca a contextualização do conhecimento em uma representação do mundo para que o estudante o compreenda, pois leva em conta suas expectativas, potencialidades e necessidades. Já para Santos *et al.* (2016), os projetos temáticos desenvolvidos em sala de aula devem valorizar a realidade na qual os estudantes se encontram inseridos, levando-se em consideração que o mundo está em constante movimento e estas mudanças devem ser discutidas na sala de aula, sendo o professor o mediador de atividades que dialoguem com as informações da contemporaneidade.

Sendo assim, buscando se fomentar um processo de ensino e aprendizado contextualizado e ativo, desenvolveu-se uma sequência didática que buscou apresentar aos estudantes de Ensino Médio de uma escola pública do interior do Estado de Goiás uma problemática, momento em que o estudante pôde fazer uso da palavra e expressar seu posicionamento. Segundo Delizoicov *et al.* (2011), em uma sequência didática o professor organiza o conhecimento através da discussão dos conceitos científicos envolvidos com a problemática, desenvolvendo estratégias que auxiliem os estudantes a se apropriarem do conhecimento científico; e, por fim, tem-se o momento em que o estudante é estimulado a aplicar o conhecimento compreendido na resolução da problemática inicial, por exemplo. Neste trabalho, a temática escolhida foi Energia e Combustíveis.

Os combustíveis fósseis estão entre as substâncias que mais contribuíram para o desenvolvimento da sociedade e é um dos campos de grande abrangência nos estudos da química, desde a composição de sua matéria-prima, o petróleo, até as consequências ambientais causadas pelo aumento do consumo gradual do mesmo e a busca por combustíveis renováveis e menos poluentes. Assim, a temática combustível, além de ser atual, pode surgir como opção para contextualização no processo de ensino e aprendizagem de química, pois é um assunto que possibilita que vários conteúdos do programa da disciplina de química sejam trabalhados em sala de aula. Com relação à temática combustíveis, Dantas *et al.* (2016, p. 1) a utilizaram para o desenvolvimento de uma sequência didática e corroboram com o exposto:

> *A utilização do petróleo foi de fundamental importância para impulsionar o desenvolvimento industrial e tecnológico, sendo ainda a principal matéria-prima de produtos essenciais para a sociedade, tais como os combustíveis. Nesse sentindo, o uso de matrizes energéticas menos poluentes como os biocombustíveis se torna cada vez mais necessárias para minimizar os impactos ambientais e para diminuir a dependência dos combustíveis derivados do petróleo.*

Historicamente podemos observar que o desenvolvimento tecnológico da humanidade se deu a partir da descoberta e domínio do fogo e, consequentemente, da energia gerada por essa reação de combustão.

Sabendo-se da necessidade da discussão da temática energética em sala de aula, encontraram-se propostas de ensino já desenvolvidas nas escolas em relação ao estudo da energia e de seu consumo consciente. Uma delas foi realizada com estudantes do 3º ano do Ensino Médio do Instituto Ernesto Ferreira Maia, no município de Fontoura Xavier - RS. No desenvolvimento e aplicação de sua prática pedagógica o pesquisador valorizou os conhecimentos cotidianos, abordou aspectos relativos ao meio ambiente, discutiu o tema energia, destacando a importância de se evitar desperdícios e as possíveis consequências para o planeta. Segundo o autor, os resultados foram satisfatórios, pois os estudantes desenvolveram a capacidade de reflexão e de agir de forma consciente, tornando-se cidadãos mais responsáveis, críticos e preocupados com os problemas que vêm afetando o planeta e mais comprometidos com a preservação ambiental (Scorsatto, 2010).

Pode-se observar no trabalho citado que houve a preocupação com a preservação ambiental e sua relação com a energia. No Projeto Temático aqui apresentado, a preocupação foi a mesma, de discutir com os estudantes as fontes de energia, suas origens, consumo e sua relação com o meio ambiente. Dessa forma, destinou-se uma parte específica do projeto para discutir a temática das fontes de energias renováveis e não renováveis, acreditando-se que estes são conceitos básicos para a compreensão crítica do problema central da sequência didática.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho é relatar a experiência de pibidianas na elaboração, implementação e avaliação de uma sequência didática contextualizada com a temática "Energia e Sustentabilidade" no processo de ensino e aprendizagem de estudantes do segundo ano do Ensino Médio de uma escola pública do interior do estado de Goiás.

[...] o objetivo deste trabalho é relatar a experiência de pibidianas na elaboração, implementação e avaliação de uma sequência didática contextualizada com a temática "Energia e Sustentabilidade" no processo de ensino e aprendizagem de estudantes do segundo ano do Ensino Médio de uma escola pública do interior do estado de Goiás.

Metodologia

O subprojeto do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (Pibid) do Curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal de Catalão (PIBID/Química/UFCat) propôs dentre as ações do subprojeto o desenvolvimento de um Projeto Temático na escola parceira, envolvendo as três turmas do Ensino Médio. Desta forma, foram elaboradas e implementadas sequências didáticas com aulas contextualizadas/problematizadoras que abordaram a temática "Energia e Sustentabilidade". Para isso, as seis (6) pibidianas do subprojeto foram divididas em duplas, ficando a cargo de cada dupla o desenvolvimento de uma sequência didática em uma das turmas do Ensino Médio, qual seja, primeiro, segundo ou terceiro ano do Ensino Médio, relacionando a temática com o conteúdo curricular da turma, tendo como base o currículo de referência do estado de Goiás. Destaca-se que o presente artigo faz referência a sequência didática desenvolvida para o segundo ano do Ensino Médio.

Para o desenvolvimento do Projeto Temático, as pibidianas lançaram mão de estratégias diversificadas como aulas expositivas dialogadas, vídeos, experimentações e um jogo didático. Nas aulas buscou-se sempre trabalhar de forma dialógica, incentivando que os estudantes dessem suas opiniões através da proposição de perguntas e utilizando recursos e metodologias para os incentivar a participar das atividades e discussões de forma ativa e sempre embasada cientificamente. Para isso, foram realizados debates no grupo de licenciandas (pibidianas) e professoras (coordenadora de área e supervisora) para a escolha de um tema/problema que pudesse despertar a cultura de participação nos estudantes. O projeto foi desenvolvido em 28 aulas de 50 minutos cada, dentre os meses de agosto a novembro. A seguir, no Quadro 1, são descritas as atividades propostas e as metodologias de ensino/recursos didáticos utilizados em cada aula da sequência didática.

Para avaliação da influência do Projeto Temático no processo de ensino e aprendizagem de química procedeu-se a uma pesquisa de caráter qualitativo. Segundo Bogdan e Biklen (1994), na pesquisa qualitativa os pesquisadores interessam-se mais pelo processo em si do que propriamente pelos resultados, interessando-se, acima de tudo, por tentar compreender o significado que os participantes atribuem as suas experiências. Martins (2004) afirma que a pesquisa qualitativa é importante porque permite coletar evidências a respeito do tema abordado de maneira criadora e intuitiva, visto que há uma proximidade entre pesquisador e pesquisado, possibilitando a compreensão de crenças, tradições, em um máximo entrelaçar com o objeto em estudo.

O instrumento de coleta de dados utilizado foi o questionário, aplicado aos estudantes de forma prévia e posterior ao desenvolvimento do projeto temático. Segundo Gil (1999), os questionários possuem uma série de vantagens, sendo: baixo custo, acessibilidade, garantia do anonimato e presença de questões objetivas e de fácil tratamento. Rudio (2002), ao definir questionários, afirma que estes são constituídos por um conjunto de questões, organizadas e sistematizadas, as quais procuram captar as concepções dos pesquisados. Optou-se pelos questionários, pois estes permitem que os pesquisados respondam aos questionamentos livremente e expressem suas opiniões de forma clara e segura (Adams e Nunes, 2018).

Quadro 1: Etapas da sequência didática.

Aula	Assunto	Atividade Proposta	Metodologias Recursos
1	Questionamentos prévios	Sondagem das percepções prévias dos estudantes sobre a temática	- Questionário prévio
2 a 7	Energia e Sustentabilidade	Apresentar os conceitos iniciais da temática Energia e Sustentabilidade (Sensibilização do tema)	- Aula expositiva dialogada com auxílio de datashow - Aula experimental - Atividade lúdica
8	Conceitos químicos iniciais da temática: combustíveis e energia	Discussão dos conceitos iniciais para o entendimento da problemática Energia e Sustentabilidade	- Questionamentos aos estudantes - Aula expositiva dialogada
9 a 11	Reações de combustão e os gases liberados na queima de combustíveis (consequências ambientais)	Discussão de conceitos químicos importantes para a resolução da problemática proposta	- Revisão das discussões anteriores - Questionamentos - Aula expositiva dialogada - Proposição de exercícios sobre os conteúdos químicos, sociais e ambientais trabalhados
12	Reações Químicas e a Termoquímica	- Experimentação para introduzir o conceito de termoquímica	- Atividade experimental
13 a 15	Termoquímica e Combustíveis	- Discussão da atividade experimental proposta na aula 12 - Uso de gráficos, equações para trabalhar a termoquímica	- Aula expositiva dialogada a partir dos resultados da experimentação - Exercícios contextualizados sobre Termoquímica
16 a 18	Combustíveis renováveis	- Discussão sobre combustíveis renováveis - Cálculo de entalpia	- Questionamentos aos estudantes - Aula expositiva dialogada - Resolução de exercícios
19 a 22	Tipos de entalpia	- Exemplos de entalpias no cotidiano	- Aula expositiva dialogada - Resolução de exercícios
23	Rendimento e Poluição	- Atividade experimental para analisar a poluição gerada pelos diferentes tipos de combustíveis	- Atividade experimental
24 e 25	Rendimento e Poluição: questões ambientais	- Discussões sobre a atividade experimental desenvolvida na aula anterior: combustíveis fósseis versus renováveis	- Aula expositiva dialogada
26	Sustentabilidade	- Discussões sobre os combustíveis e a sustentabilidade planetária	- Aula expositiva dialogada
27	Sustentabilidade	- Utilização de um jogo didático para sistematização e avaliação do conhecimento trabalhado durante o Projeto Temático	- Jogo didático
28	Aplicação do questionário posterior	Avaliação final do Projeto Temático	- Questionário posterior

Fonte: Dados da pesquisa.

O questionário preliminar teve como objetivo investigar o conhecimento prévio dos estudantes para embasamento na elaboração das aulas, levando-se em conta o que já conheciam e o que ainda precisavam compreender. O questionário posterior, por sua vez, visou avaliar se as estratégias utilizadas contribuíram para o processo de ensino e aprendizagem dos estudantes, possibilitando avaliar o conhecimento construído e se o projeto propiciou uma formação crítica/reflexiva. Assim, as mesmas questões constaram em ambos os questionários.

Os instrumentos possuíam questões abertas, na qual os estudantes tiveram a liberdade de usar suas próprias palavras para expressar a sua opinião e conhecimentos. Vale destacar que os questionários aplicados foram elaborados durante reuniões periódicas com as professoras supervisora e orientadora do programa Pibid. Nessas reuniões, por meio do diálogo e troca de ideias, foi possível elaborar e selecionar as perguntas que constariam no questionário e analisar se a partir destas seria possível abstrair as informações necessárias para se investigar se o projeto desenvolvido contribuiu para o processo de (re)construção do conhecimento químico/social mediado. Para discussão dos resultados e para resguardar a identidade dos educandos estes foram identificados por códigos (A1 à A44).

Para análise dos dados obtidos a partir dos questionários fez-se uso da metodologia da Analise Textual Discursiva (ATD), pela qual as respostas dos estudantes foram agrupadas em unidades de significados. Segundo Moraes e Galiazzi (2007), a Análise Textual Discursiva é descrita como um processo que se inicia com uma unitarização em que os textos são separados em unidades de significado; em seguida, passa-se a fazer a articulação de significados semelhantes em um processo denominado de categorização, processo no qual reúnem-se as unidades de significado semelhantes, podendo gerar vários níveis de categorias de análise; este processo todo gera meta-textos analíticos que irão compor os textos interpretativos, no processo denominado de comunicação. Na etapa de comunicação, são elaborados metatextos explicitando as concepções surgidas a partir das informações em combinação com os referenciais teóricos (Nunes *et. al*., 2016). Destaca-se que neste trabalho as categorias foram construídas a posteriori, a partir da análise dos dados, e estas serão discutidas a seguir.

Resultados e Discussão

A sequência didática "Energia e Sustentabilidade": uma descrição

A sequência didática elaborada e implementada em sala de aula dentro do Projeto Temático denominado "Química e Energia em prol de um desenvolvimento sustentável" foi baseada em aulas contextualizadas/problematizadoras que abordaram a temática "Energia e Sustentabilidade" e tinham como problemática: "O que levar em consideração na hora de se abastecer um carro flex, o rendimento ou a consequência ambiental (poluição do ar)?".

Para a escolha da temática (Energia), foram realizadas reuniões entre as pibidianas, a professora orientadora e a professora supervisora da escola. O objetivo era a escolha de uma temática que contemplasse a realidade dos estudantes da escola, um tema social que tivesse a sociedade e a realidade dos estudantes como ponto de partida.

Para a escolha da temática (Energia), foram realizadas reuniões entre as pibidianas, a professora orientadora e a professora supervisora da escola. O objetivo era a escolha de uma temática que contemplasse a realidade dos estudantes da escola, um tema social que tivesse a sociedade e a realidade dos estudantes como ponto de partida. De acordo com a professora supervisora, a temática Energia poderia proporcionar uma perspectiva dialógica com os estudantes de forma que estes fossem incentivados a participarem das aulas e discussões. Dessa forma, na turma do segundo ano do Ensino Médio, a dupla de pibidianas pôde abordar o conteúdo químico de Termoquímica, que faz parte da matriz curricular desta série no segundo semestre letivo, contextualizando o mesmo com a problemática.

As aulas desenvolvidas serão descritas a seguir, demonstrando a proposta de uma interligação constante entre conhecimentos científicos, sociais, tecnológicos e ambientais.

1º aula – aplicação do questionário prévio;

2º a 7º aula – Aulas de sensibilização: foram aulas introdutórias da temática; serviram de suporte conceitual para o seu entendimento global. Nestas aulas, foram levantados os questionamentos e a problemática da sequência didática. Sendo assim, foram desenvolvidas seis aulas contextualizadas/problematizadas e expositivas/dialogadas, uma aula experimental, além de quatro aulas destinadas à discussão da atividade chamada de "Cantinho da Química: Energia e Sustentabilidade", uma atividade de caráter lúdico e cultural. Assim, para iniciar a sequência didática as pibidianas apresentaram a situação problema e lançaram perguntas aos estudantes. Os estudantes foram chamados a opinar, mas sempre sem se apresentar respostas, que foram discutidas ao longo do projeto.

8º aula – Combustíveis: aula inicial denominada "Termoquímica e os Combustíveis". Nesta aula foram trabalhados os conceitos científicos iniciais para a compreensão da problemática, bem como foram apontadas as questões ambientais envolvidas, sempre de forma problematizadora e dialógica.

9º, 10º e 11º aula – Combustíveis: a aula foi iniciada com uma revisão do que foi discutido na aula anterior, relembrando-se as consequências do uso dos combustíveis oriundos do petróleo. Definiu-se o que é um combustível, comburente e a energia de ativação, sendo esta última a energia mínima para que a reação química de combustão aconteça. Em seguida, foram apresentados exemplos de reações de combustão presentes no cotidiano e exemplos de reação de combustão completa e incompleta. Posteriormente, diferenciou-se calor de temperatura. Para finalizar a aula, foram propostos alguns exercícios sobre o conteúdo estudado, tanto o conteúdo químico, como o social.

12º aula – atividade experimental: a aula foi iniciada com o questionamento: "Toda reação química libera energia?". A partir das discussões oriundas das respostas dos estudantes, estes foram convidados a realizar uma atividade experimental para analisarem suas hipóteses.

13º, 14º e 15º aula – Combustíveis: a aula foi iniciada relembrando a atividade experimental realizada na aula anterior com o intuito de responder à questão proposta: "Toda reação química libera energia?". A partir dos relatos dos estudantes, foram introduzidos os conceitos de reação exotérmica e reação endotérmica; exemplos no cotidiano dessas reações também foram apresentados, bem como a representação gráfica das reações. Em seguida, alguns exercícios foram propostos para os estudantes e discutidos com estes em sala. Em seguida, foram apresentadas as equações termoquímicas, exemplos de equações termoquímicas, de reações endotérmicas e exotérmicas, bem como discutiu-se a absorção e liberação de energia nos processos de mudanças de estados físicos. A aula foi finalizada com a resolução e correção de exercícios sobre o conteúdo discutido.

16º, 17º e 18º aula – Combustíveis: definiu-se quimicamente o que é um álcool e apresentou-se a sua estrutura química. Em seguida, discutiu-se historicamente o processo de utilização do etanol como um combustível, destacando-se sua matéria-prima, vantagens e desvantagens, processo de produção, interesse econômico etc. Discutiu-se também o processo histórico de obtenção da gasolina, apresentando-se o carro flex. A reação de combustão do etanol foi apresentada aos estudantes com seus respectivos valores de variação de entalpia (ΔH), bem como a maneira de se calcular a variação de entalpia. Alguns exemplos do cálculo foram resolvidos junto com os estudantes.

19º, 20º, 21º e 22º aula – Combustíveis e os diferentes tipos de entalpias: nessas aulas os diferentes tipos de entalpias foram apresentados aos estudantes, quais sejam, entalpia de ligação, entalpia de formação e entalpia de combustão, por meio de exemplos dos tipos de entalpia no cotidiano e foram demonstrados cálculos de entalpias.

23º aula – Aula experimental: Rendimento x Poluição: essa aula teve o objetivo de propor a análise da poluição gerada pelos diferentes tipos de combustíveis por meio de uma atividade experimental investigativa. Para a realização do experimento os estudantes foram divididos em grupos de três (3) ou quatro (4) membros, e em cima de cada bancada foram disponibilizados materiais como diesel; gasolina; álcool; cápsulas de porcelana; papel filtro; palitos de fósforo; colheres de metal. Os estudantes, em grupo, deveriam definir uma forma para investigar qual dos combustíveis fornecidos era o mais poluente.

24º e 25º aula – Combustíveis: Rendimento x Poluição: a aula foi iniciada por meio da discussão do experimento da aula anterior. Os estudantes foram convidados a relatar como realizaram o experimento e quais resultados obtiveram, de forma que identificaram o diesel como o combustível mais poluente e o etanol como o menos poluente. Destaca-se que esta conclusão foi obtida por meio da observação da atividade experimental, bem como a partir de dados teóricos, uma vez que durante a queima sugeriu-se que os alunos, com o auxílio de uma colher, observassem a quantidade de fuligem liberada na queima de cada um dos combustíveis. Sendo assim, relataram que a colher que teve contato com o diesel ficou bastante escura, enquanto a que teve contato com a fumaça do etanol ficou praticamente limpa, resultado da maior liberação de gás carbônico pela queima de quantidades (mols) iguais de diesel em relação à gasolina e ao etanol, e também por meio das equações termoquímicas dos combustíveis, quais seja, gasolina ($C_8H_{8(l)} + 12{,}5O_{2(g)} \rightarrow 8\,CO_{2\,(g)} + 9\,H_2O_{(g)}$ $\Delta H = -5471$ KJ), etanol ($C_2H_6O_{(l)} 3O_{2(g)} \rightarrow 2\,CO_{2(g)} + 3\,H_2O_{(g)}$ $\Delta H = -1366$ KJ), diesel ($C_{15}H_{32(l)} + O_{2(g)} \rightarrow C_{(s)} + CO_{(g)} + CO_{2(g)} + H_2O_{(g)}$ $\Delta H =$ - KJ).

Nesta aula, através de provocações feitas aos estudantes, focou-se nas questões ambientais do uso de combustíveis, tanto os fósseis como os renováveis.

26º aula – Combustíveis: O que eu quero para o meu futuro? retomou-se com os estudantes a discussão sobre qual seria a melhor escolha de combustível para ser utilizado em um carro flex, apresentando aos estudantes conceitos como o de sustentabilidade e discutindo-se a necessidade/urgência de uma conscientização dos homens e mulheres em prol da sustentabilidade de planeta.

27º aula – Jogo Didático "Na Trilha dos Combustíveis": a atividade em questão buscou complementar as discussões sobre qual o combustível que favorece a sustentabilidade, a gasolina ou o etanol (Adams e Nunes, 2018)

28º aula – aplicação de questionário posterior.

Os estudantes foram convidados a relatar como realizaram o experimento e quais resultados obtiveram, de forma que identificaram o diesel como o combustível mais poluente e o etanol como o menos poluente. Destaca-se que esta conclusão foi obtida por meio da observação da atividade experimental, bem como a partir de dados teóricos, uma vez que durante a queima sugeriu-se que os alunos, com o auxílio de uma colher, observassem a quantidade de fuligem liberada na queima de cada um dos combustíveis.

Após a implementação da sequência didática proposta, percebe-se que estas modificações no processo de ensino e aprendizagem estão de acordo com as mudanças pretendidas atualmente na educação de se intensificar o diálogo com o mundo real e, para isso, se utilizar os conhecimentos para se entender a realidade (Brasil, 2018). Segundo este mesmo documento (Base Nacional Comum Curricular), os conhecimentos científicos associados às temáticas são as bases que permitem aos estudantes investigar, analisar e discutir soluções problema que emerjam de diferentes contextos sócio culturais (Brasil, 2018).

Em todo o processo, buscou-se trabalhar as aulas de forma o mais dialógica possível, incentivando-se nos estudantes a formação do pensamento crítico entre Ciência, Tecnologia e Sociedade. Além da perspectiva dialógica, foram princípios da sequência didática a contextualização, a interdisciplinaridade e a problematização do conhecimento. Assim, a partir da problemática proposta, se buscou lançar um tema/problema da sociedade de forma que este processo de investigação pudesse levar os estudantes a tomarem decisões embasadas cientificamente sobre este assunto. Portanto, o ponto de partida não foi o conhecimento químico, mas a realidade dos estudantes. E, a partir dessa abordagem temática, foram inseridos os conhecimentos científicos, tecnológicos e ambientais necessários para despertar nos estudantes a cultura de participação na sociedade. Neste movimento, diversos recursos e metodologias foram propostos para auxiliar na tomada de decisão sobre a problemática lançada.

Assim, após a proposição e implementação, foi realizada a avaliação das intervenções no contexto escolar a partir das respostas obtidas nos questionários aplicados. A seguir, são

apresentadas as categorias criadas a partir da metodologia da Análise Textual Discursiva dos questionários.

A sequência didática e a (re)construção de conhecimentos sobre energias e combustíveis

Após a aplicação da sequência didática elaborada, os resultados foram analisados a partir da análise dos questionários prévios e posteriores. Antes do desenvolvimento da sequência didática os estudantes foram questionados se sabiam o que eram energias renováveis. Destes, 48% não souberam responder o que são ou não responderam à questão, o que ressalta a importância da discussão da temática, uma vez que o tema é hoje central na discussão da sustentabilidade planetária. Alguns estudantes responderam com breves definições, enquanto outros, citaram exemplos, como pode ser observado nos excertos a seguir:

Excerto 1 – São energias, hidrelétrica, energia eólica. (A15)
Excerto 2 – São as energias que fazem bem ao meio ambiente. (A14)
Excerto 3 – São energias que ajudam na preservação do mundo. (A19)
Excerto 4 – Que não prejudicam o meio ambiente, o ajudam. (A33)

Por meio da análise das respostas dos estudantes, pôde-se observar que estes apresentaram respostas simplistas, sem base científica frente ao que são energias renováveis e a associam com a preservação do meio ambiente, como citado por A14, 15 e 19. Assim, pode-se ver que os estudantes reconhecem a relação do uso dessas fontes de energia com o cuidado com o meio ambiente. Acredita-se que isso se deve ao fato de os estudantes já terem ouvido falar da temática, ou em outros momentos na escola ou até mesmo por meio das mídias. Após o desenvolvimento da sequência didática contextualizada, os estudantes foram novamente inquiridos sobre as energias renováveis e a maioria respondeu que estas eram aquelas originárias de fontes naturais, mas que também podem ser obtidas do lixo (biomassa); afirmaram ainda que estas fontes de energia possuem matérias-primas capazes de regeneração (renovação) e são um tipo de energia que respeita o meio ambiente e, que, assim, são energias que podemos utilizar em prol da sustentabilidade energética (Adams *et al*., 2020).

Pôde-se observar que, após as aulas contextualizadas, os estudantes se apropriaram do conhecimento, ou seja, a maioria soube responder a uma questão em que antes apresentavam um conhecimento superficial e após a sequência didática o fizeram de forma mais elaborada. A seguir alguns excertos que demonstram indícios dessa apropriação do conhecimento:

Excerto 5 – "[...] energia renovável é aquela que utilizamos em prol da sustentabilidade energética [...]". (A8)

Excerto 6 – "[...] energia renovável é uma alternativa de energia limpa como do sol e da chuva, que deve ser utilizada para substituir a energia poluente como o petróleo [...]". (A23)

Percebeu-se que, além de construir conhecimento, os estudantes foram capazes de elaborar respostas mais bem estruturadas. Ou seja, as aulas contextualizadas foram capazes de promover uma alfabetização científica nos estudantes e ainda desenvolver a habilidade de escrita e de estruturação de textos (respostas). Lorenzetti (2000) define a alfabetização científica como o processo pelo qual a linguagem das ciências naturais adquire significado, constituindo um meio para o indivíduo ampliar o seu universo de conhecimentos; em síntese, é condição para o exercício da cidadania. Desta forma, a partir da alfabetização científica, o estudante desenvolve uma postura crítica e reflexiva para atuar e transformar o mundo em que vive.

A alfabetização científica e tecnológica é hoje uma das metas da Educação em Ciências, conforme referendado pela BNCC (Brasil, 2018), que afirma a necessidade da Educação Básica, em especial do ensino de ciências, de comprometer-se com o letramento científico da população. Tal documento destaca que aprender ciências da natureza vai além do aprendizado de seus conteúdos conceituais: envolve aprendizagens específicas com vistas a sua aplicação em contextos diversos.

Pôde-se observar que, após as aulas contextualizadas, os estudantes se apropriaram do conhecimento, ou seja, a maioria soube responder a uma questão em que antes apresentavam um conhecimento superficial e após a sequência didática o fizeram de forma mais elaborada.

Nesse sentido, para Carvalho (2008), a prática da alfabetização científica deve ser sistematizada dentro do espaço escolar com o objetivo de diminuir o distanciamento entre o que se ensina e o que se aprende na sala de aula e para que isso aconteça é necessário um entendimento da linguagem científica, para muito além da simples substituição dos conceitos prévios que permeiam a ciência do senso comum. É preciso que o estudante seja inserido no universo das ciências, contemplando as interações entre Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente.

Acredita-se que a sequência didática "Energia e Sustentabilidade" permitiu a interação do estudante com a Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente e ainda promoveu o senso crítico dos estudantes e a preocupação com o desenvolvimento sustentável. Isso pôde ser observado a partir dos comentários dos estudantes, quando afirmaram que a temática da aula trouxe um problema real e para o qual não davam a devida atenção. Eles relataram que a partir das discussões levantadas começaram a refletir e tiveram a consciência das consequências do uso exacerbado de recursos energéticos. As aulas interligaram as informações químicas (como, por exemplo, o conceito de energia e processos de obtenção de energia) e o contexto social (consumismo e desperdício de energia) para que os estudantes desenvolvessem competências como o senso crítico e assim pudessem

participar ativamente da sociedade em discussões sobre recursos energéticos. Para isso, eles precisaram compreender a relação entre a química e a sociedade e assim se tornaram capazes de provocar mudanças na busca de uma melhor qualidade de vida para todos (Adams *et al*., 2020).

No questionário prévio, 62% dos estudantes afirmaram que eram a favor das energias renováveis porque estas prejudicavam menos o meio ambiente. Os outros 38% não responderam à questão ou não eram a favor das energias renováveis, mas não justificaram a sua resposta. Já no questionário posterior, 91% dos estudantes responderam que são a favor das energias renováveis porque essas fontes de energia prejudicam menos o meio ambiente e podem ser um caminho para a sustentabilidade do planeta. Pôde-se perceber que a partir das aulas contextualizadas os estudantes tomaram conhecimento do problema de poluição causada pelo uso excessivo de combustíveis fósseis e, principalmente, se conscientizaram sobre a forma para evitar/solucionar tal problema, se preocupando assim com a nossa sustentabilidade. Ou seja, as aulas permitiram que os estudantes refletissem sobre um assunto atual e de suma importância para o desenvolvimento/sobrevivência da sociedade. Alguns estudantes afirmaram que:

Excerto 7 – "[...] Elas são fontes de energia inesgotável, que não causam poluição exagerada". (A44)

Ainda no questionário prévio, os estudantes foram questionados sobre quais tipos de energias renováveis utilizavam em seu cotidiano e 27% afirmaram que não sabiam quais fontes de energias renováveis utilizavam; os outros 63% responderam que utilizavam a energia eólica, solar e hídrica, sendo a última a mais citada pelos estudantes; os 10% restantes responderam que a energia nuclear e petróleo são fontes de energia renováveis que utilizam no seu cotidiano.

Pôde-se observar que nos questionários posteriores os estudantes associaram o uso de energias renováveis como uma forma de garantirmos a sustentabilidade do planeta, o que nos mostra que a sequência didática pode ter auxiliado no início de uma formação baseada no exercício da cidadania, pois possibilitou que os estudantes fossem mais informados e se tornassem mais críticos perante o assunto abordado nas aulas. Acredita-se que com isso deixaram de ser espectadores para vivenciarem a experiência de serem sujeitos ativos e críticos na construção de seu conhecimento. Percebem-se assim indícios de uma conscientização crítica e de um desejo de atuação na sociedade e nas decisões sobre matrizes energéticas.

Mas uma vez, os dizeres dos estudantes demonstraram indícios do desenvolvimento da alfabetização científica por meio da sequência didática desenvolvida, uma vez que Sasseron e Carvalho (2008) afirmam que por meio da alfabetização cientifica os cidadãos podem usar de informações que possuem sobre ciências para tomar decisões. Chassot (2011), ao discutir sobre o ensinar ciências, apresenta que esse ensino deve procurar que os sujeitos se tornem homens e mulheres mais críticos, tornem-se agentes de transformações do mundo. Sendo assim, esse foi o objetivo do projeto temático desenvolvido, a conscientização para o uso de uma energia sustentável e limpa, de modo que os estudantes fossem incentivados a buscar soluções para a problemática da sustentabilidade do planeta.

Ainda no questionário prévio, os estudantes foram questionados sobre quais tipos de energias renováveis utilizavam em seu cotidiano e 27% afirmaram que não sabiam quais fontes de energias renováveis utilizavam; os outros 63% responderam que utilizavam a energia eólica, solar e hídrica, sendo a última a mais citada pelos estudantes; os 10% restantes responderam que a energia nuclear e petróleo são fontes de energia renováveis que utilizam no seu cotidiano. Pode-se concluir que no questionário prévio uma parte dos estudantes não sabia qual a diferença entre energia renovável e não renovável e acabaram citando energias que conheciam ou já tinham ouvido falar, mas que não são fontes renováveis de energia.

Já no questionário posterior obteve-se 19% dos estudantes respondendo que utilizam petróleo, carvão e energia nuclear no seu cotidiano e 81% responderam que utilizam energia hídrica (sendo está a mais citada), energia solar, biomassa (combustíveis) e madeira. Assim, no questionário posterior obteve-se uma porcentagem maior de estudantes respondendo que utilizavam petróleo e energia hídrica no seu cotidiano. Pôde-se observar, mais uma vez, que os estudantes ainda estavam confundindo quais são as fontes de energia renováveis e as não renováveis, o que levou as pibidianas a realizarem uma atividade de revisão com aqueles estudantes que ainda apresentavam essas dúvidas. Assim, apesar de se observar o aumento da criticidade dos estudantes quanto à questão energética e ambiental, ainda foram percebidas confusões em suas definições.

Combustíveis e implicações ambientais

Nesta sequência didática proposta o objetivo foi conscientizar os estudantes dos problemas ambientais causados pela queima de combustíveis fósseis, tentando proporcionar uma mudança de hábitos, uma postura crítica frente aos demais consumidores de combustíveis fósseis como o setor industrial e para que pudessem ainda levar esses conhecimentos para seus pais, familiares e amigos. Portanto, buscou-se uma conscientização para a transformação da realidade em relação ao consumo de combustíveis fósseis e as alternativas mais sustentáveis para estes.

Observou-se pelas respostas obtidas no questionário prévio que anteriormente às discussões em sala, nenhum dos estudantes relacionava a queima dos combustíveis com a geração da poluição, o que se pôde observar diferentemente no

questionário aplicado após o término da sequência didática. Após as discussões, os estudantes já conseguiram associar a queima dos combustíveis com a produção tanto de energia, quanto de gases poluentes:

Excerto 8 – Os combustíveis geram energia através da reação de combustão, e a queima dos combustíveis colabora para a poluição e destruição do meio ambiente. (A2)
Excerto 9 – O combustível é retirado do meio ambiente, e depois de ser queimado volta para o meio ambiente por meio de gases ou de fuligens. (A23)

Algo interessante e que apareceu em muitas respostas, foi a associação de que os combustíveis são substâncias extraídas da natureza:

Excerto 10 – O combustível é retirado do meio ambiente, e depois de ser queimado volta para o meio ambiente por meio de gases ou de fuligens. (A23)
Excerto 11 – Porque tem combustível que é feito de madeira. (A24)
Excerto 12 – A maioria dos combustíveis são tirados da natureza. (A33)
Excerto 13 – O petróleo é retirado do mar. (A41)

Assim, podemos observar após as aulas indícios de que os estudantes ampliaram seus conhecimentos associando que a matéria-prima dos combustíveis provém da natureza, mas que o uso e consequente queima destes causa poluição. Esta discussão sobre a poluição causada pela queima dos combustíveis foi fundamental para que as pibidianas abordassem com os estudantes a importância do uso sustentável dos combustíveis, discutindo aspectos relacionados ao rendimento energético, mas também em relação à geração de poluição a partir da queima da gasolina e do etanol. O objetivo foi levar os estudantes a refletirem quimicamente sobre qual seria a melhor opção de combustível, mas pensando mais criticamente no desenvolvimento sustentável da sociedade. Destaca-se que para a condução dessas discussões as pibidianas lançaram mão de diversas metodologias, tais como a experimentação, demonstrando a poluição gerada pelos diferentes tipos de combustíveis, de forma que os estudantes pudessem observar/analisar que o etanol é um combustível que gera uma quantidade menor de poluição do que a gasolina, favorecendo assim a sustentabilidade. Neste sentido, fez-se uso de dados numéricos, como os valores de variação de entalpia e gráficos para se demonstrar que a gasolina é um combustível que possui maior rendimento energético.

Dessa forma, tais metodologias contribuíram para que a maioria dos estudantes fizesse, ao final das discussões, a opção pelo etanol como combustível a ser utilizado. Os excertos a seguir corroboram:

Excerto 14 – Sim, pois eles ou ele o etanol é o que menos polui, ele é uma boa ajuda ao meio ambiente. (A1)
Excerto 15 – Porque é menos poluente e vem de fontes renováveis. (A23)
Excerto 16 – Utilizando mais etanol, que polui menos. (A44)
Excerto 17 – Usando álcool *no lugar da gasolina. (A36)*

Kiouranis e Silveira (2017) também desenvolveram uma sequência didática com a temática combustíveis, discutindo qual seria a melhor opção entre a gasolina e o etanol. Em seus resultados, os autores apresentam que:

> *A maioria dos alunos indicou o melhor combustível como aquele oriundo de fonte renovável e com produção de menor quantidade de poluentes. Algumas respostas também levaram em consideração a quantidade de energia que o combustível produz. No entanto, os alunos demonstraram incertezas em relação às diferenças energéticas existentes entre o álcool e a gasolina, surgindo muitas polêmicas sobre o rendimento dos combustíveis. Para alguns, a gasolina renderia menos que o álcool, enquanto outros consideravam o contrário, gerando discussões entre os grupos. Quanto à poluição, alguns argumentaram que a gasolina seria o maior poluidor, em razão do aumento do efeito estufa e destruição da camada de ozônio; e assim o álcool seria um combustível menos ofensivo à natureza. As respostas dos alunos indicaram concepções alternativas sobre o significado de poluição. Ao serem indagados sobre o que seria poluição, alguns responderam com argumentos inconsistentes* (Kiouranis e Silveira, 2017, pg. 71 – 72).

Destaca-se que para a condução dessas discussões as pibidianas lançaram mão de diversas metodologias, tais como a experimentação, demonstrando a poluição gerada pelos diferentes tipos de combustíveis, de forma que os estudantes pudessem observar/analisar que o etanol é um combustível que gera uma quantidade menor de poluição do que a gasolina, favorecendo assim a sustentabilidade.

Os dados apresentados pelos autores são um pouco diferentes dos obtidos a partir da presente sequência didática, na qual 93% dos estudantes participantes afirmaram que, se possuíssem um carro flex, fariam a opção pelo etanol como combustível. A justificativa dos estudantes estava relacionada com a poluição, uma vez que o etanol é um combustível oriundo de fonte renovável e é menos poluente que a gasolina, como observado nos excertos 14 a 17. Assim, apesar de confirmarem o maior poder energético da gasolina (maior rendimento), ainda assim optaram pelo combustível menos poluente, confirmando deste modo uma preocupação e criticidade ambiental (Kiouranis e Silveira, 2017).

Sendo assim, percebe-se que se atingiu o objetivo inicial da proposta, a conscientização dos estudantes sobre as fontes de energia e, em especial, da preocupação com a utilização de energias sustentáveis. Os estudantes foram incentivados a buscar soluções para a problemática da sustentabilidade

planetária ao optarem por um combustível menos poluente, o etanol. Assim, acredita-se no sucesso da proposta, pois mesmo que nem todos os estudantes tenham sido sensibilizados para a problemática da sustentabilidade, acredita-se que os que foram impactados pelas discussões possam ser disseminadores dessa preocupação junto a seus familiares e amigos, criando-se uma rede de preocupação ambiental, como podemos observar nos excertos seguir:

Excerto 18 – Ah, eu falei pro meu pai que ele tem que usar o etanol, pois o etanol polui menos. (A1)

Excerto 19 – Sim, utilizar os biocombustíveis, diminuir o uso de tanta energia, água, e ensinar as outras pessoas o que eu aprendi. (A2)

Excerto 20 – Sim, falar para as pessoas usar os biocombustíveis. (A13)

A fala de A1, no excerto 18, demonstra que o mesmo refletiu durante as aulas sobre o uso dos combustíveis sustentáveis, internalizou o conhecimento e foi mediador destes ao afirmar para seu pai que ele deveria optar pelo etanol, que é um combustível que polui menos. Assim, além do aprendizado do conhecimento científico observamos que a sequência didática contribuiu para que o estudante fosse um disseminador de informações ambientais, preocupado com a sustentabilidade.

Tal fato é de suma importância num processo de Educação Ambiental, pois atingiria não somente o estudante, mas sua família e amigos, e isso pode ser alcançado a partir dos temas geradores, como neste caso dos combustíveis. Conforme Delizoicov *et al.* (2011, pg. 165), os temas geradores:

> […] *foram idealizados como um objeto de estudo que compreende o fazer e o pensar, o agir e o refletir, a teoria e a prática, pressupondo um estudo da realidade em que emerge uma rede de relações entre situações significativas individual, social e histórica, assim como uma rede de relações que orienta a discussão, interpretação e representação dessa realidade.*

Sendo assim, percebe-se a importância e alcance deste tipo de discussão em sala de aula, que propiciaria a Educação Ambiental e a preocupação com a sustentabilidade do planeta. Assim, observamos que os estudantes compreenderam o conceito de sustentabilidade, associando o mesmo com o modo de viver, produzir e agir da humanidade, como podemos observar nos excertos:

Excerto 21 – Usando combustíveis sustentáveis, vindos de fontes renováveis que são melhores para o planeta, e diminuindo o uso de combustíveis fósseis. (A23)

Excerto 22 – Utilizar os que poluem menos, os mais sustentáveis, que são melhores para o meio ambiente. (A35)

Excerto 23 – Sim, se não contribuirmos para o planeta será impossível a vida na terra. (A34)

Segundo Ayres e Amaral (2016), a sustentabilidade ambiental representa, essencialmente, uma mudança de paradigma na relação entre a humanidade e o meio ambiente, bem como o reconhecimento de que as atuais exigências excessivas e desenfreadas perante os recursos naturais, juntamente com a ampla geração de poluentes, constituem um insustentável e ameaçador futuro ambiental.

Assim, acredita-se que a sequência didática contribuiu para que os estudantes construíssem pensamentos sustentáveis e fizessem uso dos conceitos químicos para tanto, se tornando ainda propagadores destes conhecimentos ambientais e de sustentabilidade.

Considerações Finais

O Projeto Temático "Química e Energia em prol de um desenvolvimento sustentável", buscou, a partir dos conceitos químicos de termoquímica, que os estudantes refletissem sobre qual combustível utilizar em um carro flex, o de maior rendimento, qual seja, a gasolina, ou o menos poluente, o etanol. Além dos conceitos associados com a energia e a reação de combustão, que foram observados por meio da análise dos questionários prévios e posteriores, percebe-se que os estudantes desenvolveram preocupações ambientais a respeito da temática combustíveis, importando-se com o futuro do planeta e a sustentabilidade. Acredita-se que através da contextualização o educando é levado a fazer uma ponte entre a teoria e a prática, aproximando a escola do mundo real. Portanto, a atividade desenvolvida foi capaz de tornar os estudantes sujeitos ativos na apropriação do conhecimento, além de sujeitos críticos frente aos problemas que a sociedade enfrenta, fazendo uso do conhecimento químico para refletir e resolver estes problemas em prol de um futuro da humanidade.

[…] se pôde observar indícios do desenvolvimento da alfabetização científica nos estudantes, o que é imprescindível no campo educacional, estando a mesma diretamente ligada à Educação em Ciências e aos fatores sociais, históricos, políticos, culturais, tecnológicos e ambientais da sociedade. Mas, após todas as constatações descritas neste trabalho de inovações no processo de ensino e aprendizagem fica a pergunta: por que essas modificações não se materializam na sala de aula?

Também se pôde observar indícios do desenvolvimento da alfabetização científica nos estudantes, o que é imprescindível no campo educacional, estando a mesma diretamente ligada à Educação em Ciências e aos fatores sociais, históricos, políticos, culturais, tecnológicos e ambientais da sociedade. Mas, após todas as constatações descritas neste trabalho de inovações no processo de ensino e aprendizagem fica a pergunta: por que essas modificações não se materializam na sala de aula? O que se pôde perceber no processo é que a abordagem temática aqui descrita e analisada necessitou da participação de muitos autores e demandou e requereu

muito tempo de planejamento, de escolhas de temática, de recursos didáticos e metodológicos diferenciados. Tempo e apoio que nem sempre os professores em exercício dispõem em seu trabalho pedagógico cotidiano.

Por fim, destaca-se que para que essas mudanças no contexto escolar e no processo de ensino e aprendizagem se materializem na escola, é necessário investir no processo de formação inicial e continuada dos professores, atores primordiais para a desejada mudança na educação. Sendo assim, registra-se aqui a importância de projetos como o Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (Pibid), que promovem a maior inserção dos licenciandos em sala de aula e o contato destes com inovações no processo de ensino e aprendizagem.

Agradecimentos

Ao Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID).

Fernanda Welter Adams (adamswfernanda@gmail.com), doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ensino História e Filosofia da Ciência pela Universidade Federal da Bahia, mestre em Educação, licencianda em Química e Pedagogia. Canela, BA – BR. **Simara Maria Tavares Nunes** (simara_nunes@ufcat.edu.br), licenciada em Química, mestre e doutora em Ciências pela Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo. Atualmente é Professora Associada da Faculdade de Educação e do Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de Catalão. St. Universitário. Catalão, GO – BR.

Referências

ADAMS, F. W.; ALVES, S, D. B.; SANTOS, D. G. e NUNES, S. M. T. O projeto temático "Química e Energia em Prol de um Desenvolvimento Sustentável": apontamentos iniciais. *Revista Eletrônica de Educação*, v. 14, pg. 1-19, jan./dez. 2020. Disponível em: http://www.reveduc.ufscar.br/index.php/reveduc/article/view/2887/922, acesso em mar. 2022.

ADAMS, F. W. e NUNES, S. M. T. O Jogo Didático "Na trilha dos combustíveis": em foco a termoquímica e a energia. *Revista Eletrônica Ludus Scientiae*, Foz do Iguaçu, v. 02, n. 02, p. 90-105, jul./dez. 2018. Disponível em: https://revistas.unila.edu.br/relus/article/view/1482/1531, acesso em mar. 2022.

AYRES, F. M. e AMARAL, C. L. C. A questão da sustentabilidade ambiental no ensino de Química. *REnCiMa*, v.7, n.5, p. 01-11, 2016.

BOGDAN, R. C. e BIKLEN. S. K. *Investigação qualitativa em educação:* uma introdução a teoria e os métodos. Portugal: Editora Porto, 1994.

BRASIL, MEC. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. abr. 2018.

CHASSOT, A. *Alfabetização Científica:* questões e desafios para a educação. Ijuí: Ed. Ijuí, 2011.

CARVALHO, A. M. P. Enculturação Científica: uma meta do ensino de Ciências. In: Trajetórias e processos de ensinar e aprender: práticas e didáticas. *Anais*... XIV Endipe, 2008.

CONFERÊNCIA SUB-REGIONAL DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL PARA A EDUCAÇÃO SECUNDÁRIA. Chosica/Peru, 1976.

DANTAS, I. S.; SILVA, J. M. e BRAGA, C. F. Estratégias didáticas para o ensino de química: os biocombustíveis como tema gerador. *Anais*... XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ), 2016. Disponível em: www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R2032-2.pdf, acesso em mar. 2022.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. P. e PERNAMBUCO, M. M. C. A. *Ensino de Ciências:* Fundamentos e Métodos. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social.* 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GOMES, A. P.; RÔÇAS, G.; DIAS-COELHO, U. C.; CAVALHEIRO, P. O.; GONÇALVEZ, C. A. N. e SIQUEIRA-BATISTA, R. Ensino de Ciências: Dialogando com David Ausubel. *Revista Ciências & Ideias*, n1, volume 1, pg. 23-31, outubro/ março, 2010. Disponível em https://revistascientificas.ifrj.edu.br/revista/index.php/reci/article/view/28/69, acesso em mar. 2022.

KIOURANIS, N. M. M. e SILVEIRA. M. P. Combustíveis: uma abordagem problematizadora para o ensino de química. *Química Nova na Escola*, Vol. 39, N° 1, p. 68-74, fev, 2017. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc39_1/11-RSA-55-15.pdf, acesso em mar. 2022.

LORENZETTI, L. Alfabetização científica no contexto das séries iniciais. Dissertação – Programa de Mestrado em Educação da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

MARTINS, H. H, T. S. Metodologia qualitativa de pesquisa. *Educação e Pesquisa*, São Paulo, v.30, n.2, p. 289-300, maio/ago. 2004. Disponível em: https://www.scielo.br/j/ep/a/4jbGxKMDjKq79VqwQ6t6Ppp/?lang=pt&format=pdf, acesso em mar. 2022.

MORAES, R. e GALIAZZI, M. C. *Análise Textual Discursiva*. Ijuí/RS: Editora Unijuí, 2007.

NUNES, S. M. T.; LOBATO, D. F.; ADAMS, F. W. e ALVES, S. D. B. As Feiras de Ciências da UFG/RC: construindo conhecimentos interdisciplinares de forma prazerosa. *Redequim*, v. 2, n. 2 (Esp.), pg. 74-85, set. 2016. Disponível em: http://www.journals.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/article/view/1300, acesso em mar. 2022.

PEREIRA, B. S. A.; MENEZES, J. M. S. e CARMO, D. F. M. Contextualização no ensino de química: concepções e prática de professores da educação básica no interior do Amazonas. *Revista Cocar* v.15. n.33, p.1-15, 2021. Disponível em: https://periodicos.uepa.br/index.php/cocar/article/view/4539, acesso em mar. 2022.

POMBO, O.; GUIMARÃES, H. M. e LEVY, T., A *Interdisciplinaridade:* Reflexão e Experiência. LISBOA: Texto Editora, 1ª edição, 1993.

ROCHA, J. S. e VASCONCELOS, T. C. Dificuldades de aprendizagem no ensino de química: algumas reflexões. *Anais*... XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química (XVIII ENEQ), 2016. Disponível em //www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0145-2.pdf, acesso em mar. 2022.

RUDIO, F. V. *Introdução ao projeto de pesquisa científica*. Petrópolis: Vozes, 2002.

SANTOS, M. J.; DIOGO, G. M.; ROSA, J. L. B.; FERREIRA, L. S.; CARVALHO, R. S. e RUBINGER, M. M. M. Projetos Temáticos no Ensino Médio: Promovendo atividades contextualizadas e interdisciplinares em uma Escola de Viçosa (MG). *Anais*... XVIII Encontro Nacional de Ensino de Química

(XVIII ENEQ) Florianópolis, SC, Brasil, 2016.

SANTOS, B. C. D. e FERREIRA, M. Contextualização como princípio para o ensino de química no âmbito de um curso de educação popular. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 13, n.5, 2018. Disponível em //www.eneq2016.ufsc.br/anais/resumos/R0145-2.pdf, acesso em mar. 2022.

SASSERON, L. H. e CARVALHO, A. M. P. Almejando a alfabetização científica no ensino fundamental: a proposição e a procura de indicadores do processo. *Investigações em Ensino de Ciências,* v.13, n.3, p.333-352, 2008. Disponível em: https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/445/263, acesso em mar. 2022.

SCORSATTO, M. C. Uma abordagem alternativa para o Ensino de Física. Dissertação – Programa de pós-graduação em Ensino de Ciências Exatas do Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2010.

SILVA, A. M. Proposta para tornar o ensino de química mais atraente. *Revista de química Industrial*, n. 731, p. 7-12, 2º. trim. 2012. Disponível em http://www.abq.org.br/rqi/Edicao-731.html, acesso em mar. 2022.

Abstract: *The Contextualization of the Energy Theme and the Formation of Sustainable Thinking in Students.* Problematizing the teaching of chemistry helps the student to understand reality, making use of this knowledge to interpret it. The objective is to report the experience of Pibidianas in the elaboration/implementation/evaluation of a didactic sequence contextualized with the theme "Energy and Sustainability" in the teaching and learning process of second year high school students of a public school in the interior of the state of Goiás. This started from the problem: What to take into account when refueling a flex car, the performance or the environmental consequences (air pollution)? It`s qualitative research, using previous and post questionnaires as data collection instruments, analyzed using Discursive Textual Analysis. It was observed that the students understood the concepts of thermochemistry, energy, combustion reaction and used them to reflect and change their attitude towards the proposed problem. Thus, the objective of training critical students with sustainable thoughts was fulfilled.
Keywords: didactic sequence, fuels and fnergy, sustainability.

A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160305

Estudo de Caso Interrompido na Promoção de Conhecimento Ambiental de Graduandos em Química: Resíduos Sólidos Urbanos em Foco

Mikeas S. de Lima, Ícaro M. Oliveira e Salete L. Queiroz

O presente trabalho tem como objetivo relatar a aplicação de um estudo de caso interrompido sobre resíduos sólidos urbanos junto a graduandos em química. Ao final do processo, os estudantes preencheram quadros que sintetizavam a resolução dos casos, os quais foram analisados visando à compreensão do conhecimento ambiental com o qual tiveram que lidar e a extensão da associação deste conhecimento às metas estabelecidas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os resultados indicaram a associação do conhecimento ambiental adquirido pelos estudantes com várias metas, com destaque para as de Consumo e Produção Responsáveis. As suas percepções frente à estratégia didática empregada também foram alvo de atenção, tendo sido identificado o reconhecimento do desenvolvimento de habilidades como trabalho em grupo, pensamento crítico e resolução de problemas.

▶ estudo de caso interrompido, conhecimento ambiental, ensino superior de química ◀

Recebido em 20/11/2021, aceito em 15/03/2022

O revés dos resíduos sólidos urbanos (RSU) e sua ameaça ao meio ambiente e à saúde humana é uma temática de interesse mundial, diretamente correlacionada à guisa pela qual a sociedade manufatura e utiliza seus bens (Poletto Filho e Poletto, 2017). De acordo com as informações apresentadas pelo Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil em 2020 (ABRELPE, 2020), na última década houve um crescimento significativo na geração de RSU, a constar que, em 2010, a produção foi de 66,7 milhões de toneladas e, em 2019, avolumou para 79,1 milhões. Além disso, cada cidadão brasileiro produz em média 379,2 kg/ano de lixo, o que equivale a mais de 1 kg de resíduos gerados por dia (ABRELPE, 2020).

O vertiginoso crescimento populacional, concomitante ao sistema de consumo estabelecido pela sociedade, seja associado à cultura do desperdício e/ou do descarte, concebe aos gestores e governantes alguns desafios frente às políticas públicas direcionadas ao gerenciamento dos RSU (Moretto, 2018). Em relação às tais políticas, no ano de 2010, por meio da Lei n°12.305/2010 (Brasil, 2010), foi instituída no país a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), considerada um notável avanço nas discussões em relação aos resíduos sólidos urbanos (Durso *et al.*, 2017).

Apesar dos avanços ocorridos na legislação não é raro que cidades brasileiras possuam lixões ou aterros controlados como únicos locais de descarte de seus RSU, os quais, usualmente, geram um problema comum: alto teor de metais pesados na vegetação e no solo nas suas adjacências.

É importante destacar que com a criação da PNRS houve maior transparência no gerenciamento, na gestão e no descarte correto dos RSU em aterros, que, em linhas gerais, são áreas de depósito, geralmente constituídas por resíduos não recicláveis que são oriundos de diversos setores (indústrias, residências etc.). Num aterro controlado, o solo recebe uma cobertura não impermeabilizada, ou seja, os rejeitos lá depositados podem ainda acabar contaminando o solo, lençóis freáticos e emitem gases de efeito estufa. Já os aterros sanitários possuem seu funcionamento e normatização instituídos pela PNRS, seguindo critérios estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que orientam sobre a infraestrutura, logística, processamento dos materiais e segurança, tais como a necessidade de impermeabilização do solo, lagoas para tratamento do chorume, queima de gases liberados e monitoramento de recursos hídricos próximos.

Apesar dos avanços ocorridos na legislação não é raro que cidades brasileiras possuam lixões ou aterros controlados como únicos locais de descarte de seus RSU, os quais, usualmente, geram um problema comum: alto teor de metais pesados na vegetação e no solo nas suas adjacências. O amplo

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

leque de metais pesados que está presente em diversos tipos de resíduos dispostos em aterros (latas, tintas, pilhas etc.) inclui chumbo, mercúrio, cromo, arsênio, níquel, cobre, zinco e cádmio, sendo possível que ocorra a migração de tais metais, quando em elevada concentração, via processo de lixiviação, para locais próximos às áreas de deposição de resíduos sólidos. Assim, diante das novas legislações, atitudes ecológicas cidadãs são fulcrais para auxiliar na resolução do problema, como, por exemplo, facilitar o processo de reciclagem, evitar o uso de produtos potencialmente perigosos etc. (Fadini e Fadini, 2001).

A dispersão dos metais pesados no meio ambiente é preocupante devido à grande possibilidade de acúmulo no solo, com posterior introdução na cadeia trófica (Burak *et al.*, 2008). A partir disso, pesquisadores direcionam seus esforços de investigação para o estabelecimento de técnicas que permitam identificar, quantificar, monitorar e remediar a sua presença nas mais diversas matrizes (solo, sedimentos, água, medicamentos etc.) (Fadigas *et al.*, 2006; Oliz *et al.*, 2013; Magna *et al.*, 2013).

Não menos importante que o estudo sobre formas de remediar a referida situação, dentre outras vinculadas a questões dessa mesma ordem, é a elaboração de estratégias de ensino que ampliem os níveis de aprendizagem de estudantes sobre conhecimento ambiental, aqui entendido como pertencente a três grupos: *conhecimento do sistema*, vinculado ao que se sabe sobre as características (químicas, físicas etc.) dos problemas ambientais; *conhecimento relacionado à ação*, que diz respeito a possíveis ações e seus desdobramentos frente aos problemas ambientais; *conhecimento de eficácia*, que se relaciona a ferramentas e recursos para mitigar impactos ambientais (Frick *et al.*, 2004). A elaboração de tais estratégias está alinhada com a temática dos impactos dos metais pesados no meio ambiente, a qual, segundo Lima e Merçon (2011), pode se apresentar como elemento para contextualizar o ensino de química.

Os ODS se configuram como um conjunto de metas para a preservação e estabilidade do clima e dos ecossistemas, bem como para promoção da prosperidade e do bem-estar físico-social de todas as pessoas.

Ainda sobre as categorias do conhecimento ambiental, o *conhecimento do sistema* por si só não consegue viabilizar mudanças de comportamento, mas contribui diretamente para a promoção dos *conhecimentos relacionados à ação* e *de eficácia* (Frick *et al.*, 2004). Além disso, como os indivíduos precisam conhecer suas opções de comportamento ecológico para conhecer suas diferentes eficácias, o *conhecimento relacionado à ação* precede o *conhecimento de eficácia* (Roczen *et al.*, 2014). E assim, a convergência dos três conhecimentos em ambientes de ensino se torna a chave para o desenvolvimento de padrões de comportamentos ecologicamente corretos.

No entanto, é comum identificar dificuldades de ordem institucional e prática na inserção de dimensões ambientais em cursos do ensino superior, como aquelas relatados por Tauccaya *et al.* (2020) e Zuin (2013). E, em uma perspectiva mais ampla do que a sugerida por estes últimos autores, já no início da década de 2006, Lozano (2006) reforçava a necessidade da incorporação, não somente da dimensão ambiental, como também do desenvolvimento sustentável no dia a dia das universidades.

Em 2015, o estabelecimento pela Organização das Nações Unidas (ONU) dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) tornou esta necessidade ainda mais premente. Os ODS se configuram como um conjunto de metas para a preservação e estabilidade do clima e dos ecossistemas, bem como para promoção da prosperidade e do bem-estar físico-social de todas as pessoas.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo relatar a aplicação de uma sequência didática (SD), baseada em um estudo de caso de caráter interrompido (Herreid, 2005), além de analisar produções textuais dos estudantes, tendo em vista a compreensão do conhecimento ambiental com o qual tiveram que lidar, na empreitada de resolução do caso, e de como tal conhecimento está associado às metas estabelecidas nos ODS. As percepções dos estudantes frente à SD são também alvo de atenção.

Cabe destacar que a SD atenta para o desenvolvimento de habilidades previstas nas Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química (Brasil, 2001, p.4-5), que recomendam que os graduados possuam "conhecimento da utilização de processos de manuseio e descarte de materiais e de rejeitos, tendo em vista a preservação da qualidade do ambiente" e tenha uma "formação humanística que lhe permita exercer plenamente sua cidadania e, enquanto profissional, respeitar o direito à vida e ao bem-estar dos cidadãos", além de trazer à tona o papel significativo, e ao mesmo tempo controverso, que a química desempenha no cumprimento dos ODS (Petillion *et al.*, 2019).

O papel significativo diz respeito às buscas por transformações químicas sustentáveis associadas à conversão da matéria-prima e das fontes de energia em alimentos, combustíveis, medicamentos etc., necessárias para a promoção do bem-estar de cada pessoa. Já o papel controverso se refere ao fato de as atividades químicas humanas serem um impulsionador de muitos dos problemas que a ONU e os ODS abordam (Petillion *et al.*, 2019).

Sequência Didática Baseada no Caso Interrompido *Canavial de Lixões*

Estudo de Caso Interrompido

Os estudos de caso têm sido reportados na literatura como uma metodologia de ensino que favorece a promoção de diferentes habilidades, tais como, argumentação, pensamento crítico e sensibilidade moral (Souza e Queiroz, 2018; Silva e Queiroz, 2021). Sá *et al.* (2007) definem a metodologia como o uso de narrativas sobre indivíduos enfrentando dilemas,

de modo que o estudante é incentivado a se familiarizar com personagens, circunstâncias e outras características do caso, para compreender o problema em seu contexto e solucioná-lo.

Uma das vertentes e preceitos associados ao uso de estudos de caso que envolvem questões sociocientíficas consiste na viabilidade das relações teórico-práticas da ciência, o que pode favorecer uma gama de possibilidades de modos de trabalho, ferramentas e perspectivas. Em vista disso, durante a solução dos problemas, os estudantes tendem a tomar decisões mais assertivas e desenvolverem senso de criticidade diante dos fenômenos que lhes são apresentados (Freitas e Campos, 2016).

Existem diversas variações de estudos de caso, e uma delas, ainda pouco conhecida no contexto nacional, é a de casos interrompidos, que se caracterizam pelo fornecimento de informações aos estudantes de uma maneira gradativa. Segundo Herreid (2005), nesta variação a narrativa pode ser também construída com base no conteúdo existente em artigo original de pesquisa de uma área do conhecimento, de maneira que o caso interrompido retrate um problema que foi realmente enfrentado por pesquisadores.

O caso interrompido que baseou a SD aqui relatada denomina-se *Canavial de Lixões* e foi produzido com base em dois artigos originais de pesquisa de Segura-Muñoz *et al.* (2004; 2006), que relatam investigações acerca da concentração de metais pesados em solo e em plantação de cana-de-açúcar em área próxima ao aterro sanitário de Ribeirão Preto, no interior de São Paulo. Dentre os principais resultados da análise, citam-se níveis altos de manganês e vanádio no solo e de cromo, cobre e manganês nas raízes da cana-de-açúcar, o que sugere influência do aterro nas concentrações encontradas.

Com tal investigação em mente, o caso *Canavial de Lixões* aborda a temática do gerenciamento de RSU e seus impactos na agricultura, sendo investigada pelos alunos a concentração de metais pesados em solo e plantação de cana-de-açúcar próximos a um aterro, apresentado como controlado na narrativa do caso, diferentemente do observado nos artigos que a basearam. Escolheu-se esta temática pois a resolução do caso nela pautada requer conhecimentos compatíveis com os já adquiridos pelos estudantes juntos aos quais este foi aplicado, matriculados no terceiro semestre de um curso de bacharelado em química. Ressalta-se que a elaboração da narrativa e das atividades levou ainda em consideração aspectos ressaltados por Herreid *et al.* (2016), para a produção de um bom caso, e por Herreid (2005), para a aplicação de um caso interrompido.

O caso, dividido em quatro partes (daí origina-se a sua classificação como sendo "interrompido"), conta a história de Jefferson, um pós-graduando em química, e do seu avô Charles, produtor de cana-de-açúcar na região de Ribeirão Preto. Em uma conversa, Charles relata para o neto que sua plantação está sofrendo com uma doença denominada clorose, acreditando que este problema possa estar relacionado com um aterro controlado que existe nas proximidades e com metais pesados presentes no chorume que é produzido no local. Jefferson se oferece para investigar o problema, viajando até a região do canavial para realizar a coleta e posterior análise de metais pesados em amostras de solo e cana-de-açúcar.

Aplicação do Caso Interrompido

O caso interrompido foi aplicado junto a três grupos de quatro alunos cada, enquanto matriculados em uma disciplina de comunicação científica, durante o primeiro semestre de 2020, de maneira remota, devido às restrições físicas impostas pela pandemia de COVID-19. Neste cenário, foram empregados dois ambientes virtuais para a realização das atividades. O primeiro deles é o *Google Meet*, para realização de encontros semanais com os estudantes e discussão das atividades do caso. O segundo ambiente é o *Tidia-Ae*, utilizado para envio de avisos, repositório de materiais fornecidos pelo professor e escaninho para depósito de tarefas solicitadas.

Para a discussão do caso, cada grupo foi atendido individualmente pelo professor em uma sala no *Google Meet*, num tempo médio de 30 a 40 min, de modo que o atendimento aos três grupos não ultrapassasse o intervalo das duas horas de aula. Após a discussão com o professor, cada grupo seguia para uma segunda sala no *Google Meet*, na qual realizava atividades atribuídas por ele, também relacionadas ao caso.

Para a discussão do caso, cada grupo foi atendido individualmente pelo professor em uma sala no *Google Meet*, num tempo médio de 30 a 40 min, de modo que o atendimento aos três grupos não ultrapassasse o intervalo das duas horas de aula. Após a discussão com o professor, cada grupo seguia para uma segunda sala no *Google Meet*, na qual realizava atividades atribuídas por ele, também relacionadas ao caso. No total, foram realizados quatro encontros e, ao final de cada, os grupos deveriam depositar no escaninho do *Tidia-Ae* respostas escritas para as questões discutidas durante o período de compartilhamento da sala do *Google Meet* com o professor.

A realização dos quatro encontros mencionados está associada às quatro partes do caso, cada uma composta por duas seções distintas: a narrativa, por meio da qual são apresentados os personagens, o contexto local e informações a seu respeito; e as perguntas, que subsidiaram as atividades de pesquisa e busca por soluções ao problema, a serem realizadas em horário de sala de aula ou extraclasse. A Figura 1 resume as atividades realizadas para discussão de cada parte do caso.

De acordo com a Figura 1, em momento extraclasse anterior à apresentação da narrativa e como preparação para as atividades da Parte I, o docente atribuiu uma tarefa que requisitava dos estudantes a busca pela definição dos conceitos de clorose e dos tipos de aterros existentes. Com

Figura 1: Síntese da aplicação do caso interrompido *Canavial de Lixões*: etapas destacadas em cinza foram realizadas em horário extraclasse; etapas destacadas em azul foram realizadas em aulas síncronas, em salas do *Google Meet*. Fonte: autoria própria.

esses conhecimentos em mente, no *Google Meet*, a partir da leitura conjunta da narrativa da Parte I, os grupos foram apresentados à situação com a qual iriam trabalhar, que envolvia o dilema vivenciado pelo avô de Jefferson. Em seguida, o professor mediou discussões com os estudantes acerca das definições dos conceitos pesquisados anteriormente, bem como da construção de hipóteses acerca da causa do problema na cana-de-açúcar existente na propriedade de Charles e o delineamento de uma questão para guiar a investigação.

Na Parte II, novamente em horário extraclasse, como preparação para a discussão em sala de aula, os estudantes realizaram buscas para obter compreensão acerca das características físico-químicas do solo, das formas químicas dos metais no solo e de critérios para demarcação de pontos de amostragem. Os grupos foram ainda solicitados a pesquisar duas técnicas analíticas instrumentais para análise de metais em amostras de solo e de cana-de-açúcar e argumentar a favor da escolha de uma delas.

No encontro no *Google Meet*, foi feita uma leitura conjunta da narrativa da Parte II, que apresentava um mapa, a partir do qual Jefferson obtém detalhes sobre a região de estudo e decide pensar sobre como realizará a coleta de amostras de solo e cana-de-açúcar. O mapa em questão corresponde a uma versão sem a indicação de pontos de amostragem escolhidos por Segura-Muñoz *et al.* (2004). Concluída a leitura, o professor discutiu conceitos e as técnicas analíticas instrumentais selecionadas pelos grupos. Posteriormente, os estudantes realizaram a escolha e demarcação de pontos de coleta de amostras de solo e de cana-de-açúcar, tomando como base o mapa.

Concluída a leitura, o professor discutiu conceitos e as técnicas analíticas instrumentais selecionadas pelos grupos. Posteriormente, os estudantes realizaram a escolha e demarcação de pontos de coleta de amostras de solo e de cana-de-açúcar, tomando como base o mapa.

Para tanto, junto com o *link* de acesso à sessão no *Google Meet*, cada grupo recebeu o arquivo de imagem do mapa sem os pontos e um membro de cada grupo foi convidado a fazer o download do arquivo, abri-lo em um editor de imagem, realizar projeção da edição no *Google Meet*, e junto aos demais integrantes, discutir posições e regiões nas quais os pontos de amostragem deveriam ser localizados. Ao chegarem a um consenso a respeito de determinado ponto, o aluno que estava projetando o mapa colocava uma marcação sobre a posição escolhida. O arquivo de imagem final deveria ser salvo e depositado no *Tidia-Ae*, junto às respostas das demais questões.

Dando continuidade, em horário anterior às atividades de sala de aula, como preparação para a Parte III, os grupos foram requisitados a escolher uma forma de preparo das amostras de solo para a análise de metais, de acordo com a técnica apontada na Parte II. Os grupos foram ainda solicitados a buscar valores de referência para a concentração máxima recomendável de As, Be, Cd, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb, Sn,

Tl e V em solos cultiváveis. Em seguida, no *Google Meet*, foi realizada uma leitura conjunta da narrativa da Parte III, a qual apresenta a maneira como Jefferson decidiu realizar a coleta e análise experimental das amostras de solo e os resultados obtidos a partir desses experimentos na forma de tabelas, de acordo com o mapa e as informações que estavam presentes nos artigos originais de pesquisa que deram origem ao caso. Após a leitura, o professor discutiu o método de preparo de amostras de solo sugerido pelos estudantes e verificou os valores de referência encontrados por eles.

Como atividade de sala de aula da Parte III, os grupos foram solicitados a comparar os pontos de amostragem e técnicas de tratamento e análise de amostras de solo escolhidas por eles com aquelas escolhidas por Jefferson, avaliando a necessidade de alteração das decisões que haviam tomado. Para encaminhamento das atividades da Parte IV, os estudantes precisaram, em horário extraclasse, elaborar considerações a respeito dos dados apresentados na Parte III em relação à avaliação da situação do solo do canavial do avô de Jefferson, ponderando ainda acerca das hipóteses levantadas no início da atividade. Os estudantes foram convidados também a elaborar tendências e previsões para os resultados da análise dos metais em amostras da cana-de-açúcar.

Como atividade de sala de aula da Parte III, os grupos foram solicitados a comparar os pontos de amostragem e técnicas de tratamento e análise de amostras de solo escolhidas por eles com aquelas escolhidas por Jefferson, avaliando a necessidade de alteração das decisões que haviam tomado.

O último encontro no *Google Meet* de aplicação do estudo de caso, referente à Parte IV, foi divido em dois momentos. No primeiro, o professor discutiu com os grupos as respostas dadas por eles para as atividades realizadas em horário extraclasse. No segundo momento, a narrativa foi lida em conjunto, na qual constam dados complementares acerca da concentração de alguns metais no solo do canavial ao longo dos anos, o procedimento experimental adotado para análise das amostras de cana-de-açúcar e os resultados obtidos a partir dele. A narrativa apresenta ainda dados acerca da transferência de metais do solo para as espécies vegetais. Diante deste novo conjunto de dados, os grupos necessitavam elaborar conclusões na forma de uma resposta final para a questão e avaliação das hipóteses levantadas na Parte I. Tais conclusões, bem como o processo de resolução do caso por cada grupo, foram posteriormente socializadas e discutidas com toda a turma por meio de exposições orais.

Procedimentos de Coleta e Análise de Dados

Finalizada a aplicação da SD, cada estudante foi requisitado a, individualmente, preencher um quadro-síntese dividido em duas partes. Na primeira, deveriam ser apresentados os seguintes tópicos relacionados ao caso *Canavial de Lixões*: situação problema presente no caso; questão de investigação formulada para nortear a resolução do caso; hipóteses levantadas para resolução do caso; planejamento de investigação para resolução do caso; conhecimentos prévios utilizados para formulação de hipóteses e elaboração do planejamento da investigação; evidências usadas para resolução do caso; argumentação que sustenta a resolução do caso; conclusão quanto ao problema presente no caso. Na segunda parte, os estudantes, em processo de autoavaliação, necessitavam colocar suas percepções frente às atividades da SD, apresentando ainda sugestões para aprimoramento na aplicação da mesma.

Todos os 12 estudantes que participaram da resolução do caso preencheram seus respectivos quadros-síntese. Os trechos presentes na seção de argumentação e conclusão foram analisados na perspectiva da Análise Textual Discursiva (ATD), segundo Moraes e Galiazzi, (2011), tendo em vista a identificação do conhecimento ambiental resgatado pelos estudantes no processo. A ATD consistiu, na etapa inicial, em desmontar os referidos trechos, seguida por sua unitarização, destacando seus principais elementos. A segunda etapa consistiu no estabelecimento de categorias que foram relacionadas, quando possível, às metas dos ODS.

Os trechos presentes na seção de autoavaliação foram investigados a partir da identificação das percepções dos estudantes sobre o desenvolvimento de habilidades durante o processo educativo, também com base na ATD (Moraes e Galiazzi, 2011).

Resultados e Discussão

Conhecimento Ambiental dos Estudantes

Inicialmente, em relação às soluções apresentadas ao caso, todos os grupos sugeriram contaminação do solo da região e da cana-de-açúcar por manganês e um deles também mencionou contaminação do solo por estanho e vanádio. Foram realizadas ainda comparações entre os dados apresentados nas Partes III e IV do caso (Figura 1) com legislações específicas para a concentração de metais em solos cultiváveis e vegetais, e discutidos tais resultados em termos dos efeitos das elevadas concentrações no solo e na plantação, do impacto do aterro controlado e do chorume, e de possibilidades para contorno do problema. Tais informações se encontravam alinhadas com aquelas discutidas nos artigos que originaram o caso, o que aponta para o entendimento acerca do problema e dos conteúdos envolvidos na resolução do caso.

A análise dos trechos apresentados pelos estudantes nas seções de argumentação e conclusão dos seus respectivos quadros-síntese possibilitou a identificação do conhecimento ambiental colocado em jogo na resolução do caso, sendo a frequência de menções a cada uma das cinco categorias identificadas ilustrada na Figura 2. Ressalta-se que mesmo que fosse verificada mais de uma menção a uma mesma categoria, em um único quadro-síntese, esta foi contabilizada apenas uma vez.

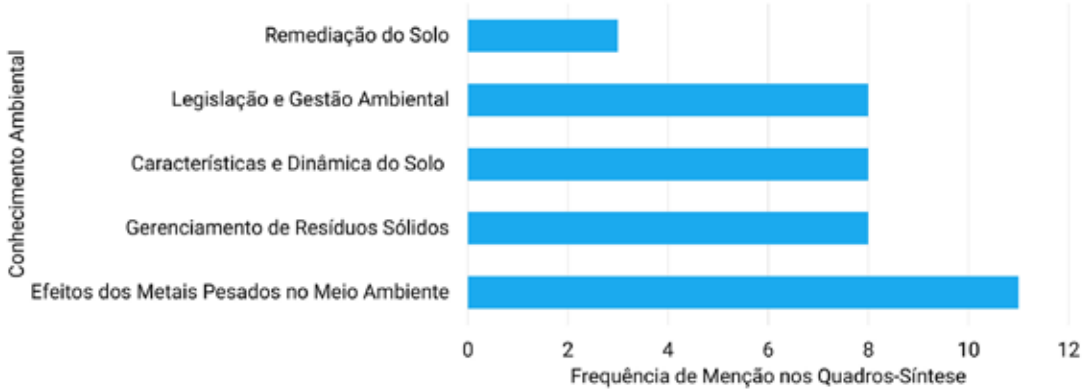


Figura 2: Frequência de menções ao conhecimento ambiental nos quadros-síntese sobre o caso *Canavial de Lixões*. Fonte: autoria própria.

Conforme ilustra a Figura 2, observa-se que o *conhecimento ambiental dos efeitos dos metais pesados no meio ambiente* esteve presente quase que na totalidade dos quadros-síntese. Com efeito, apenas um, dentre os 12 analisados, não o contempla. *Efeitos dos metais pesados no meio ambiente* representa um *conhecimento do sistema* (Frick *et al.*, 2004) e foi identificado em trechos dos quadros-síntese que mencionavam concentrações elevadas de metais pesados, especialmente o manganês, no solo e na cana-de-açúcar, na propriedade rural do avô de Jefferson. Com base nesta observação, os estudantes atribuíram a ocorrência da clorose na plantação como um efeito da contaminação do solo e do canavial pelo referido metal advindo do aterro controlado. De maneira mais específica os estudantes citaram que o excesso de manganês pode causar alterações no pH do solo e dificuldades de absorção de demais nutrientes pela planta, o que pode levar à redução do desenvolvimento das suas partes e ao aparecimento de doenças como a clorose. Estes salientaram ainda a possibilidade de bioacumulação do manganês na cana-de-açúcar, a existência de efeitos a longo prazo e na saúde humana pelo consumo de vegetais com excesso do metal.

O conhecimento ambiental destacado está associado às metas 11.6 e 12.4, estabelecidas, respectivamente, nos ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis), sendo, portanto, coincidentes com as metas associadas ao conhecimento ambiental efeitos dos metais pesados no meio ambiente, mencionadas anteriormente, notadamente, a necessidade de redução do impacto ambiental negativo das cidades, com atenção especial à gestão de resíduos municipais, assim como à de geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.

O conhecimento ambiental em questão também ganhou destaque na autoavaliação dos estudantes, com menções à aquisição de informações acerca de fontes de contaminação por metais, como quando citado por um deles: "durante todo o processo de realização do estudo de caso, adquiri conhecimentos sobre vários assuntos, tais como [...] causas de contaminação de lençóis freáticos e de solos por metais que são liberados no meio".

O *conhecimento ambiental dos efeitos dos metais pesados no meio ambiente* está associado às metas estabelecidas nos ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), 12 (Consumo e Produção Responsáveis), 3 (Saúde e Bem-Estar) e 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável). Estes ressaltam a necessidade de reduzir o impacto ambiental negativo das cidades, prestando especial atenção à gestão de resíduos municipais (meta 11.6); alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes e reduzir significativamente a sua liberação para o ar, água e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente (meta 12.4); reduzir substancialmente o número de doenças por produtos químicos perigosos (meta 3.9); garantir o acesso de todas as pessoas a alimentos seguros (meta 2.1).

O *conhecimento ambiental de gerenciamento de resíduos sólidos* representa um *conhecimento relacionado à ação* (Frick *et al.*, 2004) e foi mencionado em oito dos 12 quadros-síntese, quando o aterro controlado e o chorume nele produzido eram apontados como origem da contaminação do solo e do canavial do seu Charles, sugerindo má gestão do local, como evidenciado no seguinte trecho: "através de uma provável falha na gestão do aterro, bem como a falta de vistorias no local, a decomposição dos resíduos orgânicos produziu chorume e esse penetrou no solo, atingindo o canavial".

O conhecimento ambiental destacado está associado às metas 11.6 e 12.4, estabelecidas, respectivamente, nos ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis), sendo, portanto, coincidentes com as metas associadas ao conhecimento ambiental efeitos dos metais pesados no meio ambiente, mencionadas anteriormente, notadamente, a necessidade de redução do impacto ambiental negativo das cidades, com atenção especial à gestão de resíduos municipais, assim como à de geração de

resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso.

O *conhecimento ambiental de legislação e gestão ambiental* representa mais um *conhecimento relacionado à ação* (Frick *et al.*, 2004) e se destacou em oito dos 12 quadros-sínteses analisados, tornando-se especialmente evidente quando os estudantes se remetem à utilização da legislação para argumentar sobre a situação do solo e da cana-de-açúcar. O conhecimento também recebeu atenção durante a autoavaliação dos estudantes, sendo citado que "durante o trabalho pude aprimorar diversos aspectos, como [...] pesquisa de normas e legislações [...] pude compreender melhor [...] plataformas onde é possível encontrar normas e legislações ambientais".

O conhecimento ambiental em foco está associado às metas estabelecidas nos ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e 16 (Paz, Justiça e Instituições Eficazes), que apontam para a necessidade do alcance de gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais (meta 12.2), o manejo ambientalmente saudável dos produtos químicos e todos os resíduos de acordo com os marcos internacionais acordados (meta 12.4) e a promoção e o cumprimento de leis para o desenvolvimento sustentável (meta 16.b).

O *conhecimento ambiental de características e dinâmica do solo* recebeu menção em oito dos 12 quadros-síntese analisados. Este representa um *conhecimento do sistema* (Frick *et al.*, 2004), elucidado quando os estudantes citavam a importância da qualidade do solo para a disponibilidade adequada de micronutrientes para a planta, a qual pode ser afetada por diversas características, como esclarecido por um deles no seguinte trecho: "a disponibilidade dos micronutrientes para as plantas é influenciada pelas características do solo, como à textura e mineralogia, teor de matéria orgânica, umidade, pH, condições de oxirredução e interação entre nutrientes, que podem ter sido alteradas com a presença do aterro próximo ao canavial".

Uma segunda perspectiva na qual o *conhecimento ambiental de características e dinâmica do solo* se destacava nos quadros-síntese se refere à discussão da dinâmica de absorção e transferências dos metais do solo para a cana-de-açúcar. Tal pode ser expressa em termos do cálculo do fator de transferência, que é definido como uma aproximação empírica que permite avaliar a transferência dos metais do solo para as diferentes partes de uma espécie vegetal (Magna *et al.*, 2013). O fator de transferência foi introduzido na Parte IV do estudo de caso e auxiliou na verificação da contaminação das plantas pelo manganês, como expressa o estudante: "com o cálculo do fator de transferência, percebeu-se o alto valor da concentração do manganês, tanto para solo-raiz, quanto para solo-caule, sendo o responsável pela clorose desenvolvida pela planta".

O conhecimento ambiental em questão está associado às metas estabelecidas nos ODS 15 (Vida Terrestre) e 12 (Consumo e Produção Responsáveis) em relação ao que estabelecem as seguintes metas: assegurar a conservação, recuperação e uso sustentável de ecossistemas terrestres (meta 15.1); lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo (meta 15.3); e reduzir significativamente a liberação de produtos químicos e resíduos para o solo, visando minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente (meta 12.4).

O *conhecimento ambiental de remediação do solo* foi menos recorrente que os demais, presente apenas em três quadros-síntese. Este representa um *conhecimento de eficácia* (Frick *et al.*, 2004), sendo sugerida a fitorremediação como técnica de utilização de plantas resistentes a alta concentração de metais pesados e com alto fator de transferência, para auxiliar na correção do teor de manganês e vanádio no solo do canavial. As espécies propostas pelos estudantes foram o sabiazeiro (*Mimosa caesalpiniaefolia Benth.*) e a crotalária (*Crotalaria juncea*), sendo ressaltada ainda a eficiência, o baixo custo e a aceitabilidade ecológica da fitorremediação.

O *conhecimento ambiental de remediação do solo* foi menos recorrente que os demais, presente apenas em três quadros-síntese. Este representa um *conhecimento de eficácia* (Frick *et al.*, 2004), sendo sugerida a fitorremediação como técnica de utilização de plantas resistentes a alta concentração de metais pesados e com alto fator de transferência, para auxiliar na correção do teor de manganês e vanádio no solo do canavial.

Com isso, o conhecimento ambiental destacado se associa às metas estabelecidas nos ODS 15 (Vida Terrestre) e 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), no que diz respeito ao combate da desertificação, à restauração da terra e do solo degradado (meta 15.3) e a garantia de sistemas sustentáveis de produção de alimentos que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo (meta 2.4).

A Figura 3 sumariza as associações identificadas entre o conhecimento ambiental com o qual os estudantes lidaram para a resolução do caso *Canavial de Lixões* e determinados ODS.

Conforme ilustra a Figura 3, os ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) foram os mais contemplados, seguido dos ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS 15 (Vida Terrestre) e ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável). Os ODS 3 (Saúde e Bem-Estar) e ODS 16 (Paz, Justiça e Instituições Eficazes), embora com menor recorrência, também foram contemplados.

Nessa perspectiva, a resolução do caso *Canavial de Lixões* propiciou a aproximação dos graduandos em química com conhecimento ambiental relevante que permeia vários ODS, o que pode favorecer a incorporação não somente da dimensão ambiental, como também do desenvolvimento sustentável no dia a dia das universidades, conforme sugerido por Tauccaya *et al.* (2020), Zuin (2013) e Lozano (2006). Além disso, os conhecimentos em destaque nas Figuras 2 e 3 convergem os conhecimentos propostos por Frick *et al.* (2004), *do sistema* (efeitos dos metais pesados

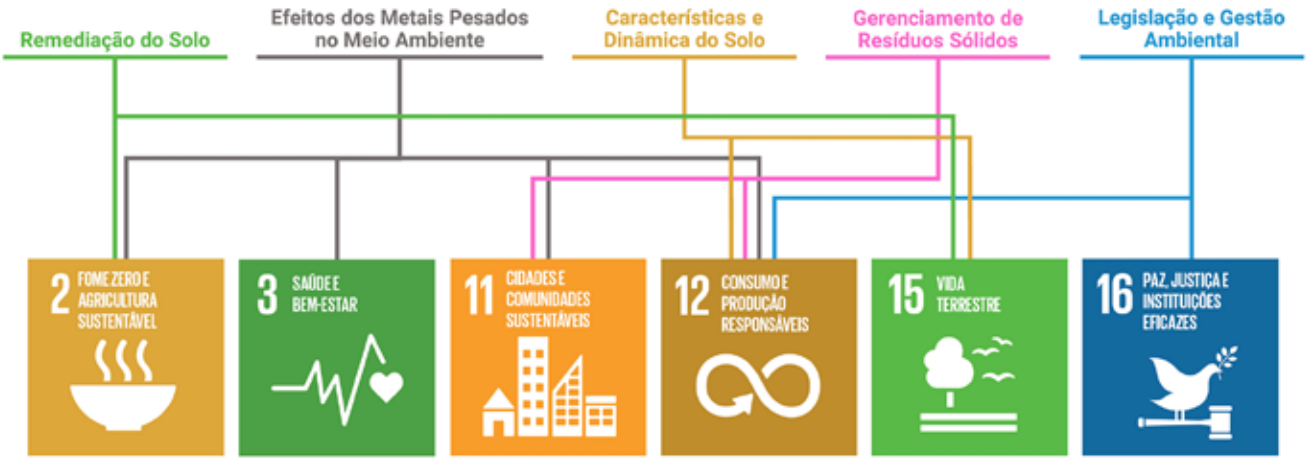


Figura 3: Conhecimento ambiental abordado no caso *Canavial de Lixões* e ODS relacionados. Fonte: autoria própria.

no meio-ambiente e características e dinâmica do solo), *relacionado à ação* (legislação e gestão ambiental e gerenciamento de resíduos sólidos) e *de eficácia* (remediação do solo), o que aponta para uma proposta de ensino capaz de promover mudanças de comportamento e desenvolver a consciência ecológica.

Percepções dos Estudantes Frente à Aplicação do Caso Interrompido

A análise dos trechos apresentados pelos estudantes na seção de autoavaliação dos quadros-síntese possibilitou a identificação de categorias que refletem as suas percepções quanto às habilidades desenvolvidas durante o processo de resolução do caso. A Tabela 1 ilustra as categorias e a frequência de menções a cada uma delas, bem como exemplos correspondentes. Cabe destacar que, mesmo que fosse verificada mais de uma menção a uma mesma categoria, em um único quadro-síntese, esta foi contabilizada apenas uma vez.

No que tange à *habilidade de trabalho em grupo*, ao preencherem o quadro-síntese, 12 estudantes fizeram menção a ela. A primazia dada a este formato de trabalho durante a resolução do caso, provavelmente, tornou unânime o entendimento sobre o desenvolvimento de tal habilidade. Tal formato permite maior interação entre os estudantes, possibilitando a troca de

Tabela 1. Recorrência de menções e exemplos de trechos retirados dos quadros-síntese que exemplificam as percepções dos estudantes com relação às habilidades desenvolvidas.

Habilidade	Menções	Exemplos
Trabalho em Grupo	12	"Durante o trabalho pude aprimorar diversos aspectos, como [...] trabalho em equipe"
		"Como grande parte foi feita em grupo, parte desse mérito foi a ótima equipe com a qual trabalhei, que soube dividir os trabalhos, entregando algo com qualidade sem que houvesse alguém sobrecarregado"
		"Com isso, aprendi [...] e que o trabalho em grupo é muito importante pois são diferentes experiências de vida e perspectivas da mesma situação"
Resolução de Problemas	7	"Ao longo do percurso do estudo de caso, meu desempenho se deu por [...] e pesquisar sobre conteúdos a parte para desenvolvermos uma solução para o problema"
		"A experiência de solucionar um problema de um caso hipotético foi interessante, pois precisei ir atrás de dados e refletir em situações como uma química"
		"[...] consegui acompanhar e fazer um raciocínio de como prosseguir diante dos resultados para solucionar o problema da plantação do Sr. Charles"
Pensamento Crítico	5	"[...] pude aprimorar diversos aspectos, como senso crítico"
		"Acredito que a resolução do caso agregou bastante, principalmente por termos que primeiro refletir sobre a situação geral"
		"Foi de grande proveito a situação e fomentou o pensamento crítico nesse tipo de cenário"
Busca de Informações	8	"Para realizar essa atividade foi necessário fazer pesquisas referentes ao assunto para que eu pudesse compreender todas as vertentes do problema"
		"A experiência de solucionar um problema de um caso hipotético foi interessante, pois precisei ir atrás de dados"
		"Com isso, aprendi que não devemos nos contentar apenas com as informações que nós temos, temos que ir atrás"

informações e ideias, facilitando a assimilação de conceitos e resolução de problemas (Faria e Freitas-Reis, 2016). A sua implementação em ambientes de ensino é corroborada também na perspectiva da formação de valores e comportamentos dos envolvidos. No tocante a isso, Moraes *et al.* (2006) evidenciam que os estudantes, durante o trabalho em grupo, (com) partilham de qualidades mais humanitárias, como o respeito ao próximo, empatia e solidariedade.

A *habilidade de resolução de problemas*, conforme ilustra a Tabela 1, foi destacada por sete estudantes, dentre os 12 que preencheram os quadros-síntese. Este resultado sugere a efetividade da aplicação do caso na promoção da referida habilidade, o que não é surpreendente, já que o objetivo de tal aplicação, por princípio, é a de alcance da solução de um problema embutido na narrativa do caso (Sá *et al.*, 2007). Porém, muito mais do que apresentar um problema, em virtude do seu caráter interrompido, as atividades e questões propostas em cada etapa da aplicação do caso *Canavial de Lixões*, efetivamente, apresentam aos estudantes dados e encaminhamentos sobre como podem prosseguir ao se depararem com a necessidade de auxiliar os personagens do caso.

O *desenvolvimento do pensamento crítico*, conforme ilustra a Tabela 1, foi mencionado por cinco estudantes, dentre os 12 que preencheram os quadros-síntese. O pensamento crítico se caracteriza por uma atividade reflexiva (Pires *et al.*, 2018) e corresponde a um elemento fundamental na formação de cidadãos alfabetizados cientificamente, de modo que possam ser atuantes na sociedade onde vivem, o que inclui tomadas de decisão e expressão de juízos de valor (Marani *et al.*, 2019). Provavelmente, o desenvolvimento do pensamento crítico mencionado pelos estudantes está relacionado à temática do estudo de caso *Canavial de Lixões*, com a qual foram confrontados, que envolveu o reconhecimento dos impactos ambientais desencadeados por metais pesados e pelo gerenciamento inapropriado de RSU.

A partir disso, evidencia-se a importância da seleção adequada da temática a ser abordada nos casos interrompidos, preferencialmente pautada em situações concretas e que valorizem a vivência dos estudantes. Estas duas perspectivas foram alcançadas no contexto do presente trabalho à medida que a narrativa do caso interrompido foi construída com base em artigos originais de pesquisa, de autoria em Segura-Muñoz *et al.* (2004; 2006), que investigam uma situação vinculada ao gerenciamento de RSU na região de Ribeirão Preto, próxima à localização da universidade onde ocorreu a sua aplicação. Ao ser transportada para a trama apresentada na narrativa, a situação reportada nos artigos originais proporcionou que o caso se conectasse fortemente com a realidade e contexto local nos quais os estudantes estavam inseridos, tornando mais propício o desenvolvimento do pensamento crítico e, dadas as características da temática, a responsabilidade ambiental.

A *habilidade na busca de informações*, conforme ilustra a Tabela 1, foi mencionada por oito estudantes, dentre os 12 que preencheram os quadros-síntese. A necessidade constante de desenvolvimento de pesquisa bibliográfica sobre a temática em estudo para o alcance do aprendizado de conteúdos que se mostraram imprescindíveis para a resolução do caso, provavelmente, justifica as impressões dos estudantes no que diz respeito à esta habilidade. Sem dúvida, a efetiva participação dos mesmos na resolução do caso somente se dá a partir da busca e obtenção de conhecimentos, de várias ordens, relacionados ao assunto em questão.

Considerações Finais

O presente trabalho relatou a aplicação de um estudo de caso interrompido sobre a temática gerenciamento de RSU e seus impactos na agricultura. Ao final das atividades, os estudantes preencheram um quadro-síntese com informações a respeito do processo de resolução de caso, o qual foi avaliado buscando-se indícios acerca do conhecimento ambiental colocado em jogo no processo educativo e a associação dos mesmos aos ODS.

Os resultados alcançados demonstraram o potencial da aplicação do caso interrompido para discussão de aspectos que acabaram por propiciar o desenvolvimento de conhecimento ambiental, de naturezas diversas, de graduandos em química, a saber: efeitos dos metais pesados no ambiente; legislação e gestão ambiental; qualidade do solo; gerenciamento de resíduos sólidos; remediação do solo.

É importante destacar que o referido conhecimento ambiental fornece subsídios para que vários ODS possam ser plenamente compreendidos pelos graduandos, facilitando, dessa forma, mudanças de atitudes e práticas por parte dos mesmos, tendo em vista o desenvolvimento sustentável. Nessa perspectiva, a SD aqui relatada constitui-se em abordagem inovadora, voltada ao ensino de química, que traz em seu bojo elementos capazes de favorecer a incorporação da dimensão ambiental em cursos superiores dessa disciplina, seja de licenciatura ou de bacharelado, bem como promover mudanças comportamentais ecológicas.

Para futuras aplicações, sugere-se a apresentação e discussão com os estudantes das relações existentes entre as metas dos ODS e os conhecimentos demonstrados pelos mesmos durante a resolução do caso. Este procedimento não foi realizado nesta pesquisa tendo em vista a natureza da disciplina na qual os dados foram coletados, que destacava a comunicação científica e não as questões ambientais.

Ademais, a análise das percepções dos graduandos frente às atividades desenvolvidas apontou ainda para o entendimento da contribuição da SD no desenvolvimento de habilidades relevantes, tais como: trabalho em grupo, resolução de problemas, pensamento crítico e busca por informações.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo 2018/23809-3) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processo 304974/2020-0).

Mikeas Silva de Lima (qmikeas@gmail.com), doutorando do Programa Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP - BR. **Ícaro Mota Oliveira** (icaro.mio@hotmail.com), doutor em Ciências pela Universidade Federal de Alagoas e pós-doutorando do Instituto de Quimica de São Carlos. Maceió, AL – BR. **Salete Linhares Queiroz** (salete@iqsc.usp.br), doutora em Química pela Universidade Estadual "Júlio de Mesquita Filho" e professora no Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP - BR.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2020.* São Paulo: ABRELPE, 2020. 51 p.

BRASIL. Lei n. 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n.9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providencias. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil,* Poder Executivo, Brasília, 2010.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Parecer CNE/CES 1.303/2001, de 6 de novembro de 2001. Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química. *Diário Oficial da União:* seção 1, Brasília, p. 25, 7 dez. 2001.

BURAK, D. L.; ANDRADE, F. V.; FONTES, M. P. F. e FERNANDES, R. B. A. Metais pesados em solos: aspectos gerais. *In:* POLANCZVK, R. A.; CECÍLIO, R. A.; MATTA, F. P.; SOARES, T. C. B.; PEZZOPANE, J. E. M.; CAMPANHARO, W. A. e OLIVEIRA, M. C. C. (Org.). *Estudos Avançados em Produção Vegetal*. 1 ed. Vitória, 2008, v. 32. p. 493-512.

DURSO, T. F.; LOPES, J. C. de J. e OTTO, H. R. A gestão dos resíduos sólidos urbanos no Brasil: análise da produção científica brasileira, no período de 2006-2016. In: Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 9, 2017, São Paulo. *Anais Eletrônicos.*

FADIGAS, F. S.; SOBRINHO, N.; AMARAL, M. B.; MAZUR, N.; ANJOS, L. H. e FREIXO, A. A. Proposição de valores de referência para a concentração natural de metais pesados em solos brasileiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, p. 699-705, 2006.

FADINI, P. S. e FADINI, A. A. B. Lixo: desafios e compromissos. *Cadernos Temáticos da Química Nova na Escola*, v. 1, n. 1, p. 9-18, 2001.

FARIA, F. L. e FREITAS-REIS, I. A percepção de professores e alunos do ensino médio sobre a atividade estudo de caso. *Ciência & Educação*, v. 22, n. 2, p. 319–333, 2016.

FREITAS, L. P. S. e CAMPOS, A. F. Tendências de abordagem do método de estudo de casos no ensino-aprendizado das ciências: um olhar para o ensino de química. In: Encontro Nacional de Ensino de Química, 13, 2016, Florianópolis. *Anais Eletrônicos*.

FRICK, J.; KAISER, F. G. e WILSON, M. Environmental knowledge and conservation behaviour: Exploring prevalence and structure in a representative sample. *Personality and Individual Differences*, v. 37, p. 1597–1613, 2004.

HERREID, C. F. The interrupted case method. *Journal of College Science Teaching*, v. 35, n. 2, p. 4-5, 2005.

HERREID, C. F.; PRUD'HOMME-GÉNÉREUX A.; SCHILLER, N. A. e HERREID, C. W. What makes a good case, revisited: the survey monkey tells all. *Journal of College Science Teaching*, v. 1, p. 60, 2016.

LIMA, V. F. e MERÇON, F. Metais pesados no ensino de química. *Química Nova na Escola*, v. 33, n. 4, p. 199-205, 2011.

LOZANO, R. Incorporation and institutionalization of SD into universities: breaking through barriers to change. *Journal of Cleaner Production*, v. 14, n. 9–11, p. 787–796, 2006.

MAGNA, G. A. M.; MACHADO, S. L.; PORTELLA, R. B. e CARVALHO, M. F. Chumbo e cádmio detectados em alimentos vegetais e gramíneas no município de Santo Amaro-Bahia. *Química Nova*, v. 36, n. 7, p. 989-997, 2013.

MARANI, P. F.; SANTOS, M. C. G.; BALDAQUIM, M. J.; BEDIN, F. C.; FANTINELLI, M. e SILVEIRA, M. P. Desenvolvimento do pensamento crítico no ensino de ciências: publicações em eventos nacionais. *Scientia Naturalis*, v. 1, n. 2, p. 69-82, 2019.

MORAES, R.; RAMOS, M. G. e GALIAZZI, M. C. A epistemologia do aprender no educar pela pesquisa em ciências: alguns pressupostos teóricos. In: MORAES, R. e MANCUSO, R. (Org.). Educação em ciências: produção de currículos e formação de professores. 2. ed. Ijuí: Unijuí, 2006. p. 85-108.

MORAES, R. e GALIAZZI, M.C. Análise textual discursiva. 2. ed. rev. Ijuí: Ed. Unijuí, 2011.

MORETTO, R. L. *Análise de recalques do resíduo sólido urbano confinado em uma célula experimental e em lisímetros, considerando a biodegradação.* Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018. 402 f.

OLIZ, C. M.; PEREIRA, C. C.; VIEIRA, M. A.; RIBEIRO, A. S. e NUNES, A. M. Avaliação de tratamentos da amostra em microescala para a determinação de K, Mg, Na e Zn em carnes por técnicas de espectrometria atômica. *Química Nova*, v. 36, n. 7, p. 972-977, 2013.

PETILLION, R. J.; FREEMAN, T. K. e MCNEIL, W. S. United nations sustainable development goals as a thematic framework for an introductory chemistry curriculum. *Journal of Chemical Education*, v. 96, n. 12, p. 2845-2851, 2019.

PIRES, E. A. C.; HENNRICH JUNIOR, E. J. e MOREIRA, A. L. O. R. O desenvolvimento do pensamento crítico no ensino de Ciências dos anos iniciais do Ensino Fundamental: uma reflexão a partir das atividades experimentais. *Revista Valore*, v. 3, p. 152–164, 2018.

POLETTO FILHO, J. A. e POLETTO, G. C. Incineração com recuperação energética, uma alternativa para destinação correta do resíduo sólido urbano. *Revista Eletrônica de Graduação do UNIVEM*, v. 10, n. 01, p. 402 – 417, 2017.

ROCZEN, N.; KAISER, F. G.; BOGNER, F. X. e WILSON, M.

A competence model for environmental education. *Environment and Behavior*, v. 46, n. 8, p. 972-992, 2014.

SÁ, L. P.; FRANCISCO, C. A. e QUEIROZ, S. L. Estudos de caso em química. *Química Nova*, v. 30, n. 3, p. 731-739, 2007.

SEGURA-MUÑOZ, S. I.; BOCIO, A.; TREVILATO, T. M. B.; TAKAYANAGUI, A. M. M. e DOMINGO, J. L. Metal concentrations in soil in the vicinity of a municipal solid waste landfill with a deactivated medical waste incineration plant, Ribeirão Preto, Brazil. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 73, n. 3, p. 575, 2004.

SEGURA-MUÑOZ, S. I.; OLIVEIRA, A. S.; NIKAIDO, M.; TREVILATO, T. M. B.; BOCIO, A.; TAKAYANAGUI, A. M. M. e DOMINGO, J. L. Metal levels in sugar cane (*Saccharum spp.*) samples from an area under the influence of a municipal landfill and a medical waste treatment system in Brazil. *Environment International*, v. 32, n. 1, p. 52-57, 2006.

SILVA, G. B. e QUEIROZ, S. L. Episódios históricos para o exercício da sensibilidade moral de licenciandos em química. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, v. Extra, p. 2934-2938, 2021.

SOUZA, N. S. e QUEIROZ, S. L. Quadro analítico para discussões argumentativas em fóruns *on-line*: aplicação no ensino de química. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 23, n. 3, p. 145, 2018.

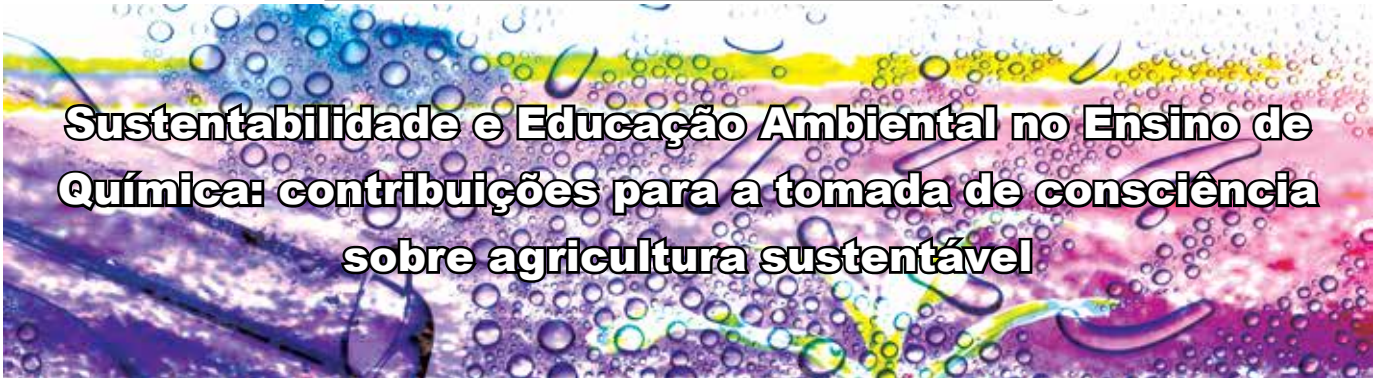
TAUCCAYA, O. J. B.; REYES, D. R. R.; MORE, L. A. V. e MENDOZA, P. C. O. Z. Environmental knowledge level in undergraduate students: University of San Pedro, Peru. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 24, e. 9, 2020.

ZUIN, V. G.. A dimensão ambiental e a Química Verde na formação inicial de professores de Química: reflexões a partir de um estudo de caso. *Revista Brasileira de Ensino de Química*, v. 8, p. 70-82, 2013.

Abstract: *Interrupted Case Study in Promoting Undergraduate Chemistry Students' Environmental Knowledge: Urban Solid Waste in Focus.* This paper aims to report the application of an interrupted case study on the theme of urban solid waste management carried out with undergraduate chemistry students. At the end of the activities, students filled in summary charts, which were analyzed aiming to comprehend the environmental knowledge involved and the extension of its association to targets established in the Sustainable Development Goals. Results indicated the relationship of environmental knowledge acquired by students with several targets, emphasizing those from the Responsible Consumption and Production Goal. Students' perceptions about the activity were also investigated, and the acknowledgment of developing various abilities was identified, such as teamwork, critical thinking and problem solving.
Keywords: interrupted case study method, environmental knowledge, chemistry higher education.

A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160306



Sustentabilidade e Educação Ambiental no Ensino de Química: contribuições para a tomada de consciência sobre agricultura sustentável

Daniel das C. de A. Ribeiro, Tania D. M. Salgado, Carla Sirtori e Camila G. Passos

Este artigo visa analisar o processo de tomada de consciência dos estudantes a respeito dos problemas socioambientais relacionados aos agrotóxicos e das possibilidades da agricultura sustentável, a partir da vivência da metodologia da Resolução de Problemas. A pesquisa foi desenvolvida com 109 estudantes de diferentes níveis de ensino da Educação Básica, de três escolas públicas estaduais de Porto Alegre/RS. Os dados foram produzidos através de registros no Diário de Campo, questionários e de produções escritas dos educandos, para posterior análise qualitativa e interpretativa. Com o conjunto de dados analisados identificamos que no Ensino Fundamental os estudantes passaram a ter maior clareza sobre o conceito de agrotóxicos e possibilidades de plantios alternativos. Aspectos como a classificação dos tipos de agrotóxicos, policultura e agricultura orgânica foram destaque nas resoluções do Ensino Médio. No Técnico em Química verificamos o aprofundamento conceitual e criticidade quanto às relações dos fatores econômicos e políticos imbricados nas questões ambientais.

▶ resolução de problemas, ensino de química, agricultura sustentável ◀

Recebido em 19/10/2021, aceito em 17/03/2022

Pautado na perspectiva da Educação Ambiental (EA) Crítica (Tozoni-Reis, 2007, 2008; Costa *et al.*, 2017) e nos princípios do desenvolvimento da democracia social e participativa (Boff, 2012; Leff, 2015), o presente artigo tem como tema a tomada de consciência dos estudantes sobre os problemas socioambientais relacionados aos agrotóxicos e as possibilidades da agricultura sustentável. Acreditamos que essa temática é de fundamental importância no contexto escolar, para ser trabalhada ao longo da Educação Básica (EB) de forma contextualizada e articulada aos conhecimentos científicos da Química. Uma alternativa para tal propósito pode ser a metodologia da Resolução de Problemas (RP) (Martínez e Martínez Aznar, 2014; Pozo, 2016).

A ampliação do agronegócio tem superado recordes de produtividade a cada safra de grãos, frutas e hortaliças em todo o território nacional, principalmente nos estados onde o setor agrícola pode crescer ainda mais em reservas de terras ainda não exploradas, como no caso da Bahia, Piauí, Tocantins e Maranhão (Belchior *et al.*, 2014).

O fato é que o crescimento da agricultura no formato de monoculturas tem prejudicado a biodiversidade do planeta, a exemplo da redução na disponibilidade e qualidade da água, do comprometimento da qualidade do ar e dos alimentos e dos crescentes problemas fitossanitários resultantes do desequilíbrio ecológico causado pelo uso de agrotóxicos (Belchior *et al.*, 2014; Boff, 2012; Pignati *et al.*, 2017; Santos e Glass, 2018).

O fato é que o crescimento da agricultura no formato de monoculturas tem prejudicado a biodiversidade do planeta, a exemplo da redução na disponibilidade e qualidade da água, do comprometimento da qualidade do ar e dos alimentos e dos crescentes problemas fitossanitários resultantes do desequilíbrio ecológico causado pelo uso de agrotóxicos (Belchior *et al.*, 2014; Boff, 2012; Pignati *et al.*, 2017; Santos e Glass, 2018).

Esses problemas socioambientais poderão se agravar ainda mais se considerarmos alguns números alarmantes sobre agrotóxicos no Brasil, como os que seguem: em torno de 58% dos alimentos estão contaminados por agrotóxicos; 34.147 foi o número de notificações registrado de intoxicação humana por agrotóxicos entre os anos de 2007 a 2014;

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

o aumento do uso de agrotóxicos entre 2000 e 2012 foi de 288%; o faturamento da indústria de agrotóxicos no Brasil em 2014 foi em torno de 12 bilhões de dólares. Esses dados foram publicados no dossiê Associação Brasileira de Saúde Coletiva- ABRASCO (Carneiro *et al*., 2015). Essa obra reúne informações de centenas de livros e trabalhos publicados em revistas nacionais e internacionais, que revelam evidências científicas e correlação direta entre uso de agrotóxicos e problemas ambientais e, consequentemente, os problemas de saúde. Quando nos referimos ao ambiente, abarcamos, ao mesmo tempo, o ser humano como parte integrante do meio ambiente, uma vez que compreendemos que os danos à saúde humana, causados pelos agrotóxicos, são também problemas socioambientais (Boff, 2012; Fernandes e Stuani, 2015).

Desmitificando a ideia de que o uso dos agrotóxicos é um mal indispensável para a humanidade, Carneiro *et al.* (2015) afirmam que, para assegurar o abastecimento de toda a população mundial, não é necessária a produção de alimentos com agrotóxicos. Estudos realizados por pesquisadores da Universidade de Michigan (EUA) demonstraram que os sistemas orgânicos de produção sistematicamente alcançam rendimentos físicos iguais ou superiores aos dos sistemas que utilizam agrotóxicos no setor agrícola (Carneiro *et al*., 2015).

Os efeitos de agrotóxicos sobre organismos não alvos em ecossistemas terrestres é um problema ambiental que agrava ainda mais o crescente uso indiscriminado dessas substâncias químicas (Zowada *et al*., 2020). Os agrotóxicos, além de matarem as pragas nas lavouras, também têm potencial de influenciar a interação predador-presa (Hanlon e Relyea, 2013), causando desequilíbrio ambiental. O fato é que muitas pulverizações, por vezes com dosagens acima das recomendadas, ou desnecessárias, são realizadas em muitas das práticas agrícolas, e o efeito do uso dos agrotóxicos no ecossistema se torna maior, influenciando diretamente na desestruturação da biodiversidade (Ribeiro *et al*., 2018). Logo, não teremos sustentabilidade sem a eliminação ou redução dessas substâncias químicas.

A agricultura sustentável, cada vez mais, ganha espaço na atualidade devido às graves consequências dos agrotóxicos ao meio ambiente e à saúde humana. Segundo Ghini e Bettiol (2000), o conceito de agricultura sustentável envolve "o manejo adequado dos recursos naturais, evitando a degradação do ambiente de forma a permitir a satisfação das necessidades humanas das gerações atuais e futuras (p.62)". Para os autores, esse aspecto modifica as características dos sistemas convencionais de agricultura no que diz respeito à utilização de fontes não renováveis, principalmente de energia, e altera a visão acerca dos níveis adequados do balanço entre a produção de alimentos e os impactos no ambiente. As mudanças envolvem a diminuição da dependência de produtos químicos e outros insumos energéticos e a maior utilização de processos biológicos nos sistemas agrícolas.

Os agrotóxicos, além de matarem as pragas nas lavouras, também têm potencial de influenciar a interação predador-presa (Hanlon e Relyea, 2013), causando desequilíbrio ambiental.

Nesse contexto, existem vários métodos alternativos para que tenhamos uma produção agrícola sustentável e, consequentemente, evitemos a degradação do ambiente devido à utilização e/ou ao uso inadequado dos agrotóxicos (Ribeiro *et al*., 2018). Dessa maneira, o objetivo deste artigo foi analisar o processo de tomada de consciência a respeito dos problemas socioambientais relacionados aos agrotóxicos e das possibilidades da agricultura sustentável, por estudantes de diferentes etapas e modalidades da Educação Básica (EB), a partir da vivência da metodologia da RP no Ensino de Química. Neste sentido, buscamos responder a seguinte questão de pesquisa: Quais as formas de contribuição da metodologia de RP para construção de um saber ambiental no contexto escolar da EB?

Referencial Teórico

Resultante de um modo de produção majoritariamente capitalista em que o mundo se encontra, a degradação ambiental se intensifica continuamente em nossa sociedade (Boff, 2012; Marques, 2018). Dessa maneira, surge a necessidade de uma EA crítica, garantindo propostas e projetos que assegurem rigor teórico e aprofundamento reflexivo sobre seus fundamentos e que realmente possa tornar as pesquisas em EA relevantes para a comunidade (Costa *et al.*, 2017). Essa necessidade de estudos ambientais, que realmente propiciem um pensamento crítico e reflexivo nas pessoas, torna-se ainda mais urgente no espaço escolar.

A preocupação com questões ambientais e de sustentabilidade perpassa pela construção de um saber ambiental que, segundo Leff (2015), está associada à constituição de um novo saber e à incorporação interdisciplinar do conhecimento, com o intuito de explanar o comportamento de sistemas socioambientais complexos. O saber ambiental problematiza o conhecimento fragmentado em disciplinas, assim como a administração setorial do desenvolvimento, com o objetivo de compor uma área de conhecimentos teóricos e práticos dirigida para a rearticulação das relações sociedade-natureza (Leff, 2015).

A EA crítica, transformadora e emancipatória, que defendemos nesta pesquisa, é a EA sendo considerada como um processo político de apropriação crítica e reflexiva de conhecimentos, comportamentos, atitudes e valores, que tem como objetivo a construção de uma sociedade sustentável do ponto de vista social e ambiental (Tozoni-Reis, 2007, 2008). Uma EA crítica e reflexiva que possa favorecer que os alunos desenvolvam uma visão holística da realidade e que possa torná-los atuantes e conscientes perante a sociedade e os problemas ambientais. Assim sendo, acreditamos que a EA crítica nas escolas pode contribuir para a difusão de ideias e informações acerca da proteção do meio ambiente, conservação, assim como para a sustentabilidade.

Boff (2012, p. 107) conceitua sustentabilidade como sendo toda "ação destinada a manter as condições energéticas, físico-químicas que sustentam todos os seres, especialmente a Terra viva, a comunidade de vida e a vida humana", tendo em vista "sua continuidade e ainda atender às necessidades da geração presente e das futuras, de tal forma que o capital natural seja mantido e enriquecido em sua capacidade de regeneração, reprodução e coevolução". Além disso, o autor explica que o termo sustentabilidade é um conceito complexo, holístico e integrativo de várias dimensões, como a ambiental, social, econômica, espiritual, cultural entre outras, que mesmo distintas possuem relações de interdependência.

Convergente com apontamentos de Boff (2012), Leff (2015) explica que o termo sustentabilidade está relacionado diretamente ao pensamento de utilizar algo, sem que com isso seja esgotada sua capacidade de ser consumido por outros seres humanos. O conceito de sustentabilidade ambiental determina a maneira pela qual nós, seres humanos, fazemos uso dos bens e recursos naturais, com o intuito de prover nossas necessidades, sem que com isso exista o esgotamento e haja abastecimento para as futuras gerações. Nesse cenário, a sociedade precisa caminhar em direção à sustentabilidade de forma harmônica com as dimensões sociais e ambientais, trabalhando a prevenção e a preservação dos recursos naturais com atitudes individuais e coletivas visando participação democrática e respeito às autonomias culturais (Leff, 2015; Marques, 2018). Diante dos graves problemas socioambientais que a utilização dos agrotóxicos pode ocasionar ao meio ambiente e, consequentemente, à saúde humana, e da complexidade dessa problemática ambiental perante a sociedade, entendemos que essa temática necessita de uma metodologia diferenciada para a sua contextualização dentro do espaço escolar, como por exemplo, a metodologia da RP (Goi e Santos, 2009; Ruppenthal e Schetinger, 2017).

Boff (2012, p. 107) conceitua sustentabilidade como sendo toda "ação destinada a manter as condições energéticas, físico-químicas que sustentam todos os seres, especialmente a Terra viva, a comunidade de vida e a vida humana", tendo em vista "sua continuidade e ainda atender às necessidades da geração presente e das futuras, de tal forma que o capital natural seja mantido e enriquecido em sua capacidade de regeneração, reprodução e coevolução".

Segundo Pozo (1998), os alunos assumem o papel de protagonistas nas atividades propostas quando utilizada a metodologia da RP, necessitando ter uma atitude ativa e um esforço para buscar suas próprias respostas, resolvendo problemas com situações abertas e sugestivas. Assim sendo, eles poderão construir seus próprios conhecimentos. "O ensino baseado na solução de problemas pressupõe promover nos alunos o domínio de procedimentos, assim como a utilização dos conhecimentos disponíveis, para dar resposta a situações variáveis e diferentes" (Pozo, 1998, p. 9).

Pesquisadores das didáticas das Ciências acreditam que a metodologia da RP pode ser uma estratégia eficaz para ser trabalhada no sistema educacional da EB (Martínez e Martínez Aznar, 2014; Pozo, 2016). Alguns autores consideram que a metodologia da RP possui um caráter importante na atividade científica e pode ser considerada fundamental no ato de aprender a pensar (Vasconcelos *et al*, 2007, Fernandes e Campos, 2017). Nesse tipo de metodologia de ensino e aprendizagem, o professor age como mediador e orientador do processo, necessitando planejar situações para que os alunos consigam buscar estratégias adequadas para a sua resolução, bem como uma sequência didática e de trabalho planejada e orientada para lograr êxito em todo o processo.

Percurso Metodológico

Neste artigo será utilizada a abordagem qualitativa. Na investigação qualitativa, "o objetivo principal do investigador é o de construir conhecimentos e não dar opinião sobre determinado contexto" (Bogdan e Biklen, 1994, p. 67). Nesse sentido, uma das finalidades desta pesquisa é a capacidade de gerar teoria, descrição ou compreensão, buscando-se compreender o processo mediante o qual os agentes envolvidos constroem significados sobre o tema a ser investigado (Bogdan e Biklen, 1994). O estudo descrito neste trabalho foi desenvolvido com 109 estudantes de diferentes níveis e modalidades da EB, de três escolas públicas estaduais da cidade de Porto Alegre/RS. Todos os participantes assinaram Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Os dados foram produzidos através de registros no Diário de Campo (Porlán e Martín, 1998) dos pesquisadores, questionários e das produções escritas dos educandos, para posterior análise qualitativa e interpretativa (Bogdan e Biklen, 1994), fundamentada nos princípios da Educação Ambiental Crítica.

Nesta investigação, tendo estudantes da EB como sujeitos da pesquisa, analisamos quatro experiências da utilização da metodologia da RP, contextualizando a temática agrotóxicos, seu conceito, finalidade, consequências, características químicas e alternativas de substituição. Assim sendo, produzimos nove problemas, relacionados com essa temática, para serem trabalhados com os alunos do 9° Ano do Ensino Fundamental (EF), 3° Ano do Ensino Médio (EM), totalidade 9 do Ensino Médio/EJA (EM/EJA)[i] e das 3 etapas de um Curso Técnico em Química (TQ) [ii]. Todos os problemas, antes de serem utilizados em aula, foram avaliados aos pares por pesquisadores da área e analisados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul[iii]. Além disso, cabe destacar que todas as atividades foram realizadas de forma presencial.

Todos os problemas foram construídos de acordo com a etapa em que estavam os participantes, utilizando linguagem adequada ao nível dos educandos e contemplando as características de um problema eficaz (Ribeiro *et al.*, 2020). No Quadro 1, são apresentados os tópicos abordados em cada

problema e o público-alvo correspondente. Os enunciados dos problemas são apresentados na íntegra no Material Suplementar.

Após a produção dos problemas sobre a temática ambiental agrotóxicos, houve o planejamento das intervenções pedagógicas, as quais foram organizadas em seis momentos (Aznar *et al*., 2009) e distribuídas na seguinte sequência pedagógica: **I)** Introdução dos alunos ao tema, por intermédio de trechos de vídeo(s) de motivação e da explanação feita pelos pesquisadores sobre os impactos ambientais que os agrotóxicos podem causar, propiciando a discussão com os estudantes sobre os conteúdos e contextos presentes nos problemas a serem resolvidos; **II)** Organização das equipes de trabalho em grupos, seguida da leitura e análise dos problemas; **III)** Discussão dentro dos grupos para elaboração das hipóteses de trabalho e leitura dos materiais disponíveis para consulta; **IV)** Elaboração das apresentações com as resoluções; **V)** Plenária de apresentação das resoluções; **VI)** Debate coletivo.

Ao total, realizamos quatro intervenções pedagógicas com alunos de diferentes níveis e modalidades da EB: EF, EM, EM/EJA e TQ. Assim, os estudantes foram identificados pelo código: Est + modalidade de ensino + número do aluno na sequência dos 109 participantes. Exemplo, o estudante 22 do Ensino Médio será identificado como: EstEM22. Para evitar a entrada e a saída de participantes durante as intervenções, decidimos que cada uma das intervenções aconteceria em único encontro, sendo a do EF em 5 períodos contínuos[iv] de 50 minutos cada (totalizando 235 minutos), a do EM em 6 períodos de 50 minutos (285 minutos) e as do EM/EJA e do TQ em 5 períodos contínuos de 45 minutos cada (totalizando 210 minutos).

No Momento I, utilizamos trechos pré-selecionados pelos pesquisadores do vídeo "O Veneno está na mesa 1[v]", para todas as intervenções pedagógicas e, para a intervenção no curso Técnico em Química, também utilizamos trechos do vídeo "O Veneno está na mesa 2[vi]".

No Momento II, houve a formação de grupos de 4 a 7 componentes, dependendo do número de participantes de cada intervenção (Quadro 2). Após a organização dos grupos de trabalho, aconteceu a leitura e análise dos problemas com os alunos, ajudando-os a sanar as possíveis dúvidas de linguagem e interpretação.

A leitura dos materiais disponíveis para consulta (Momento III) no EF ocorreu por intermédio dos

Quadro 1: Tópicos abordados em cada problema sobre a temática ambiental agrotóxicos.

	Tópicos abordados em cada problema sobre a temática agrotóxicos		
Problemas produzidos	**EF**	**EM e EM/EJA**	**TQ**
Problema 1	Conceito; problemas de saúde; cuidados durante a aplicação.	Conceito; utilização; exemplos; estrutura química; problemas de saúde, cuidados durante a aplicação.	Capacidade de ser bioacumulativo; problemas ambientais (incluindo os danos à saúde); cuidados durante a aplicação.
Problema 2	Alternativas para a diminuição do uso.	Tecnologia de aplicação; alternativas para a diminuição do uso.	Características gerais; utilização; estruturas químicas; grupos funcionais; alternativas para a diminuição do uso.
Problema 3	Seleção de alimentos com menos resíduos; controle biológico.	Agricultura orgânica; controle natural de pragas.	Agricultura orgânica; critérios para os alimentos serem considerados orgânicos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 2: Organização dos grupos para as resoluções dos problemas.

	As quatro intervenções pedagógicas realizadas na investigação			
Problemas resolvidos pelos grupos respectivamente indicados	**EF (21 alunos)**	**EM (35 alunos)**	**EM/EJA (24 alunos)**	**TQ (29 alunos)**
Problema 1 do nível e modalidade correspondentes	Resolvido pelo Grupo 1 (7 alunos)	Grupo 1 (6 alunos); Grupo 2 (6 alunos)	Grupo 1 (4 alunos); Grupo 2 (4 alunos)	Grupo 1 (5 alunos); Grupo 2 (5 alunos)
Problema 2 do nível e modalidade correspondentes	Resolvido pelo Grupo 2 (7 alunos)	Grupo 3 (6 alunos); Grupo 4 (6 alunos)	Grupo 3 (4 alunos); Grupo 4 (4 alunos)	Grupo 3 (5 alunos); Grupo 4 (5 alunos)
Problema 3 do nível e modalidade correspondentes	Resolvido pelo Grupo 3 (7 alunos)	Grupo 5 (6 alunos); Grupo 6 (5 alunos)	Grupo 5 (4 alunos); Grupo 6 (4 alunos)	Grupo 5 (5 alunos); Grupo 6 (4 alunos)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Livros Didáticos (LDs) das Ciências da Natureza do EF (Gewandsznajder, 2015a, 2015b) e o livro do 1° ano do EM de Química (Santos e Mól, 2013). Nas intervenções do EM e EM/EJA, os materiais utilizados para consulta foram o LD das Ciências da Natureza do EM/EJA (Scrivano, *et al*., 2013) e os três volumes do LD do EM de Química (Santos e Mól, 2013). Na investigação feita com os alunos das três etapas do TQ, além dos livros utilizados no EM e EM/EJA, foi utilizado também o volume número 2 de outra obra didática de Química do EM (Fonseca, 2013). Cabe frisar que todas essas obras foram indicadas pelo PNLD/2015 e foram fornecidas pelos pesquisadores no momento das intervenções pedagógicas. Conforme apontamentos de Ribeiro *et al*. (2021), os livros do PNLD/2015 abordam conceitos e oferecem atividades de leitura e pesquisa sobre a temática agrotóxicos, que podem favorecer a tomada de consciência dos estudantes quanto aos riscos desses compostos para a saúde humana e para o ambiente.

No Momento IV, esquematizamos as resoluções dos problemas da seguinte maneira: Todos os sujeitos da pesquisa apresentaram a resolução oralmente para seus respectivos colegas e entregaram um relatório escrito com as respostas. Além disso, os alunos do EF e EM produziram cartazes para auxiliá-los nas apresentações das resoluções.

A plenária de apresentação das resoluções dos problemas (Momento V) foi planejada de forma que todos os alunos pudessem participar, de alguma maneira, na apresentação dos resultados para o grande grupo. Assim sendo, todos foram orientados por esse requisito de participação em conjunto para exporem suas ideias sobre as respostas da situação-problema que foi proposta para cada grupo de alunos.

Momento VI: socialização dos resultados com os alunos, na qual os professores pesquisadores realizaram um levantamento sobre as principais modelações de resolução e ressaltaram os conceitos fundamentais discutidos.

Planejamos, também, no final das atividades investigativas, a aplicação de questionário. Esse questionário utiliza uma escala (1=DT Discordo Totalmente, 2=DP Discordo Parcialmente, 3 =I Indeciso, 4=C Concordo Parcialmente e 5=C Concordo), indicando o grau de concordância do informante a respeito das perguntas (Likert, 1976). O gráfico apresenta os escores das respostas obtidas. O valor do escore da escala Likert é calculado fazendo-se a soma de cada um dos números de informantes, multiplicando pelo valor do escore (5 para C, 4 para CP, 3 para I, 2 para DP, 1 para DT) e dividindo pelo total de informantes.

No Momento IV, esquematizamos as resoluções dos problemas da seguinte maneira: Todos os sujeitos da pesquisa apresentaram a resolução oralmente para seus respectivos colegas e entregaram um relatório escrito com as respostas. Além disso, os alunos do EF e EM produziram cartazes para auxiliá-los nas apresentações das resoluções.

Resultados e Discussão

Conforme registros do Diário de Campo, no trabalho com os alunos do EF percebemos que suas ideias iniciais sobre os agrotóxicos se pautavam em informações mais pontuais divulgadas na grande mídia e a partir de um vocabulário informal, esperado para a faixa etária. Entretanto, o que se pôde observar pelas colocações realizadas pelos educandos é que a maioria tinha uma noção acerca do que são agrotóxicos, e que essas substâncias não fazem bem aos seres vivos e ao meio ambiente, assim como entendiam que os alimentos sem essas substâncias químicas são mais saudáveis para o consumo humano. Exemplo disso são algumas afirmações feitas pelos estudantes:

"O*s agrotóxicos são produtos utilizados na lavoura para os alimentos evoluírem mais rapidamente" (EstEF1).*

"São venenos e podem prejudicar as plantas, os frutos, o solo e os seres humanos" (EstEF8).

Em um questionamento à turma, a respeito de se os agrotóxicos são bons ou ruins para os seres humanos e para o meio ambiente, os aprendizes descreveram que não são bons nem para as pessoas nem para o meio ambiente, entretanto não conheciam nenhuma alternativa de plantio sem o uso destes. Como podemos perceber em algumas respostas dos alunos:

"Os agrotóxicos causam prejuízos ao solo" (EstEF11).

"Os agrotóxicos trazem danos às águas*" (EstEF14).*

"Os agrotóxicos trazem diversos prejuízos aos seres vivos" (EstEF15).

Na resolução de problemas, os aprendizes tiveram de investigar na literatura, utilizar os seus conhecimentos prévios, as informações do vídeo (O Veneno está na mesa 1) e das discussões realizadas para chegarem a soluções adequadas aos questionamentos propostos. Dessa forma, surgiram questões relacionadas ao uso de agrotóxicos e à sustentabilidade, quando lhes foi solicitada uma investigação, com o objetivo de explicarem por que a policultura utiliza menos agrotóxicos do que a monocultura e quais os problemas socioambientais que os agrotóxicos podem causar. Além disso, tiveram de descrever, também, outra maneira de como o uso de agrotóxicos pode ser reduzido na agricultura. Em outro problema apresentado, os aprendizes tiveram de escrever algumas formas de selecionar alimentos com menos resíduos de agrotóxicos e explicar como o controle biológico pode diminuir o uso desses produtos químicos.

Santos *et al*. (2014, p. 110) explicam que, na "tomada de consciência, o sujeito precisa realizar uma ação – seja ela material, ou não –, e ter capacidade de explicá-la, porque quando sabe explicar ou justificar sua ação, demonstra que houve uma construção conceitual". Além disso, os mesmos autores esclarecem que essa conceituação não equivale a uma simples leitura, e sim a uma "reconstrução que insere características novas e estabelece conexão entre a compreensão e as extensões" (Santos *et al*., 2014, p. 110).

Com a análise das produções escritas e apresentações, evidenciamos que o grupo de estudantes avançou na compreensão sobre as possibilidades e potencialidades da agricultura sustentável, sobre hábitos de consumo e falta de políticas públicas de incentivo ao não uso dos agrotóxicos. Nesse âmbito, acreditamos que a escola possui uma função primordial na tomada de consciência, por parte dos educandos, acerca da importância da sustentabilidade ambiental e socioambiental, articulada ao estudo dos conteúdos escolares, carecendo de recursos didáticos e orientação contínua para desenvolver ações com esses objetivos. Dessa maneira, a EA crítica se manifesta como um conjunto de práticas educacionais com a meta de constituir uma nova consciência ecológica em todas as disciplinas do currículo escolar (Costa *et al.*, 2017). Em vista disso, as práticas de EA não devem apenas transmitir conhecimentos a respeito do meio ambiente, mas também propiciar a mudança de atitude, a determinação para a ação e a procura de soluções para o problema.

Com a análise das produções escritas e apresentações, evidenciamos que o grupo de estudantes avançou na compreensão sobre as possibilidades e potencialidades da agricultura sustentável, sobre hábitos de consumo e falta de políticas públicas de incentivo ao não uso dos agrotóxicos.

Nessa linha de pensamento, Boff (2012) assevera que, para compreendermos a sustentabilidade como qualidade do desenvolvimento social, devemos mudar nossa relação com a natureza, a vida e a Terra. Além do mais, o autor explica que o termo sustentabilidade é um conceito difícil e integrativo de várias dimensões, como a ambiental, social, econômica, cultural entre outras, que mesmo diferentes possuem relações de interdependência.

No que tange ao trabalho com o EM, o que observamos foi que os estudantes possuíam uma compreensão geral a respeito do que são agrotóxicos, uma vez que houve afirmações nas quais alguns deles comunicaram o conceito de agrotóxicos de forma relacionada aos diferentes tipos de pragas que combatem, mas sem conseguirem esclarecer detalhes:

"Os agrotóxicos são uma espécie de inseticida usado na agricultura para livrar as plantações de pragas que possam vir a prejudicar essas plantações" (EstEM22).

"Os agrotóxicos são produtos que usamos para combater insetos, doenças ou plantas daninhas que causam danos às *plantações" (EstEM26).*

Da mesma maneira, outros alunos complementaram as declarações dos colegas, dizendo que:

"Os agrotóxicos não são bons para os seres humanos, pois podem causar danos à *saúde e nem para o meio ambiente, uma vez que podem causar a poluição do solo e das* águas*" (EstEM30).*

"Os agrotóxicos podem causar tumores e, consequentemente, o surgimento de câncer quando utilizados acima dos limites permitidos ou quando se utilizam agrotóxicos proibidos, causando má-formação de bebês e alterações hormonais e também não são bons para o meio ambiente, já que poluem o solo e as nascentes de rios" (EstEM34).

Tendo em vista as arguições sobre o uso demasiado de produtos químicos nas plantações, uma estudante deu sua contribuição à discussão, afirmando que:

"Minha sogra possui uma horta em seu quintal e não utiliza nenhum tipo de agrotóxico, o máximo que ela usa é sal e algumas misturas naturais para afugentar algumas pragas" (EstEM42).

Assim sendo, essa aluna preconizou uma agricultura sustentável.

Em um dos problemas propostos, os grupos 3 e 4 foram convidados a pesquisar acerca das alternativas para o cultivo agrícola sem a utilização de agrotóxicos ou, pelo menos, para redução de seu uso. Da mesma forma, tiveram de discutir sobre quais as vantagens e desvantagens de cada uma dessas alternativas e decidir quais delas consideravam mais eficientes para diminuir o uso de agrotóxicos. Em outro problema, a questão estava relacionada a uma pesquisa que deveriam realizar relacionada à agricultura orgânica, seus princípios, suas práticas de cultivo, vantagens e desvantagens. Além disso, deveriam citar um exemplo de controle natural de pragas com aplicação de conhecimentos químicos e como alternativa para os agrotóxicos. Dessa forma, munidos de conhecimentos adquiridos ao longo de suas vidas e das discussões realizadas em sala de aula, assim como por intermédio do vídeo assistido e da consulta nos livros didáticos indicados, os aprendizes resolveram os problemas propostos, tendo em vista uma agricultura sustentável, sem agrotóxicos ou com menor quantidade desses produtos químicos.

Nesse contexto, percebemos a importância dos alunos da EB compreenderem o significado social da utilização de práticas de conservação e preservação ambiental, com o intuito de preservar a fertilidade do solo, assim como as condições climáticas favoráveis. Temos conhecimento de que para que os alimentos sejam produzidos, os agrossistemas, tais como lavouras, pastagens e outras, exigem a alteração do sistema natural. Dessa forma, essa ação implica a modificação dos ecossistemas, ocasionando a remoção da cobertura vegetal, revolvimento do solo (aração, gradeação, semeadura, plantio, cultivo), uso de fertilizantes e de agrotóxicos com o intuito de combater doenças e pragas. Todas essas ações trazem como consequência a contaminação do solo, do ar e das águas, erosão, compactação e diminuição da permeabilidade do solo, entre outros. Por esses motivos, temos de viabilizar uma agricultura sustentável, em direção a uma sociedade mais justa do ponto de vista ambiental e econômico. Dessa maneira, "a sociedade precisa caminhar em direção à sustentabilidade de forma harmônica com desenvolvimento socioeconômico e ambiental, trabalhando sempre a prevenção e a preservação com atitudes individuais e coletivas" (De David, 2018, p. 122).

Na proposta lançada aos estudantes do EM/EJA, verificamos que, em sua maioria, esses alunos possuíam a noção

do que é um agrotóxico e o que esse produto acarreta aos seres humanos e ao meio ambiente. Isso ficou sinalizado nas falas dos aprendizes:

"O agrotóxico deixa a fruta mais bonita, entretanto faz mal para os consumidores dessa fruta" (EstEM/EJA60).

"Os agrotóxicos contaminam o solo, os lençóis freáticos e prejudicam a saúde dos consumidores" (EstEM/EJA69).

Após assistirem ao vídeo relacionado às consequências do uso indiscriminado de agrotóxicos, e a alternativa para uma agricultura sem eles, os estudantes realizaram uma profícua discussão sobre agricultura orgânica e políticas públicas do setor do agronegócio. Um estudante afirmou que:

"Uma agricultura orgânica é possível, entretanto torna-se mais cara e o governo está interessado em ganhar dinheiro com os agrotóxicos" (EstEM/EJA71).

Uma aluna comentou que:

"Há uma horta orgânica perto da minha casa. Nessa horta, provei morangos sem agrotóxicos e o sabor é muito melhor do que a fruta comprada nos supermercados com agrotóxicos" (EstEM/EJA73).

Os problemas a serem solucionados pelos alunos EM/EJA eram os mesmos dos estudantes do EM. Na resolução de um dos grupos de EM/EJA, os componentes discorreram a respeito das consequências do uso de agrotóxicos e chegaram ao consenso de que a policultura seria a melhor solução para o não uso dessas substâncias. Na solução de outro problema apresentado, os participantes ponderaram acerca das vantagens e desvantagens da agricultura orgânica. Em seguida, mais dois componentes defenderam esse tipo de agricultura, justificando-se.

[...] os problemas apresentados levaram os educandos a refletir acerca de outras formas de agricultura, que não prejudicam demasiadamente o ambiente como a prática tradicional que utiliza agrotóxicos o faz, utilizando quantidades menores de agrotóxicos ou até mesmo não fazendo uso dessas substâncias químicas.

Dessa maneira, os educandos refletiram acerca de outras formas de agricultura, que não prejudicam demasiadamente o ambiente como a prática tradicional que utiliza agrotóxicos o faz, utilizando quantidades menores de agrotóxicos ou até mesmo não fazendo uso dessas substâncias químicas. Posto isso, a agricultura sustentável é uma opção, pois está associada ao uso de um método de cultivo o qual se preocupa com o meio ambiente e colabora para a sua preservação, não deixando de ser uma atividade economicamente viável e lucrativa. Consequentemente, trata-se de um processo que propicia a qualidade de vida e a capacidade de prover as necessidades das gerações futuras, considerando o cuidado da terra, da água e do ar (Ghini e Bettiol, 2000; De David, 2018).

Durante a realização da intervenção no TQ, observamos uma discussão mais calcada em conhecimentos um pouco mais aprofundados das questões levantadas, tendo em vista o curso dos sujeitos da pesquisa. Dessa forma, nas discussões realizadas obtivemos algumas afirmações:

"Os agrotóxicos são produtos adicionados às plantações para acelerar ou aumentar a produção e deixar o produto mais "bonito" ao consumidor" (EstTQ84).

"Os agrotóxicos são substâncias que protegem plantações de pragas e pestes" (EstTQ85).

"Agrotóxicos são substâncias químicas que são utilizadas para o extermínio de pragas" (EstTQ90).

Nessa linha de pensamento, os estudantes mostraram já ter algum conhecimento acerca dos malefícios dessas substâncias químicas. Assim, uma aluna comentou que:

"Os agrotóxicos não são bons nem para os seres humanos nem para o meio ambiente, pois trata-se de um veneno nocivo à saúde mesmo em concentrações baixas, já que o uso contínuo é grande e os agrotóxicos são utilizados em todos os alimentos produzidos em lavouras e estufas para se obter uma melhor qualidade no alimento, mas, em contrapartida, há uma piora na saúde humana" (EstTQ92).

A próxima contribuição veio de um educando que disse que:

"Os agrotóxicos não são bons, uma vez que contaminam o alimento, o solo, o trabalhador, a flora e, consequentemente, a fauna, a hidrografia etc" (EstTQ95).

Conforme a experiência de um aluno para a utilização de menos produtos químicos, ele relatou ao grande grupo que:

"Os funcionários da fazenda de meu tio já haviam utilizado diversos tipos de defensivos, mas nada resolvia o problema de carrapatos no gado. Fiz uma pesquisa sobre o assunto, continuamos a passar os defensivos nos animais, mas fiz manejo de pastagem, descobrimos o ciclo do carrapato e começamos a realizar várias ações para o combate dos carrapatos. Descobrimos que não era feita a limpeza de todo o rebanho e, por isso, uns contaminavam os outros. Devido a essas ações, começamos a utilizar menos veneno do que usávamos antes e, a partir disso, começamos a entregar boi para frigorífico com sanidade 100%" (EstTQ96).

Dessa maneira e com a resolução dos problemas propostos, vieram à tona discussões acerca de uma agricultura sustentável, como uma forma de enfrentamento dos problemas socioambientais dos agrotóxicos e para o desenvolvimento de novas relações entre os seres humanos e entre os seres humanos e a natureza, tanto em sua dimensão natural, quanto social, cultural e econômica. Um dos questionamentos da situação-problema era que os grupos 3 e 4 pesquisassem sobre alternativas para o cultivo agrícola sem a utilização de agrotóxicos ou, pelo menos, para redução de seu uso. Assim sendo, os grupos buscaram informações a esse respeito e discutiram essa solução. Outro problema que também causou tomada de consciência e boas arguições foi a proposta que solicitava que os aprendizes pesquisassem a respeito da agricultura orgânica, seus princípios, suas práticas de cultivo, vantagens, desvantagens etc. Além disso, questionava se o cultivo sem o uso de agrotóxicos seria o único critério utilizado para definir se um alimento é ou não "orgânico."

Pelas discussões realizadas e pelas resoluções dos problemas entregues nos relatórios, percebemos que os educandos entenderam que a agricultura orgânica é um processo produtivo que está comprometido com a organicidade e a sanidade da produção de alimentos vivos, com o objetivo de preservar a saúde dos seres humanos. Com esse intuito, utiliza tecnologias que são pertinentes à realidade do local de produção. Esse é um tipo de agricultura que não usa agrotóxicos e viabiliza a restauração e manutenção da biodiversidade. Da mesma forma, utiliza fertilizantes naturais, rotatividade de culturas, uso racional da água, além de técnicas que possam ser adaptadas à realidade do local de cultivo (Carneiro *et al.,* 2015; Santos e Mól, 2013).

Pelas apresentações e debate final acerca do trabalho proposto, verificamos a tomada de consciência dos alunos sobre os malefícios que os agrotóxicos podem causar, assim como uma possibilidade para uma agricultura sustentável. Nessa linha de pensamento, entendemos que esse processo de tomada de consciência, que foi analisado na presente pesquisa, não é, de fato, conscientização. Segundo Freire (1980), "esta tomada de consciência não é ainda conscientização, porque esta consiste no desenvolvimento crítico da tomada de consciência" (p. 26). Para Leff (2015), tendo em vista a gravidade da crise ambiental, o processo educacional deve favorecer a conscientização com o objetivo de estabelecer condutas sociais as quais impeçam consequências negativas sobre o ambiente e criar habilidades técnicas com o intuito de solucionar problemas socioambientais. A educação relacionada ao ambiente compreende-se como um treinamento em proteção ambiental ou como uma instrução que permita aos estudantes resolver problemas socioambientais e lhes dê uma visão e convicções como base para um comportamento responsável com a natureza. Os programas de formação ambiental são iniciais e dirigidos para a criação de uma racionalidade alternativa, a qual esteja apta a entender, promover, mobilizar e articular os processos naturais, tecnológicos e sociais que expandam as opções para outro desenvolvimento (Leff, 2015).

Uma das questões do questionário aplicado, após o término das sequências didáticas, estava relacionada com a autoavaliação quanto ao método proposto, a RP. Todos os 109 participantes da pesquisa responderam ao questionário.

Analisando o Gráfico 1, observamos que a maioria dos alunos concordou que o trabalho, através da metodologia de RP, favoreceu o trabalho em equipe, contribuiu para a aprendizagem dos mesmos sobre a temática agrotóxicos e que estes colaboraram com os demais colegas de grupo, ajudando de forma ativa na resolução do problema proposto.

Por todos os dados e resultados da presente pesquisa e os referenciais que nos apropriamos na mesma, compreendemos que no nosso estudo temos indicativos capazes de analisar o processo de tomada de consciência dos estudantes a respeito dos problemas socioambientais relacionados aos agrotóxicos e das possibilidades da agricultura sustentável, a partir da vivência da metodologia da RP.

Os diagnósticos do gráfico permitem afirmar que, nos itens apresentados, praticamente todos os alunos registraram respostas favoráveis à contribuição da RP para o seu aprimoramento sobre a temática agrotóxicos e perceberam as contribuições da metodologia para o desenvolvimento do senso de participação e trabalho em equipe.

Por todos os dados e resultados da presente pesquisa e os referenciais que nos apropriamos na mesma, compreendemos que no nosso estudo temos indicativos capazes de analisar o processo de tomada de consciência dos estudantes a respeito dos problemas socioambientais relacionados aos agrotóxicos e das possibilidades da agricultura sustentável, a partir da vivência da metodologia da RP. O caráter investigativo da metodologia de RP, coloca o aprendiz no centro do processo de aprendizagem. Assim sendo, por intermédio da busca de conhecimento, formulação de hipóteses e trocas de experiências, assegura-se a fixação e retenção dos conteúdos e competências por parte dos estudantes. Além do mais, a RP também traz benefícios, tais como: maior participação,

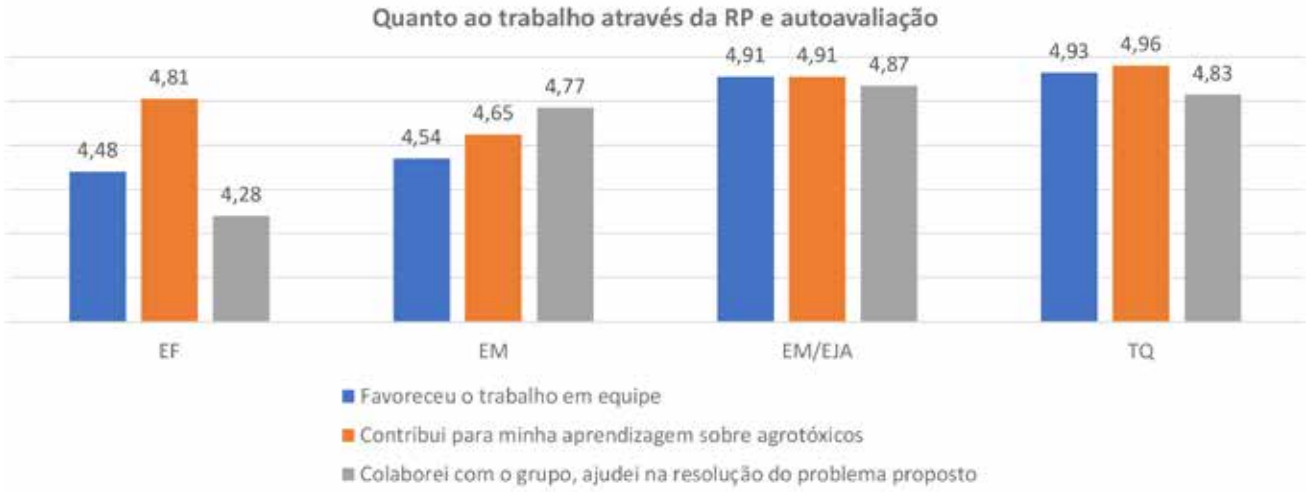


Gráfico 1: Quanto ao trabalho através da metodologia de RP e autoavaliação

já que os assuntos abordados partem da realidade do aluno; estímulo da criatividade, pois os aprendizes precisam ativar seu senso criativo na busca de soluções para um determinado problema; incentivo à pesquisa em materiais didáticos, bibliotecas, ambientes virtuais; responsabilidade, trabalho em equipe e organização com o intuito de chegarem às suas próprias conclusões. Ademais, pudemos observar a autonomia dos estudantes do TQ na capacidade de tomada de decisões, criticidade na condução das discussões e pesquisas necessárias para a resolução dos problemas.

Além do mais, notou-se que os grupos, de uma maneira geral, perceberam que a busca por uma vida mais saudável implica, entre outros fatores, o consumo de produtos de boa qualidade e esses produtos são oriundos de uma agricultura sustentável. Assim, os alimentos que chegam à mesa do consumidor não possuem agrotóxicos, não prejudicando a saúde humana ou o meio ambiente. Da mesma maneira, entenderam que a agricultura sustentável é justa do ponto de vista social, é economicamente exequível e deve garantir, às futuras gerações, a capacidade de prover as necessidades de produção e vida no planeta.

Concordamos com Boff (2012) quando o autor detalha que o capitalismo criou uma cultura do eu sem o nós e o socialismo do nós sem o eu. Enquanto o que precisamos é de uma relação do eu com o nós, por meio de uma democracia social e participativa que priorize a diversidade de espécies e culturas. Nesse sentido, ao longo das atividades de RP procuramos enfatizar os riscos de algumas ações governamentais, como o Projeto de Lei (PL) nº 6.299/2002, conhecido como Pacote do Veneno, que visa alterar o Decreto 4.074/2002 que, por sua vez, regulamenta a Lei de Agrotóxicos nº 7.802/1989, em tópicos bastante relevantes, no sentido de flexibilizar o uso e de liberar a comercialização de novos agrotóxicos. Os enunciados dos problemas questionavam sobre o conceito de agrotóxicos, o que possibilitou a investigação e discussão sobre a troca do nome "Agrotóxicos" para "defensivos fitossanitários", como era previsto no referido PL. Acreditamos que a expressão "defensivo" induz à falsa sensação de segurança, o que poderia levar os consumidores a pensarem na disponibilidade de alimentos mais seguros para serem consumidos, fato que pode ser um dos exemplos de influência dos poderes político e econômico nos problemas socioambientais. Pelo contrário, essa vasta utilização deixa que esses produtos tenham mais possibilidades de ocasionar danos aos diferentes biomas brasileiros e a uma grande parte da população brasileira, exposta a essas substâncias tóxicas presentes na água, solo e alimentos, como vegetais, carne, leite e derivados (Ribeiro *et al*., 2018). Outrossim, o vídeo utilizado para introduzir a atividade (O veneno está na mesa 1) contempla ampla base de dados que possibilita a compreensão de que o cenário que temos hoje é consequência de ações e atuações políticas, entre outras, que visam atender interesses de grupos restritos, em detrimento do interesse coletivo da sociedade.

Acreditamos que a expressão "defensivo" induz à falsa sensação de segurança, o que poderia levar os consumidores a pensarem na disponibilidade de alimentos mais seguros para serem consumidos, fato que pode ser um dos exemplos de influência dos poderes político e econômico nos problemas socioambientais.

Enfatizamos que na atualidade estamos vivenciando ações governamentais contundentes, como a aprovação do Decreto nº 10.833/2021 que prevê regras muito mais flexíveis para o registro e comercialização dos agrotóxicos. No caso de uma nova utilização dos enunciados dos problemas apresentados neste artigo, sugerimos que este documento seja incorporado como exemplar de influências das ações políticas e governamentais que afetam a problemática socioambiental que está em discussão e que poderá tornar o Brasil um terreno "fértil" para ações pouco sustentáveis.

Conclusão

A crise ambiental pela qual passam o Brasil e o mundo nos faz refletir acerca da função da escola na formação de cidadãos que sejam aptos a serem críticos sobre suas consequências e combatê-la. Acreditamos que o ambiente escolar é um local favorável para o desenvolvimento de uma prática educativa voltada para o fomento de valores relacionados à Educação Ambiental Crítica, que objetiva a compreensão dos conceitos relacionados com o meio ambiente, sustentabilidade, preservação e conservação, tendo em vista uma metodologia diferenciada como a Resolução de Problemas.

À vista disso, o objetivo deste artigo foi analisar o processo de tomada de consciência a respeito dos problemas socioambientais causados por agrotóxicos e da importância do desenvolvimento da agricultura sustentável, por estudantes de diferentes etapas e modalidades da Educação Básica, a partir da vivência da metodologia da Resolução de Problemas no Ensino de Química.

O que percebemos com a utilização da metodologia de Resolução de Problemas foi que os educandos puderam, por intermédio da proposta e do tema apresentados, tomar consciência da importância de uma agricultura sustentável para uma vida com mais qualidade e da viabilidade desse tipo de plantio. Essa metodologia desenvolveu nos estudantes o senso de participação e trabalho em equipe, através de uma temática na qual estavam inseridos, possuíam conhecimentos prévios e puderam ampliá-los durante o trabalho realizado. Destacamos que no EF os estudantes passaram a ter maior clareza sobre o conceito de agrotóxicos e possibilidades de plantio alternativos. No EM e EM/EJA aspectos como a classificação dos tipos de agrotóxicos e toxicidade foram destaque, assim como o estudo sobre policultura e agricultura orgânica. No TQ verificamos o aprofundamento conceitual dos aspectos já citados e o desenvolvimento de autonomia dos participantes nas discussões, na resolução dos problemas e apresentações orais, sua criticidade frente aos problemas

propostos. Ademais, procuramos enfatizar a forte intervenção antrópica que vem reduzindo a capacidade de resiliência do meio ambiente, além da relação dos fatores econômicos e políticos imbricados nas relações sociais constituídas pelo sistema capitalista.

Faz-se necessária, na escola, a problematização da Educação Ambiental, tendo em vista suas múltiplas possibilidades e com o intuito de os educandos poderem repensar práticas sociais nocivas ao homem e ao meio ambiente. Outrossim, precisamos repensar o papel do professor, que não deve ser o de transmitir conhecimentos já prontos, mas ser o mediador da aprendizagem, contribuindo para a construção de um conhecimento necessário para que os estudantes possam ser críticos e reflexivos, tendo a responsabilidade para construir uma sociedade planetária mais equitativa e ambientalmente sustentável.

Esperamos que os resultados deste trabalho possam contribuir para fomentar conhecimentos e reflexões para novos estudos na área da Educação e Ensino de Química no contexto escolar quanto ao saber ambiental.

Notas

[i]A totalidade 9 corresponde à última etapa do ensino médio da modalidade EJA.

[ii]O referido curso possui quatro etapas, sendo que a última etapa corresponde ao estágio obrigatório.

[iii]Número do Parecer de aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal do Rio Grande do Sul: 3.495.883.

[iv]Todas as intervenções pedagógicas tiveram um intervalo de 15 minutos.

[v]Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8RVAgD44AGg>. Acesso em 29 de set. 2021.

[vi]Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=fyvoKljtvG4>. Acesso em 29 de set. 2021.

Daniel das Chagas de Azevedo Ribeiro (professordanielufrgs@hotmail.com), pós-doutorando da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), integrante do Grupo de Pesquisa em Ensino de Química - GPEQ/UFRGS. Porto Alegre, RS - BR. **Tania Denise Miskinis Salgado** (tania.salgado@ufrgs.br), doutora em Ciências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), professora do Programa de Pós-Graduação em Química e Programa de Pós-Graduação de Educação em Ciências da UFRGS, integrante do Grupo de Pesquisa em Ensino de Química - GPEQ/UFRGS. Porto Alegre, RS – BR. **Carla Sirtori** (carla.sirtori@ufrgs.br), doutora em Química pela Universidade de Almería (UAL) Espanha, professora do Programa de Pós-Graduação em Química da UFRGS, integrante do Grupo de Pesquisa em Ensino de Química -GPEQ/UFRGS. Porto Alegre, RS – BR. **Camila Greff Passos** (camila.passos@ufrgs.br), doutora em Educação Química pela UFRGS, professora do Programa de Pós-Graduação em Química da UFRGS, integrante do Grupo de Pesquisa em Ensino de Química - GPEQ/UFRGS. Porto Alegre, RS – BR.

Referências

AZNAR, M.; MERCEDES, M.; NIETO, V. e PALOMA, M. La resolución de problemas de energía en la formación inicial de maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 27, n.3, p. 343-360, 2009.

BELCHIOR, D. C. V., SARAIVA, A. S., LÓPEZ, A. M. C. e SCHEIDT, G. N. Impactos de agrotóxicos sobre o meio ambiente e a saúde humana. *Cadernos de Ciência & Tecnologia,* v. 34, n. 1, p. 135-151, jan./abr. 2014.

BOFF, L. *Sustentabilidade*: o que é, o que não é. Petrópolis: Vozes, 2012.

BOGDAN, R. C. e BIKLEN, S. K. *Investigação qualitativa em educação:* uma introdução à teoria e aos métodos. Portugal: Porto Editora, 1994.

CARNEIRO, F. F., RIGOTTO, R. M., AUGUSTO, L. G. S., FRIEDRICH, K. e BÚRIGO, A. C. (Org.). *Dossiê Abrasco:* um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Rio de Janeiro/São Paulo: Expressão Popular, 2015, p. 624.

COSTA, L. S. O.; ECHEVERRÍA, A. R. e RIBEIRO, F. L. O processo de tomada de consciência e a formação de conceitos da Educação Ambiental na formação inicial de professores de Ciências/Química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v.17, n. 3, p. 803–834, 2017.

DE DAVID, L. Síntese do seminário sobre mudanças climáticas desafios da sustentabilidade e da produção de alimentos saudáveis. In: DE DAVID, L., MELGAREJO, L., BRACAGIOLI, A., SERAFINI, L. e PAULUS, G. (Org.). *Agricultura familiar, produção de alimentos saudáveis e preservação ambiental*: relatório verde 2018. Porto Alegre: Assembleia Legislativa do Rio Grande do Sul, 2018. p. 119-134.

FERNANDES, L. S. e CAMPOS, A. F. Tendências de pesquisa sobre a resolução de problemas em Química. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 16, n. 3, p. 458-482, 2017.

FERNANDES, C. S. e STUANI, G. M. Agrotóxicos no Ensino de Ciências: uma pesquisa na educação do campo. *Educação & Realidade*, v. 40, n. 3, p. 745-762, 2015.

FREIRE, P. *Conscientização: teoria e prática da libertação:* uma introdução ao pensamento de Paulo Freire. São Paulo: Cortez, 1980.

FONSECA, M. R. M. *Química Ensino Médio*. 1 ed. v. 2. Porto Alegre: Ática, 2013. p. 320.

GEWANDSZNAJDER, F. *Projeto Teláris:* Ciências da Natureza, Planeta Terra. 2 ed. São Paulo: Ática, 2015a. p.264.

GEWANDSZNAJDER, F. *Projeto Teláris:* Ciências da Natureza, Vida na Terra. 2 ed. São Paulo: Ática, 2015b. p. 296.

GHINI, R. e BETTIOL, W. Proteção de plantas na agricultura sustentável. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v.17, n.1, p.61-70, Jan./Abr. 2000.

GOI, M. E. J. e SANTOS, F. M. T. Reações de combustão e impacto ambiental por meio de Resolução de Problemas e atividades experimentais. *Química Nova na Escola*, v. 31, p. 203- 209, 2009.

HANLON, S. M. e RELYEA, R. Sublethal effects of pesticides on predator-prey interactions in amphibians. *Copeia*, v. 4, p. 691-698, 2013.

LEFF, E. *Saber Ambiental*. Petrópolis: Vozes, 2015.

LIKERT, R. Una técnica para medir actitudes. In: LIKERT, R. e SUMMERS, G.F. (Ed.) *Medición de actitudes.* México: Editorial Trillas, 1976. p. 182-191.

MARQUES, L. *Capitalismo e colapso ambiental*. Campinas: Unicamp, 2018.

MARTÍNEZ, F. P. e MARTÍNEZ AZNAR, M. M. La metodología de resolución de problemas como investigación

(MRPI): una propuesta indagativa para desarrollar la competencia científica en alumnos que cursan un programa de diversificación. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 32, n. 3, p. 469- 492, 2014.

PIGNATI, W. A.; LIMA, F. A. N. D. S.; LARA, S. S. D.; CORREA, M. L. M.; BARBOSA, J. R.; LEÃO, L. H. D. C. e PIGNATTI, M. G. Distribuição espacial do uso de agrotóxicos no Brasil: uma ferramenta para a Vigilância em Saúde. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 22, n. 10, p. 3281-3293, 2017.

POZO, J. I. *A solução de problemas*: aprender a resolver, resolver para aprender. Porto Alegre: Artmed, 1998.

POZO, J. I. *Aprender en tiempos revueltos.* La nueva ciencia de la aprendizaje. Madrid: Alianza, 2016.

PORLÁN A. R. e MARTÍN, J. *El diario del profesor:* Un recurso para la investigación en el aula. 6 ed. Sevilla: Díada, 1998.

RIBEIRO, D. C. A., PASSOS, C. G., SIRTORI, C. e MARCINKOWSKI, C. A. *A temática agrotóxico e a metodologia da resolução de problemas no ensino de ciências*. Curitiba: Appris, 2018.

RIBEIRO, D. C. A.; PASSOS, C. G. e SALGADO, T. D. M. A metodologia de resolução de problemas no ensino de ciências: as características de um problema eficaz. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 22, p. 1-21, 2020.

RIBEIRO, D. C. A.; LARANJO, M. T.; SIRTORI, C. e PASSOS, C. G. Plaguicidas: um análisis del tema em los libros de texto de química indicados por el Programa Nacional de Libros de Texto (PNLD) 2015. *ACTIO*, v. 6, n. 1, p. 1-24, 2021.

RUPPENTHAL, R. e SCHETINGER, M. R. C. A argumentação e a capacidade de resolver problemas em estudantes do ensino fundamental. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 10, n. 2, p. 35-52, nov. 2017.

SANTOS, E. R., FERREIRA, A. C., SERPE, B. M. e ROSSO, A. J. Uso dos termos consciência, conscientização e tomada de consciência nos trabalhos paranaenses de Educação Ambiental. *Revista de Educação Pública*, v. 22, n. 48, p. 103-123, jan./abr. 2013.

SANTOS, M. e GLASS, V. (Org.). *Atlas do agronegócio*: fatos e números sobre as corporações que controlam o que comemos. Rio de Janeiro: Fundação Heinrich Böll, 2018.

SANTOS, W. L. P. e MÓL, G. S. (Org). *Projeto de Ensino de Química e Sociedade:* Química cidadã. 2 ed. São Paulo: AJS, 2013.

SCRIVANO, C. N., OLIVEIRA, E. R., LISBÔA, J. C. F., CARNEIRO, M. C. C. C., JUNIOR CASTILHO, M. e GORSKI, R. *Ciências, transformação e cotidiano:* Ciências da natureza e matemática ensino médio: Educação de Jovens e Adultos. 1 ed. São Paulo: Global, 2013.

TOZONI-REIS, M. F. C. Contribuições para uma pedagogia crítica na educação ambiental: reflexões teóricas. In: LOUREIRO, C. F. B. *A questão ambiental no pensamento crítico:* natureza, trabalho e educação. Rio de Janeiro: Quartet, 2007, p. 177-221.

TOZONI-REIS, M. F. C. Pesquisa-ação em Educação Ambiental. *Pesquisa em Educação Ambiental*, v. 3, n. 1, p. 155-169, 2008.

VASCONCELOS, C.; LOPES, B.; COSTA, N.; MARQUES, L. e CARRASQUINHO, S. Estado da arte na resolução de problemas em Educação em Ciência. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 6, n. 2, p. 235-245, 2007.

ZOWADA C.; FRERICHS N.; ZUIN V. G. e EILKS I. Developing a lesson plan on conventional and green pesticides in chemistry education: a project of participatory action research, *Chemistry Education Research and Practice*, v. 21, p. 141-153, 2020.

Abstract: *Sustainability and Environmental Education in Chemistry Teaching: contributions towards the awareness about sustainable agriculture.* This article aims to analyze the students' awareness-raising process regarding the socio-environmental problems related to pesticides and the possibilities of sustainable agriculture, based on the experience of the Problem-Solving methodology. The research was developed with 109 students at different levels of Basic Education, from three state public schools in Porto Alegre/RS. The data were produced through records in the Field Diary, questionnaires, and written productions of the students, for later qualitative and interpretive analysis. With the dataset analyzed, we identified that in Elementary School, students began to have greater clarity about the concept of pesticides and alternative planting possibilities. Aspects such as the classification of types of pesticides, polyculture and organic agriculture were highlighted in the High School resolutions. In Technical Education in Chemistry, we verified the conceptual depth and criticality regarding the relations of economic and political factors imbricated in environmental issues.
Keywords: problem-solving, chemistry teaching; sustainable agriculture.

A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

Problemas produzidos pelos pesquisadores e utilizados nas quatro intervenções pedagógicas.

Problema 1 EF: A população do planeta Terra está em torno de sete bilhões de pessoas! Alimentar toda essa gente é um grande desafio. Principalmente se considerarmos que todos têm o direito básico de satisfazer suas necessidades nutricionais mínimas. Nesse cenário, nas últimas décadas, as culturas alimentares têm aumentado consideravelmente. Isso foi possível, em grande parte, graças ao resultado obtido na luta contra as pragas da agricultura. Nesse contexto, é inegável que os Agrotóxicos têm tido um papel muito importante. No entanto, a aplicação desses produtos químicos tem sido tão intensa que uma parte deles tem persistido no ambiente e intoxicado trabalhadores que aplicam os Agrotóxicos nas lavouras. Faça uma pesquisa a respeito da definição de Agrotóxicos e os problemas de saúde que eles podem causar no organismo humano. Que cuidados o agricultor deve ter ao utilizar os Agrotóxicos?

Problema 2 EF: Grande parte dos municípios brasileiros tem a agricultura como principal atividade econômica, não somente aqueles que utilizam grandes extensões de terra para a monocultura (cultivo de um único tipo de vegetal), mas também os que têm sua atividade baseada na agricultura familiar, que geralmente utiliza menores extensões de terra para a policultura (cultivo de vários tipos de vegetais em uma mesma área). Por intermédio de uma investigação, explique por que a policultura utiliza menos Agrotóxicos do que a monocultura e quais os problemas ambientais que os Agrotóxicos podem causar. Descreva, também, outra maneira que o uso de Agrotóxicos pode ser reduzido na agricultura.

Problema 3 EF: Estima-se que 90% dos agricultores "orgânicos" no Brasil seriam pequenos produtores ligados a ONGs e cooperativas. Os 10% restantes corresponderiam aos grandes produtores vinculados a empresas privadas. Por ter um custo mais elevado, consequentemente, preço mais alto do que o dos produtos convencionais, os produtos "orgânicos" são comercializados principalmente em regiões onde a renda é mais elevada. Quando não é possível consumir alimentos "orgânicos", uma opção para diminuir a ingestão de aditivos agrícolas sintéticos é comprar frutas, legumes e verduras da época. Alimentos fora da época costumam receber cargas maiores de Agrotóxicos. Nesse contexto, escreva algumas maneiras de selecionar alimentos com menos resíduos de Agrotóxicos e explique como o controle biológico pode diminuir o uso desses produtos químicos.

Problema 1 EM e EM/EJA: Combater pragas de lavouras, insetos ou animais transmissores de doenças sempre foi um grande desafio. Afinal, boa parte da produção se perde, vítima desses agentes. A Química entrou nessa batalha produzindo substâncias que amenizam esse problema, os chamados Agrotóxicos. Você é professor de Química de uma zona rural de Porto Alegre e descobriu que alguns dos seus alunos são agricultores e não utilizam roupas de proteção apropriadas na aplicação de Agrotóxicos nas lavouras. Você dará aula para esses estudantes e outros que também precisam saber sobre os cuidados que devem ter com os Agrotóxicos. Faça uma pesquisa a respeito da definição de Agrotóxicos e a finalidade para a qual são utilizados na agricultura. Dê exemplo de um defensivo agrícola, seu nome, estrutura química e os problemas de saúde e danos ao organismo humano que esse Agrotóxico e outros podem causar. O que os agricultores podem fazer para amenizar os riscos à saúde no momento da aplicação de Agrotóxicos?

Problema 2 EM e EM/EJA: Grande parte dos municípios brasileiros tem a agricultura como principal atividade econômica. Devido a doenças e ervas daninhas, os agricultores utilizam Agrotóxicos para controlar essas pragas. Agrotóxicos são produtos utilizados na agricultura para controlar insetos, doenças, ou plantas daninhas que causam danos às plantações. Os Agrotóxicos também podem ser chamados de defensivos agrícolas ou agroquímicos, mas apesar dos diferentes nomes, todos possuem o mesmo significado. Você foi contratado para analisar e resolver o problema da pulverização de Agrotóxico em um arrozal. O Agrotóxico é pulverizado por aviões em lavouras de arroz, mas nas imediações há moradores, animais e um rio corta a plantação. Quais seriam as consequências de realizar uma aplicação aérea de Agrotóxicos sem um estudo prévio das condições meteorológicas e do entorno dessa pulverização? Pesquise sobre as alternativas para o cultivo de agriculturas sem a utilização de Agrotóxicos ou, pelo menos, para redução de seu uso. Discuta, também, quais as vantagens e desvantagens de cada uma dessas alternativas e decida quais delas você considera mais eficiente para diminuir o uso de Agrotóxicos.

Problema 3 EM e EM/EJA: O desenvolvimento tecnológico contribui de forma significativa para o aumento da produtividade agrícola, elevando a quantidade de alimentos produzida por área cultivada. Esse aumento de produtividade possibilitou uma maior disponibilidade de alimentos para a população. No entanto, a exploração agrícola tem sido a principal responsável pela destruição de áreas verdes, provocando desmatamentos, desertificação de grandes áreas, além do que o uso intensivo de produtos químicos na lavoura tem provocado sérios problemas ambientais. Diante disso, a agricultura orgânica tem aumentado muito no Brasil e tem tido um mercado promissor. O alimento orgânico é originário do reino vegetal e cultivado sob circunstâncias específicas sem uso de Agrotóxicos, pesticidas, hormônios e outros. Pesquise a respeito da agricultura orgânica, seus princípios, suas práticas de cultivo, vantagens, desvantagens etc. Dê um exemplo de controle natural de pragas com

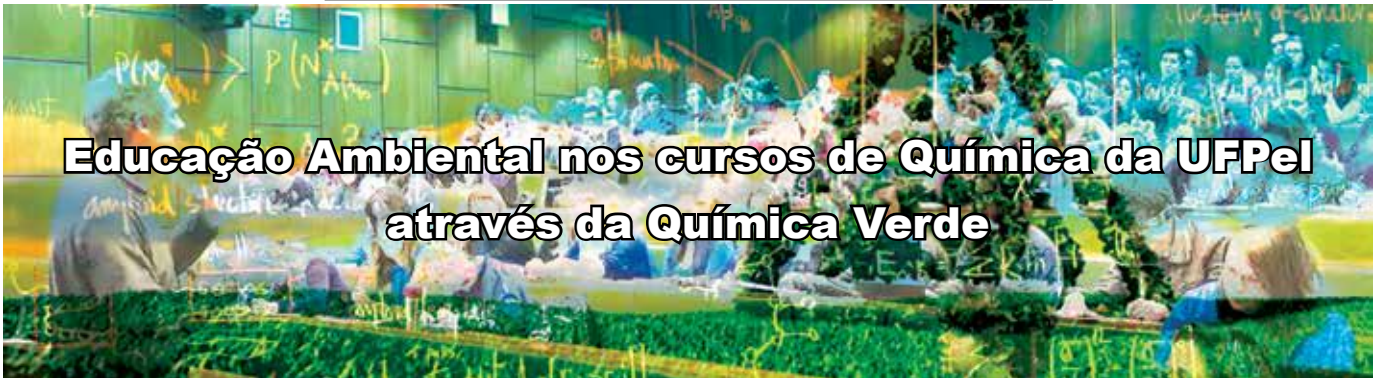
aplicação de conhecimentos químicos e como alternativa para os Agrotóxicos.

Problema 1 TQ: Apesar de toda a evolução da aplicação química na agricultura, um grande problema continua a ameaçar a população mundial: a fome. Cerca de 856 milhões de pessoas, segundo estimativas da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), continuam sem ter acesso à alimentação básica para seu sustento. Além desse problema, outro aflorou na segunda metade do século passado: a degradação do meio ambiente. O cultivo extensivo de monoculturas exigiu o uso indiscriminado de fertilizantes e de agrotóxicos, os quais são responsáveis por grandes alterações no ecossistema, poluindo o solo, contaminando a vida silvestre e a água, além de provocar graves problemas de saúde às pessoas. Você é Técnico em Química e tem como objetivo analisar a quantidade de substâncias tóxicas que estão presentes nos agrotóxicos para, posteriormente, estudar os problemas ambientais que essas substâncias químicas podem causar. Em seus estudos, você está examinando o DDT (diclorodifeniltricloroetano), um exemplo de agrotóxico da classe dos Organoclorados, e suas consequências e verifica que há vestígios de DDT, exemplo de até em focas e pinguins da Antártica, região em que este não foi usado. Explique como os pinguins e as focas podem ter sido contaminados na Antártica. Investigue, também, quais os problemas ambientais (incluindo os danos à saúde) que o DDT e outros agrotóxicos podem causar. Além disso, diante do grande potencial de contaminação dos agrotóxicos, fale sobre os cuidados que o agricultor deve ter ao utilizar essas substâncias químicas.

Problema 2 utilizado TQ: A exploração agrícola tem sido a principal responsável pela destruição das áreas verdes, provocando desmatamentos, desertificação de grandes áreas, além de que o uso intensivo de produtos químicos na lavoura tem provocado sérios problemas ambientais. Diante desse quadro, surge o grande desafio sobre como conciliar produção de alimentos com preservação ambiental. Esse é um debate que suscita dúvidas e posições polêmicas, sobre as quais devemos buscar alternativas. O conhecimento químico tem sido fundamental para esclarecer muitos desses pontos e fornecer subsídios técnicos importantes que devem ser levados em conta com aspectos econômicos, sociais políticos e ambientais na busca de melhores alternativas. Nesse contexto, é fundamental usar técnicas agrícolas que ofereçam manutenção e conservação do solo. A preocupação exagerada com o rendimento financeiro tem provocado práticas agrícolas muito agressivas ao ambiente. Assim, hoje, uma nova consciência precisa ser desenvolvida, a da produção comprometida com o menor impacto ambiental. Busque informações e descreva 4 classes de agrotóxicos, suas características gerais e o uso de cada uma delas. Escreva a estrutura química dos agrotóxicos pesquisados e identifique os grupos funcionais presentes nessas estruturas. Pesquise sobre alternativas para o cultivo da agricultura sem a utilização de agrotóxicos ou, pelo menos, para redução de seu uso.

Problema 3 TQ: Agricultura sustentável pode significar uma agricultura que seja socialmente justa, economicamente viável e ecologicamente equilibrada. Por exemplo, pela implementação de sistemas agroflorestais; a adoção do sistema de rodízio de culturas (quando os nutrientes do solo se tornam insuficientes para determinada lavoura, planta-se outra espécie e, assim, diminui-se o uso de fertilizantes); ou a utilização de inseticidas biológicos (espécies de bactérias ou de insetos que combatem insetos nocivos sem prejudicar a planta). Práticas como essa foram incorporadas pela agricultura orgânica. Agricultura é fonte de desenvolvimento. Reconhecer o valor da natureza e de sua biodiversidade implica buscar o uso sustentável desses recursos. Pesquise a respeito da agricultura orgânica, seus princípios, suas práticas de cultivo, vantagens, desvantagens etc. O cultivo sem o uso de agrotóxicos é o único critério utilizado para definir se um alimento é ou não "orgânico"? Explique.

http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160307



Educação Ambiental nos cursos de Química da UFPel através da Química Verde

Raquel G. Jacob, Márcio S. Silva, Daniela Hartwig e Eder J. Lenardão

Neste artigo é apresentado um breve relato sobre a inclusão e a evolução da Educação Ambiental nos currículos dos cursos de Bacharelado em Química Industrial, Bacharelado em Química e Licenciatura em Química da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), tendo como base a Química Verde e Sustentável. A partir do texto, pode-se evidenciar que a evolução desses cursos se deu não somente pela inclusão de disciplinas voltadas para a Educação Ambiental, mas também pela aplicação desse conceito em atividades de pesquisa e, mais recentemente, pela prática extensionista.

▶ química verde, educação ambiental, currículo ◀

Recebido em 28/11/2021, aceito em 17/03/2022

O ensino de ciências tem se transformado ao longo dos anos, oscilando entre diferentes perspectivas e modelos, acompanhando o desenvolvimento da sociedade. Nesse contexto, podemos perceber diferenças significativas no que se refere tanto ao que é ensinado quanto aos objetivos que pretendem ser atingidos com o objeto de ensino. A necessidade atual compreende a formação de profissionais capazes de atuar coletivamente para enfrentar os desafios e resolver os problemas da sociedade contemporânea (Salgado *et al.*, 2019), que anseia por ações que levem ao desenvolvimento sustentável em todo o planeta.

Desenvolvimento sustentável e sustentabilidade podem ser definidos de diversas formas. No presente artigo usaremos como fundamentação o Relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Relatório de Brundtland, chamado *Nosso Futuro Comum*). A definição mais aceita para desenvolvimento sustentável consiste em atender as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades (UN, 1987).

De acordo com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), espera-se:

> *Construir ao redor do mundo um conjunto de ações que possam ser responsáveis pela extinção da pobreza, auxiliar na proteção do meio ambiente e na manutenção do clima, permitindo que as pessoas possam vislumbrar tranquilidade e prosperidade em todas as localidades* (Organização das Nações Unidas - Brasil, 2021).

[...] apresentaremos aqui um breve relato sobre a inclusão e a evolução da Educação Ambiental nos currículos dos cursos de Bacharelado em Química Industrial, Bacharelado em Química e Licenciatura em Química da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), tendo como base a Química Verde e Sustentável.

Nesse sentido, entendemos que uma das principais ferramentas para responder a esse desafio é a partir da Educação Ambiental, a qual tenha por objetivo a formação de profissionais críticos, altamente qualificados, e que saibam usar o conhecimento adquirido para auxiliar na resolução dos problemas vivenciados.

Nesse contexto, apresentaremos aqui um breve relato sobre a inclusão e a evolução da Educação Ambiental nos currículos dos cursos de Bacharelado em Química Industrial, Bacharelado em Química e Licenciatura em Química da

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

Universidade Federal de Pelotas (UFPel), tendo como base a Química Verde e Sustentável.

A Indústria Química e o Meio Ambiente

A Indústria Química do século XX se desenvolveu utilizando o petróleo, o carvão e o gás natural como fontes de matéria-prima orgânica e de energia, sem se preocupar com a sustentabilidade. O foco era a produção, o controle da poluição e dos resíduos industriais e a prevenção de acidentes (ABIQUIM, 2012). Entretanto, a conferência Rio-92 trouxe um enorme desafio para a química, pois deixou claro que, embora os produtos químicos sejam essenciais para alcançar objetivos sociais e econômicos a nível mundial, era necessário reduzir a produção de resíduos tóxicos ao invés de tratá-los ao final da linha de produção. Para tanto, era necessário utilizar os princípios do desenvolvimento sustentável para trazer benefícios à qualidade da vida humana (Agenda 21, Cap. 19).

No Brasil, por iniciativa da ABIQUIM - Associação Brasileira da Indústria Química, foi criado em 1992 o Programa *Atuação Responsável*, marca registrada da ABIQUIM. Nessa iniciativa, o setor químico brasileiro, de forma voluntária, se comprometeu a realizar ações contínuas para minimizar os efeitos nocivos da atividade química à saúde, à segurança e ao meio ambiente (ABIQUIM, 1992). A importância da segurança dos produtos foi reforçada em 2002, durante a Cúpula Mundial sobre o Desenvolvimento Sustentável (Rio+10), promovida pela ONU em Johanesburgo (ABIQUIM, 2012).

Assim, para que a indústria química do século XXI alcance o desenvolvimento sustentável é preciso haver um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico, o respeito ao meio ambiente e o desenvolvimento humano. Portanto, a aplicação dos princípios da Química Verde se tornou imprescindível para este setor industrial.

Durante os anos 1990, o conceito de Química Verde começou a ser difundido pelo mundo (Linthorst, 2009). A grande popularização ocorreu a partir de 1996, quando foi definida por Anastas e Warner como sendo uma filosofia contendo 12 princípios, caracterizada como "uma nova abordagem para a síntese, o processamento e o uso de produtos químicos que reduza os riscos para os seres humanos e o meio ambiente, além de ser economicamente e tecnologicamente viável" (Anastas & Williamson, 1996; Anastas & Warner, 1998). De acordo com essa filosofia, há um novo direcionamento no que se refere à redução do impacto das atividades químicas ao meio ambiente, no qual a preocupação não está mais restrita ao tratamento dos resíduos gerados, mas sim em como minimizar a sua produção (Lenardão *et al.*, 2003). Nesse contexto, para que se tenha profissionais conscientes e aptos a atuar de acordo com essa filosofia, é de grande relevância que a Química Verde seja incluída no currículo de formação dos futuros profissionais da área da química, permitindo uma ampliação dos tópicos que podem ser explorados no contexto da Educação Ambiental.

[...] para que a indústria química do século XXI alcance o desenvolvimento sustentável é preciso haver um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico, o respeito ao meio ambiente e o desenvolvimento humano. Portanto, a aplicação dos princípios da Química Verde se tornou imprescindível para este setor industrial.

No Brasil, a questão ambiental é tratada no Art. 225 do Capítulo VI da Constituição Federal (CF/1988), o qual determina que "Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações" (Brasil, 1988). Para assegurar a efetividade desse direito, determina o § 1º, inciso VI do mesmo artigo que cabe ao poder público promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e realizar a conscientização pública para a preservação do meio ambiente.

Há na literatura relatos da introdução dos princípios da química verde em disciplinas do ensino superior voltada aos cursos de química (Nardotto e Bernadelli, 2019; Andrade e Zuin, 2021). O artigo de Nardotto e Bernadelli (2019) traz uma revisão dos artigos publicados entre 2002 e 2018 e mostra que, àquela época, havia ainda pouca inserção dos princípios de química verde no ensino e nas estratégias de aprendizagem no Brasil. Esse quadro vem mudando ao longo dos anos, embora, como sinalizado por Andrade e Zuin (2021), ainda haja um caminho a ser percorrido que permita uma abordagem transversal do tema Química Verde na maioria dos currículos de formação de professores e profissionais de química, envolvendo aspectos teóricos e experimentais que levarão a uma alfabetização científica necessária para alcançar o desenvolvimento sustentável.

Educação Ambiental e o Ensino de Química na UFPel

No ensino superior, assim como no ensino fundamental e médio, a Educação Ambiental foi instituída pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional - LDB (nº. 9.394/1996). A Lei nº 9.795/1999 foi regulamentada pelo Decreto nº 4.281/2002, que instituiu a Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA) como componente essencial e permanente da educação nacional em todos os níveis e modalidades do processo educativo. Essa mesma lei, no §1º de seu Art. 10, orienta que "A Educação Ambiental não deve ser implantada como disciplina específica no currículo de ensino" (Brasil, 1996).

Entretanto, houve uma tendência das Instituições de Ensino Superior (IES) em inserir a Educação Ambiental nos currículos dos cursos de Química apenas através de disciplinas de Química Ambiental (Zuin *et al.*, 2009).

Dentro desse contexto, o Curso de Bacharelado e Licenciatura Plena em Química da Universidade Federal

de Pelotas (UFPel), criado em 1997, seguia essa tendência e continha em seu currículo as disciplinas de *Química Ambiental I* e *II*. Conforme mostrado a seguir, mesmo já tendo sido abordada no Art. 225 do Capítulo VI da CF/1988, a sustentabilidade não era o foco dessas disciplinas, que apenas davam ciência sobre as fontes de poluição e seus efeitos no meio ambiente:

Química Ambiental I: "Oportunizar aos alunos discutir a respeito das principais fontes de poluição e seus efeitos, dos aspectos toxicológicos dos compostos químicos e da legislação pertinente aos resíduos e produtos químicos."

Química Ambiental II: "Oportunizar aos alunos discutir temas como qualidade e poluição da água, tratamento de águas residuais e de esgotos, metais pesados e mineração e meio ambiente."

Nos anos 2000, com o interesse das empresas e do meio acadêmico em alcançar uma química sustentável, era necessário investir na formação de profissionais capazes de propor soluções aos desafios impostos à química no século XXI.

Nos anos 2000, com o interesse das empresas e do meio acadêmico em alcançar uma química sustentável, era necessário investir na formação de profissionais capazes de propor soluções aos desafios impostos à química no século XXI.

De acordo com a OECD, como campo da ciência, a *química sustentável* busca aumentar a eficiência com a qual os recursos naturais são utilizados para atender às necessidades humanas por produtos químicos e serviços. Ela engloba o planejamento (cenário), a produção e a utilização de produtos e processos químicos mais eficientes, seguros e benignos ao ambiente (OECD, 2021).

Essa visão representou uma mudança de paradigma na forma de inserir a Educação Ambiental nos cursos de Química da UFPel. Portanto, ao mesmo tempo em que se iniciou a divulgação da Química Verde e de seus doze princípios (Lenardão *et al.*, 2003), na UFPel se iniciou a discussão sobre a introdução desse tema nos currículos existentes e, posteriormente, na criação de novos cursos, com o perfil voltado para a sustentabilidade.

Química Verde na graduação articulada com a pesquisa e a extensão

Em 2002, foi criado o site WWVerde – a página de divulgação da Química Verde no Brasil, institucionalizado como um projeto de extensão e vinculado a docentes do Laboratório de Síntese Orgânica Limpa (LASOL), da UFPel. Esse projeto, ainda vigente, permite a participação de alunos de graduação que atualizam o site com novidades sobre a Química Verde. A partir desse projeto de extensão, os discentes dos cursos de Química da UFPel começaram a ter conhecimento sobre os princípios da Química Verde.

Dois anos depois, foi criada a disciplina eletiva *Introdução* à *Química Verde* (código150059) para o curso de Bacharelado e Licenciatura Plena em Química da UFPel, sendo ofertada pela primeira vez no segundo semestre de 2004. Iniciava-se então, ainda que timidamente, a primeira articulação entre ensino e extensão para o ensino de química sustentável. Essa disciplina tinha como um dos objetivos difundir a filosofia da Química Verde na formação dos alunos de graduação: [o egresso deve] "ter a capacidade de detectar e propor soluções para problemas relacionados a processos que utilizam ou geram substâncias danosas ao ambiente; entender os conceitos básicos da nova filosofia da Química Verde e seus princípios."

Com a separação dos cursos de Bacharelado e Licenciatura em Química em 2005, o novo currículo do Curso de Bacharelado em Química tinha como objetivo "a formação de profissionais com sólida formação nas diferentes áreas da química, além de conhecimento em técnicas de defesa do ambiente." Nessa reformulação, buscou-se introduzir nos novos currículos a visão da sustentabilidade como base para a Educação Ambiental, mas essa temática continuou a ser abordada através das disciplinas obrigatórias de *Química Ambiental I* e *II*, permanecendo a disciplina *Introdução* à *Química Verde* como eletiva. Entretanto, essa discussão foi fundamental para trazer à pauta as várias formas de se abordar as mudanças na Educação Ambiental dos cursos de graduação, colocando a Química Verde no papel central dessa nova abordagem.

Paralelamente, alguns grupos de pesquisa da área de Química Orgânica da UFPel começaram a aplicar os princípios da Química Verde no desenvolvimento de suas pesquisas. O Grupo de Pesquisa LASOL (Laboratório de Síntese Orgânica Limpa), criado em 2003, foi um dos pioneiros na aplicação dos princípios da Química Verde em síntese orgânica no Brasil . Através da pesquisa para o desenvolvimento de metodologias mais limpas para a preparação de compostos organocalcogênios e o uso de matéria-prima de fontes renováveis, o LASOL teve um papel importante para consolidar o ensino da Química Verde nos cursos de Química da UFPel através da pesquisa, uma vez que os alunos da graduação estavam envolvidos nos projetos de Iniciação Científica e interagindo com os alunos da pós-graduação que desenvolviam suas dissertações de Mestrado no grupo.

Esse envolvimento mostrou como a Educação Ambiental nos cursos de graduação e pós-graduação em Química da UFPel estava ocorrendo de forma articulada entre ensino, pesquisa e extensão, onde um eixo estimulava o outro. Mas, para um ensino adequado, ainda faltava a aplicação de forma contínua e transversal ao longo dos currículos dos cursos.

O REUNI e a possibilidade da Educação Ambiental com base na Química Verde

Em 2007, com a participação da UFPel no Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais – REUNI (Brasil, 2007), surgiu a

oportunidade de criar o curso de Bacharelado em Química Industrial, com a formação voltada para o desenvolvimento industrial da Metade Sul do RS, tendo como base a sustentabilidade.

Assim, a criação do Curso de Química Industrial apresentava relevância social para a região. Porém, era necessário um currículo diferenciado, que formasse um profissional para atuar na Indústria Química com a capacidade de ser um agente do desenvolvimento econômico regional, mas ao mesmo tempo atuar como crítico das ações desses setores quanto à preservação ambiental e ser responsável pelo controle de qualidade dos serviços necessários ao bem-estar da população.

O currículo do curso seguiu as orientações do REUNI, tendo um perfil generalista, com carga horária mínima e flexível. O primeiro ingresso do curso ocorreu no segundo semestre de 2008. A proposta inicial do currículo tinha como objetivo geral preparar "bacharéis em Química Industrial qualificados para atuar nos mais variados campos da Indústria Química e correlatas, com ênfase na aplicação da Biotecnologia, da Agroindústria e dos Recursos Renováveis, bem como para a pesquisa e o desenvolvimento nestas áreas e nas diversas áreas da Química."

Essa proposta curricular inicial trazia a disciplina *Química Ambiental e Sustentável* como responsável pelo estudo da química ambiental vinculada à química sustentável. Mas as questões ambientais e sustentáveis deveriam ser abordadas de forma transversal ao longo de todos os núcleos formativos: Núcleo de Formação Específica (NFE), Núcleo de Formação Complementar (NFC) e Núcleo de Formação Livre (NFL). A sustentabilidade seria abordada com mais profundidade em disciplinas como: *Tecnologia de Bioprocessos Industriais*, *Tecnologia de Processos Orgânicos*, *Tecnologia de Processos Inorgânicos* e *Tratamento de Água e Resíduos Industriais*.

Essa proposta curricular inicial trazia a disciplina Química Ambiental e Sustentável como responsável pelo estudo da química ambiental vinculada à química sustentável. Mas as questões ambientais e sustentáveis deveriam ser abordadas de forma transversal ao longo de todos os núcleos formativos: Núcleo de Formação Específica (NFE), Núcleo de Formação Complementar (NFC) e Núcleo de Formação Livre (NFL).

O Núcleo de Formação Livre (NFL), responsável pela flexibilidade curricular, continha cerca de 10% da carga horária total do curso, e era constituído basicamente por disciplinas optativas de escolha livre (OEL) e disciplinas optativas de escolha restrita (OER), além de Atividades Extraclasse.

As disciplinas OER visavam complementar a formação voltada para a sustentabilidade, mas com itinerários acadêmico-formativos distintos, *Agroindústria e Energias Renováveis* ou *Biotecnologia*. O discente poderia optar entre esses dois grupos de formação de acordo com seus interesses de atuação profissional, conforme mostrado no Quadro 1.

Entretanto, em 2010, em atendimento às diretrizes da Pró-Reitoria de Graduação da UFPel, todos os cursos de graduação tiveram que adequar seus Projetos Pedagógicos para que o NFL contemplasse de 10% a 20% da carga horária total do curso, que não poderia conter disciplinas e sim outras atividades de livre escolha do discente (Brito, 2008). Portanto, os cursos de Química Industrial, Bacharelado em Química e Licenciatura em Química tiveram que se adequar a essas recomendações.

Quadro 1. Componentes OER do Curso de Bacharelado em Química Industrial.

Componentes Curriculares Optativos de Escolha Restrita		
Grupo de Formação I: Agroindústria e Energias Renováveis		
Unidade	Disciplina	T-E-P
DCTA/FAEM	Tecnologia Agoindustrial	3-0-0
DQAI/IQG	Tecnologia das Energias Renováveis	2-0-1
DQAI/IQG	Impacto Ambiental na Geração de Energia	2-0-0
Grupo de Formação II: Biotecnologia		
Unidade	Disciplina	T-E-P
DQAI/IQG	Tecnologia Bioinorgânica	2-0-0
DQAI/IQG	Tecnologia Bioorgânica	3-0-0
CENBIOT	Biotecnologia Ambiental	3-0-0

T =créditos teóricos; E = créditos em exercícios; P = créditos em aulas práticas.

O curso de Química Industrial acabou sofrendo maiores mudanças por meio das novas diretrizes, implicando na necessidade de remover os grupos de disciplinas que compunham as OER e redistribuí-los na grade curricular, sem gerar um aumento expressivo na carga horária.

Com essa reformulação, o curso de Química Industrial passou a ter como objetivo geral a formação baseada nos princípios da Química Sustentável, com ênfase na biotecnologia e nos recursos renováveis:

> *O Curso de Química Industrial visa preparar, a partir de um currículo moderno, generalista, com carga horária mínima e flexível, bacharéis em Química Industrial, qualificados para atuar nos mais variados campos da Indústria Química e correlatas, com uma formação baseada nos princípios da Química Sustentável e com* ***ênfase*** *na aplicação da Biotecnologia e dos Recursos Renováveis, bem como para a pesquisa e o desenvolvimento nestas áreas e nas diversas áreas da Química.*

Dentro desse novo perfil formativo, a Iniciação Científica foi introduzida para contabilizar carga horária para a Formação Livre, além de se tornar uma opção para o Estágio

Supervisionado obrigatório. Dessa forma, os discentes poderiam, se assim desejassem, buscar a complementação da formação em sustentabilidade, através da participação nos grupos de pesquisa da UFPel que trabalhavam com os princípios de Química Verde como base para suas pesquisas.

A disciplina *Química Ambiental e Sustentável* foi desmembrada e substituída por duas disciplinas obrigatórias: *Química Verde* (antiga *Introdução à Química Verde*) e *Química Ambiental*, que se tornaram obrigatórias para os três cursos (Industrial, Bacharelado e Licenciatura). Como os cursos têm um único ingresso por ano, sendo a Licenciatura e o Bacharelado no primeiro semestre e a Química Industrial no segundo semestre, essas disciplinas são ofertadas todos os semestres, ou seja, duas vezes ao ano.

Nessa nova abordagem, a disciplina de *Química Verde* passou a constituir a base para a inserção da Educação Ambiental de forma transversal nos demais componentes curriculares dos cursos. Nessa disciplina são abordados o contexto histórico da Química Verde, os doze princípios, as métricas mais utilizadas e exemplos da Química Verde em ação. As atividades avaliativas envolvem resolução de exercícios, elaboração de textos sobre desenvolvimento sustentável e sobre os princípios da química e da engenharia verde. Ao final do curso, os estudantes preparam um artigo e apresentam um breve seminário (máximo de 10 minutos) destacando um dos premiados do "Prêmio Presidencial Desafio da Química Verde", instituído em 1996 pelo governo dos EUA, em conjunto com a USA-EPA (Agência de Proteção Ambiental dos EUA) e a *American Chemical Society* (ACS) (EPA,1996). Os alunos escolhem o tema no início do semestre, no *site* da EPA e o texto é desenvolvido ao longo do curso.

Na nova disciplina *Química Ambiental*, embora sejam abordados os tópicos tradicionais, também são vistos conceitos instituídos pela Química Verde, como a necessidade do desenvolvimento de novos processos que sejam ambientalmente mais adequados, considerando a necessidade de minimizar os resíduos antes de serem produzidos ou, ainda, de reutilizar esses resíduos em outras áreas da indústria, mudando um pouco a concepção de apenas tratar os efluentes gerados a partir dos processos tradicionais. Assim, o objetivo geral dessa nova disciplina passou a ser descrito como:

> *Propiciar aos alunos conhecimentos sobre os compartimentos ambientais – ar, solo e água – do ponto de vista químico e ambiental, permitindo a reflexão e o questionamento a respeito das diversas formas de interação do homem com o meio ambiente e o gerenciamento de resíduos oriundos de diversas fontes, buscando desenvolver uma consciência crítica sobre seu papel como futuro profissional inserido na sociedade.*

Portanto, a disciplina *Química Ambiental* assumiu um papel de destaque para auxiliar na formação de profissionais comprometidos com o meio ambiente, tornando possível atingir as metas estipuladas pelos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Ainda dentro das mudanças implementadas em 2010 nos cursos de Química, a Educação Ambiental é complementada pelos componentes curriculares de formação específica que utilizam os princípios da Química Verde. Essas disciplinas, por serem específicas para cada curso, são ofertadas uma vez ao ano, mas podem ser ofertadas duas vezes quando há demanda.

Ainda dentro das mudanças implementadas em 2010 nos cursos de Química, a Educação Ambiental é complementada pelos componentes curriculares de formação específica que utilizam os princípios da Química Verde. Essas disciplinas, por serem específicas para cada curso, são ofertadas uma vez ao ano, mas podem ser ofertadas duas vezes quando há demanda.

Na Química Industrial, podemos citar *Higiene e Segurança Industrial, Tecnologia de Conversão Energética da Biomassa, Tecnologia de Bioprocessos Industriais* e *Tratamento de* Água *e Resíduos Industriais*, além de outras disciplinas optativas.

A disciplina de *Higiene e Segurança Industrial* tem, entre outros objetivos, desenvolver as habilidades éticas dos profissionais químicos com respeito a seu papel na sociedade. Entre os tópicos discutidos na disciplina está o papel do profissional químico, através de um olhar crítico, na avaliação das fontes dos recursos que podem ser explorados pela indústria química, bem como os impactos da atividade química ao meio ambiente e às pessoas.

A disciplina *Tecnologia de Conversão Energética da Biomassa* permite que o discente tenha uma abordagem atual para a produção sustentável de energia. O ensino no contexto da produção de energia visa garantir que o químico formado tenha a capacidade de avaliar as diferentes formas de obtenção de energia e os impactos gerados, na busca por um desenvolvimento sustentável (Srivastava *et al.*, 2021). Assim, a disciplina tem os seguintes objetivos:

> *Proporcionar aos estudantes conhecimentos sobre as principais tecnologias de conversão energética da biomassa; Importância da biomassa para a produção de energia; Compreender os impactos ambientais sobre a produção de energia; Relacionar os tipos de indústrias com as possibilidades de uso da biomassa; Compreender os fenômenos químicos existentes em cada processo, bem como a estrutura química dos diferentes tipos de biomassa; e Apontar as tendências da bioenergia, as legislações e políticas públicas de incentivo.*

Ainda nessa disciplina, são abordados diversos processos

de conversão de biomassa, incluindo pirólise, gaseificação, biodigestão e a fermentação. Somam-se a esses processos o conhecimento e aplicação dos conceitos de bioeconomia (Sillanpää *et al*., 2017), economia circular e, principalmente, a avaliação do ciclo de vida de um processo (*Life Cycle Assessment*) (Maranghi *et al*., 2020). Este último é essencial para a tomada de decisão sobre a viabilidade da biomassa na produção de energia em substituição à matriz tradicional, ou se aplicada de forma complementar. Um químico com aptidão de ponderar formas alternativas para maximizar a produção de energia, como o emprego de resíduos, é um profissional indispensável na implementação de novas matrizes energéticas.

A disciplina de *Tecnologia de Bioprocessos Industriais* tem como objetivo auxiliar os alunos a compreenderem a importância dos bioprocessos no contexto atual, possibilitando o desenvolvimento de novas rotas para a obtenção de insumos e produtos para indústria a partir de processos mais limpos:

> *Conhecer os princípios básicos relacionados à tecnologia dos bioprocessos microbianos utilizados para produção de substâncias, insumos ou produtos de interesse para as indústrias químicas, farmacêuticas e de alimentos, ou ainda tratamento de seus resíduos, bem como ampliar os conhecimentos obtidos em aulas experimentais e visitas técnicas.*

Ao longo das aulas, são discutidas alternativas mais seguras e eficientes que podem vir a substituir os processos químicos tradicionais, a partir da utilização de recursos renováveis ou pela ação de microrganismos, por exemplo.

A disciplina de *Tratamento de Água e Resíduos Industriais* apresenta um conteúdo central na Educação Ambiental, pois praticamente todas as indústrias de transformação e alimentos produzem um ou mais tipos de resíduos. Além disso, a água está presente na grande maioria dos processos, tanto para a limpeza quanto como matéria-prima, gerando diversos tipos de efluentes industriais. Nesse sentido, essa disciplina exige consolidados conhecimentos em química analítica e, especialmente, em química ambiental, além de estar fortemente conectada com os princípios da Química Verde. Somado a isso, a disciplina ganha cada vez mais destaque por conta dos constantes impactos ambientais e mudanças climáticas ocasionados pelo modelo econômico atual.

A criação do curso de Química Industrial, com um currículo voltado para a sustentabilidade como base para a Educação Ambiental, serviu de inspiração para os demais cursos de química da UFPel, que tornaram a disciplina *Introdução a Química Verde* obrigatória em seus currículos. Além disso, no curso de Bacharelado em Química a sustentabilidade também foi incorporada ao perfil profissional do egresso:

> *O Bacharel em Química formado pela Universidade Federal de Pelotas terá uma formação moderna, flexível e generalista, baseada nos princípios da Química Sustentável. Esse profissional está apto a atuar como pesquisador em órgãos públicos e privados, como professor na educação superior, a realizar estudos de pós-graduação em Química e áreas afins.*

Os componentes curriculares específicos desse curso, como *Química a partir dos Recursos Renováveis, Síntese Orgânica Teórica e Projetos em Síntese Orgânica* complementam essa formação, tendo ainda como optativas as disciplinas ofertadas pelo curso de Química Industrial.

A disciplina *Química a partir dos Recursos Renováveis* foi diretamente influenciada pelo trabalho do Prof. Armin F. Isenmann, do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, CEFET-MG, que disponibilizou na *web* as três edições do livro *Química a partir dos Recursos Renováveis*, de 2012 a 2016 (Isenmann, 2016). O foco da disciplina está na abordagem do uso racional da biodiversidade e o aproveitamento da biomassa como alternativa na produção de matéria-prima para os diferentes setores da indústria química em substituição às fontes fósseis:

> *Fornecer ao aluno uma visão geral da tecnologia orgânica aplicada aos recursos naturais, no contexto do uso racional da biodiversidade, abrangendo o aproveitamento da biomassa renovável tais como: carboidratos, óleos e gorduras e terpenos (óleos essenciais) para a produção de insumos para os diferentes setores da indústria química e correlatas.*

A criação do curso de Química Industrial, com um currículo voltado para a sustentabilidade como base para a Educação Ambiental, serviu de inspiração para os demais cursos de química da UFPel, que tornaram a disciplina Introdução a Química Verde obrigatória em seus currículos.

Nas disciplinas *Síntese Orgânica Teórica* e *Projetos em Síntese Orgânica* a Química Verde aparece explicitamente na ementa e nos objetivos, buscando-se aplicar, sempre que possível, os princípios da Química Verde na síntese orgânica.

Especificamente na disciplina *Projetos em Síntese Orgânica*, a ideia é que os alunos desenvolvam projetos de síntese de produtos voltados a atender à demanda de grupos de pesquisa ou de aulas práticas dos cursos de química. Todos os projetos precisam contemplar alguns dos princípios da Química Verde, como por exemplo o uso de biomassa como matéria-prima, a utilização de fontes alternativas de energia (aquecimento com micro-ondas e irradiação com ultrassom) para acelerar reações químicas. Os alunos são instigados a discutir quais os benefícios ambientais da sua proposta de síntese, confrontando-a com técnicas clássicas de síntese do mesmo produto. Ao apresentar os resultados do projeto, o

estudante apresenta cálculos de métricas de química verde (eficiência atômica, fator E e eficiência de massa) para demonstrar a verdura de sua síntese.

Na Licenciatura em Química, além das disciplinas *Química Verde* e *Química Ambiental*, comuns aos demais cursos, outros componentes curriculares, como *Instrumentação para o Ensino de Química*, *Metodologia da Pesquisa em Educação Química* e a optativa *Meio Ambiente e Desenvolvimento*, contribuem para que a EA esteja inserida na formação docente seguindo a filosofia da química verde. A nova matriz curricular (2021) está organizada para que as ações pedagógicas interdisciplinares e transversais desenvolvidas ao longo do curso levem a Educação Ambiental ao universo da licenciatura a partir de discussões inerentes à formação profissional docente permeadas por discussões voltadas à questão ambiental.

Na disciplina *Instrumentação para o Ensino de Química* o objetivo é desenvolver reflexões e ações como instrumento para a formação de professores de Química. Dentro desse contexto, a EA é abordada através da importância do desenvolvimento de atividades experimentais seguras, experimentos baseados nos princípios da química verde, conscientização da segurança no laboratório e responsabilidade quanto ao descarte e tratamento de resíduos.

A nova matriz curricular (2021) está organizada para que as ações pedagógicas interdisciplinares e transversais desenvolvidas ao longo do curso levem a Educação Ambiental ao universo da licenciatura a partir de discussões inerentes à formação profissional docente permeadas por discussões voltadas à questão ambiental.

Na *Metodologia da Pesquisa em Educação Química* o discente é incentivado a realizar pesquisas sobre a educação escolar e sua relação com Educação Ambiental.

A disciplina *Meio Ambiente e Desenvolvimento* é um componente optativo, ofertado pelo Centro de Engenharias da UFPel, na qual o discente tem a oportunidade de compreender e aprofundar o conhecimento sobre o desenvolvimento sustentável relacionado aos temas ética, meio ambiente e cidadania.

Além dessas mudanças, as demais disciplinas do núcleo básico dos cursos passaram a ter a orientação para abordar em seus conteúdos, sempre que possível, os princípios da Química Verde.

Química verde e a pós-graduação

O Programa de Pós-Graduação em Química da UFPel (PPGQ), criado em 2007, teve papel fundamental para estimular o ensino e a aplicação dos princípios da Química Verde nos cursos de graduação da UFPel. Isso se deu por meio da articulação com as atividades de pesquisas realizadas, principalmente, pelo grupo LASOL com os cursos de graduação, através da Iniciação Científica. Porém, com a criação do nível de Doutorado no PPGQ/UFPel em 2011, passou a ser ofertada a disciplina *Química Verde e Sustentável* (QVSus), estendendo assim o ensino da Química Verde para a pós-graduação (Mestrado e Doutorado). Além da oferta da disciplina, têm se desenvolvido projetos de dissertação e tese no LASOL e em outros grupos do PPGQ, abordando diversos princípios da Química Verde, como catálise, maior eficiência energética, solventes e auxiliares mais seguros, biomassa como matéria-prima renovável e química analítica verde.

A disciplina *QVSus* procura consolidar os conceitos da Química Verde para estudantes que já tiveram contato com o tema na graduação e, também, apresentar a Química Verde para pós-graduandos que ainda não tiveram essa disciplina. Em geral, a disciplina tem sido frequentada por alunos provenientes das quatro linhas de pesquisa do PPGQ-UFPel e de outros cursos de pós-graduação da Universidade. Em *QVSus*, o conteúdo apresentado na graduação é explorado mais a fundo, especialmente no que se refere às métricas de Química Verde. Os estudantes são instigados a repensar seus projetos de pesquisa e suas atividades experimentais através da filosofia da Química Verde. A disciplina possui quatro atividades avaliativas, distribuídas ao longo do semestre: 1) Propor uma modificação em seu projeto de dissertação ou tese que o torne mais verde, ou ambientalmente mais amigável; 2) Detectar um experimento utilizado em aula prática na graduação que utiliza reagentes ou auxiliares perigosos ou tóxicos, ou que gere grande quantidade de resíduos, ou utilize condições reacionais drásticas (aquecimento a altas temperaturas por longo tempo, uso de oxidante forte ou base forte, etc.). Propor um experimento alternativo mais verde, que possa ser usado em substituição ao experimento convencional; 3) Selecionar dois artigos de síntese de fármacos (do mesmo ingrediente farmacêutico ativo). Calcular a Economia de Átomos, o Fator E, o Quociente Ambiental, a Eficiência de Massa da Reação e o Nível de Verdura Atômica. Indicar qual das duas rotas sintéticas avaliadas é mais verde; e 4) Propor um projeto que envolva o aproveitamento de biomassa disponível na região para obtenção de produtos de interesse na indústria de química fina (por exemplo, resíduos agrícolas, da agroindústria ou da indústria de alimentos, entre outros setores). A UFPel é uma das instituições pioneiras no país a inserir na grade curricular de seus cursos de química, na graduação e na pós-graduação, a disciplina de *Química Verde*. Os resultados dessa iniciativa são profissionais químicos conscientes de seu protagonismo na construção de um mundo melhor através da química.

Educação Ambiental no contexto atual

Embora as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental no ensino básico e superior tenham sido determinadas em 2012, através da Resolução CNE/CP nº 02, de 15 de junho de 2012 (Brasil, 2012), somente em 2020 foi realizada a reformulação dos currículos de Química

da UFPel, visando atender não somente essas diretrizes, mas também aquelas relacionadas à curricularização da Extensão Universitária, determinada pela Resolução CNE/CES/MEC 07/2018 (UFPel, 2018). Antes da pandemia causada pelo vírus SARS-CoV-2, havia previsão de implantação dos novos currículos em 2022.

A curricularização das atividades de extensão encontrou em algumas disciplinas de Química um espaço importante para a disseminação do conhecimento acadêmico em prol da sustentabilidade. Para os cursos de Química Industrial, Bacharelado em Química e Licenciatura em Química, que já contemplavam a Educação Ambiental em seus currículos com base na sustentabilidade, de forma transversal e articulada entre a graduação, a extensão e a pesquisa, não houve dificuldades para se adequarem. A curricularização da extensão foi realizada, em parte, acrescentando carga horária de extensão às disciplinas *Química Verde* e *Química Ambiental* nos três cursos, e na Química Industrial também nas disciplinas *Biomassa e Energia* (antiga *Tecnologia de Conversão Energética da Biomassa*) e *Tratamento de* Águas *e Resíduos Industriais*. Uma vez implementado o novo programa das disciplinas, elas oferecerão a oportunidade para os discentes realizarem atividades extensionistas visando difundir a Educação Ambiental e ampliar o seu alcance nas comunidades. Nesse caminho, o envolvimento dos estudantes com a comunidade fará parte de um processo evolutivo, por meio do qual as atividades de extensão poderão proporcionar aos alunos o reconhecimento das interações entre as diversas áreas do conhecimento e a sociedade (Aoki *et al.*, 2021).

A curricularização das atividades de extensão encontrou em algumas disciplinas de Química um espaço importante para a disseminação do conhecimento acadêmico em prol da sustentabilidade. Para os cursos de Química Industrial, Bacharelado em Química e Licenciatura em Química, que já contemplavam a Educação Ambiental em seus currículos com base na sustentabilidade, de forma transversal e articulada entre a graduação, a extensão e a pesquisa, não houve dificuldades para se adequarem.

A disciplina *Química Verde*, por exemplo, passará a ter três créditos, sendo 1 crédito de extensão. Os alunos atuarão no desenvolvimento de material instrucional para divulgação nas plataformas da WWVerde, contribuindo na divulgação da química verde para a comunidade em geral.

Da mesma forma, dois créditos da disciplina *Química Ambiental* serão direcionados ao desenvolvimento de oficinas e palestras pelos estudantes para a comunidade. Dentre as ações planejadas encontram-se aquelas vinculadas à reciclagem e separação adequada de materiais, preparo de adubos orgânicos e técnicas de compostagem, por exemplo.

Na disciplina *Biomassa e Energia* foi desenvolvida uma atividade de extensão que tem por objetivo avaliar a possibilidade de utilizar o óleo de cozinha usado para a produção de biodiesel (Anjos *et al.*, 2020). Através dessa situação problema, os alunos aprendem conceitos sobre economia circular, legislação, análises de biodiesel, entre outros fatores, além de produzir e disseminar esses conhecimentos em sua comunidade. Os conceitos aprendidos se conectam com outras disciplinas, como *Química Ambiental* e *Tratamento de Águas e Resíduos Industriais*, por conta dos impactos gerados pela contaminação com este tipo de resíduo.

Na disciplina *Tratamento de Águas e Resíduos Industriais*, a atividade de extensão ainda está em fase de desenvolvimento, contudo, pelo grande apelo ambiental que representa essa disciplina, as possibilidades de interação com a comunidade são amplas. Além disso, conhecer a estação de tratamento de água local é vital para entender o processo químico como um todo, bem como avaliar os impactos urbanos e industriais gerados pela comunidade da região.

As ações curriculares diretamente relacionadas ao meio ambiente são de extrema importância para a formação de profissionais comprometidos com a preservação da natureza. Entretanto, também se faz necessária a compreensão do papel desses novos profissionais no ambiente de trabalho em que serão inseridos. Assim, algumas disciplinas, embora não tenham em sua gênese a questão ambiental, tiveram inseridas em seus programas discussões sobre as formas de tornar os processos químicos mais eficientes e menos agressivos ao ambiente. Um exemplo é a disciplina *Tecnologia de Recursos Fósseis*, que integra a nova grade curricular da Química Industrial, e na qual foram inseridos alguns dos princípios da Química Verde visando ao desenvolvimento de processos mais sustentáveis. Uma vez que ainda não é possível substituir muitos dos derivados de petróleo, a utilização de fontes não renováveis continuará por anos sendo necessária. Assim, além dos conteúdos relacionados à manufatura de produtos derivados do petróleo, busca-se ensinar aos alunos que a evolução da indústria de transformação passa pela pesquisa visando tornar os processos menos insalubres, mais eficientes e com menor risco ao meio ambiente e ao trabalhador. Dentre as estratégias utilizadas no setor de manufatura, na disciplina *Tecnologia de Recursos Fósseis* se desenvolve o conceito de intensificação de processos, pelo qual se busca diminuir a escala dos processos, mas não a produtividade da indústria, e se usa a estatística no planejamento e otimização de processos industriais, principalmente nas reações químicas, aprimorando o desenvolvimento de novos processos ao mesmo tempo que diminui custos e impactos ambientais (Lendrem *et al.*, 2001).

Considerações Finais

De acordo com o texto apresentado, podemos observar que a *Química Verde* deixou de ser apenas uma disciplina da grade curricular obrigatória dos cursos de química da UFPel. Ela se difundiu pelos demais componentes curriculares através da articulação entre o ensino, a pesquisa e a extensão. Os princípios da Química Verde são ferramentas

que possibilitam a Educação Ambiental de forma transversal, para a formação de profissionais conscientes da sua responsabilidade em manter o equilíbrio entre a preservação do meio ambiente, o desenvolvimento econômico sustentável e o desenvolvimento social. Nesse sentido, entendemos o profissional da área da Química como um sujeito capaz de compreender não apenas os vários processos industriais, mas também seus impactos sobre a sociedade, tornando-se um profissional singular no desenvolvimento sustentável. De modo semelhante, entendemos que na pesquisa, a Química Verde deixou de ser apenas uma área de atuação para se tornar uma nova forma de desenvolvimento, na qual seus princípios estão difundidos em diversas áreas do conhecimento.

Embora não tenha sido realizada, até o presente, a avaliação qualitativa da percepção dos estudantes sobre a forma como a Educação Ambiental é abordada nos cursos de química da UFPel, esta será o próximo passo para que sejam realizados ajustes que tragam melhorias ao currículo. Como docentes dessas disciplinas, entretanto, os autores têm observado uma alteração significativa no perfil dos egressos, contemplando os eixos de ensino, pesquisa e extensão, abordando a química sustentável como um conceito multidisciplinar que, consequentemente, impactou de diversas formas os cursos de graduação e de pós-graduação.

Além da questão da avaliação do impacto junto aos estudantes, há ainda muitos desafios a serem enfrentados no ensino de química sustentável e na química como um todo, começando pela abordagem sistêmica, a qual precisa ser inserida desde a disciplina de química geral. Essa é uma discussão que chegou tardiamente aos cursos de química, através da IUPAC (IUPAC, 2021) e da divisão de ensino da *American Chemical Society* (Mahaffy *et al.*, 2019). A disciplina *Química Verde* tem muito a contribuir para essa abordagem, embora nem sempre o conteúdo ciclo de vida do produto seja absorvido pelos alunos (e por muitos dos colegas professores). Outro aspecto que precisa ser considerado é a discussão da toxicologia dos produtos químicos que, embora seja abordada na disciplina *Higiene e Segurança Industrial*, precisa ser aprofundada e estendida aos outros cursos. Não há como propor soluções para problemas históricos (e recentes) da indústria química sem conhecimento sobre a toxicidade do material com o qual se está trabalhando.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. CNPq e FAPERGS contribuíram com fundos para pesquisa em química verde no grupo LASOL/UFPel.

Raquel Guimarães Jacob (raquel.jacob@ufpel.edu.br), bacharel em Química com atribuições tecnológicas, licenciada em Química e mestre em Química Orgânica pelo IQ da Universidade Federal do Rio de Janeiro, doutora em Química Orgânica pela FFCLRP-USP de Ribeirão Preto. Atualmente é professora Adjunto IV na Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS – BR. **Márcio Santos da Silva** (silva.ms@ufpel.edu.br), bacharel, licenciado e mestre em Química pela Universidade Federal de Pelotas, doutor em Ciências (Química Orgânica) pela USP. Atualmente é professor adjunto na Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS – BR. **Daniela Hartwig** (daniela.hartwig@ufpel.edu.br), licenciada em Química, mestre e doutora em Química pela Universidade Federal de Pelotas. Atualmente é professora Adjunto na Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS – BR. **Eder João Lenardão** (lenardao@ufpel.edu.br), bacharel em Química pela Universidade Estadual de Londrina, mestre em Química pela Universidade Federal de Santa Maria e doutor em Química Orgânica pela FFCLRP-USP de Ribeirão Preto. Atualmente é professor titular na Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS – BR.

Referências

ABIQUIM. *Programa Atuação Responsável*, 1992. Disponível em: https://abiquim.org.br/programas, acesso em nov. 2021.

ABIQUIM. *A trajetória da Indústria Química rumo à sustentabilidade*. Encontro da Indústria para a Sustentabilidade, 2012. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/0a/b6/0ab6ef9f-0374-4389-a07d-97688474c593/20131002174409281773i.pdf, acesso em set. 2021.

Agenda 21. *Manejo ecologicamente saudável das substâncias químicas tóxicas, incluída a prevenção do tráfico internacional ilegal dos produtos tóxicos e perigosos*. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Agenda_21, acesso em abr. 2022.

ANASTAS, P. T. e WILLIAMSON, T. C. Green chemistry: an overview. In: ANASTAS, P. T. e WILLIAMSON, T. C. (Eds.) *Green chemistry*: designing chemistry for the environment. ACS Symposium Series, v. 626, pp. 1-17, 1996.

ANASTAS, P. T. e WARNER, J. C. *Green Chemistry:* theory and practice. Oxford, UK: Oxford University Press, 1998.

ANDRADE, R. S. e ZUIN, V. G. A experimentação na educação em Química Verde: uma análise de propostas didáticas desenvolvidas por licenciandos em Química de uma IES Federal Paulista. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 21, artigo nº e25960, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2021u13171338, acesso em fev. 2022.

ANJOS, R. e SILVA, M. S. Introduction Biodiesel Course: evaluating the quality of waste cooking oil by ^{1}H NMR spectroscopy. *Journal of Chemical Education*, v. 97, p. 3784-3790, 2020.

AOKI, E.; RASTEDE, E. e GUPTA, A. Teaching sustainability and environmental justice in undergraduate chemistry courses. *Journal of Chemical Education*, v. 99, p. 283-290, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00412, acesso em set. 2021.

BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil*: promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm, acesso em set. 2021.

BRASIL. *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*. Lei nº 9.394/1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm, acesso em abr. 2022.

BRASIL – Ministério da Educação. Reuni - *Reestruturação e Expansão das Universidades Federais* – Diretrizes Gerais – Decreto 6.096/2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/decreto/d6096.htm, acesso em abr. 2022.

BRASIL – Ministério da Educação. *Resolução CNE/CP nº 2*,

de 15 de junho de 2012. Estabelece as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/rcp002_12.pdf, acesso em nov. 2021.

BRITO, E. P. Projeto Pedagógico de Curso. *Coletânea Pedagógica*: caderno Temático nº 1. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2008, 24p.

EPA (Environmental Protection Agency) – USA. *Green Chemistry Challenge Winners*, 1996. Disponível em: https://www.epa.gov/greenchemistry/green-chemistry-challenge-winners, acesso em nov.2021.

ISENMANN, A. F. *Química a partir de recursos renováveis*. Timóteo-MG: edição do autor, 2016. Disponível em: https://docplayer.com.br/71343359-Quimica-a-partir-de-recursos-renovaveis-armin-franz-isenmann-quimica-a-partir-de-recursos-renovaveis-3-a-edicao.html, acesso em set. 2021.

IUPAC. Learning objectives and strategies for infusing systems thinking into (post)-secondary General Chemistry education. Disponível em: https://iupac.org/projects/project-details/?project_nr=2017-010-1-050, acesso em nov. 2021.

LENARDÃO, E. J.; FREITAG, R. A.; DABDOUB, M. J.; BATISTA, A. C. F. e SILVEIRA, C. C. "Green Chemistry" – Os 12 Princípios da Química Verde e sua inserção nas atividades de ensino e pesquisa. *Química Nova*, v. 26, p. 123-129, 2003.

LENDREM, D.; OWEN, M. e GODBERT, S. DoE (Design of Experiments) in development industry: potential obstacles. *Organic Process Research & Development*, v. 5, p. 324-327, 2001.

LINTHORST, J. A. An overview: origins and development of green chemistry. *Foundations of Chemistry*, v. 12, p. 55-68, 2009.

MAHAFFY, P. G.; HO, F. M.; HAACK, J. A. e BRUSH, E. J. (Eds.). Reimagining chemistry education: systems thinking, and green and sustainable chemistry. *Journal of Chemical Education*, v. 96, p. 2679-3044, 2019.

MARANGHI, S. e BRONDI, C. (Eds). *Life Cycle Assessment in the chemical product chain: challenges, methodological approaches and applications*. Switzerland: Springer Nature, 2020. Disponível em: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-34424-5, acesso em set. 2021.

NARDOTTO, R. S. e BERNADELLI, M. S. A química verde como encaminhamento metodológico de ensino e aprendizagem no Brasil. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, v. 8, p. 82-98, 2019. Disponível em: https://www.nucleodoconhecimento.com.br/quimica/quimica-verde, acesso em fev. 2022.

OECD - Organization for Economic Cooperation and Development. *A Definition of Sustainable Chemistry*. Paris, 2021. Disponível em https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/sustainablechemistry.htm, acesso em fev. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS –BRASIL. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil*. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs, acesso em out. 2021.

SALGADO, T. D. M.; MOÇO, M. C. C. e SILVA, M. T. X. Interfaces disciplinares no ensino de ciências: uma perspectiva docente. *Química Nova na Escola*, v. 41, p. 200-209, 2019.

SRIVASTAVA, N.; SRIVASTAVA, M.; MISHRA, P. K. e GUPTA, V. K. (Eds). *Bioprocessing for Biofuel Production:* strategies to improve process parameters. Singapore: Springer Nature, 2021. Disponível em: https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-15-7070-4, acesso em set. 2021.

SILLANPÄÄ, M. e NCIBI, C. *A Sustainable Bioeconomy:* the green industrial revolution. Switzerland: Springer Nature, 2017. Disponível em: https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-319-55637-6, acesso em set. 2021.

UFPel. Resolução COCEPE nº 42 de 18 de dezembro de 2018 - *Regulamento da curricularização das atividades de extensão nos cursos de graduação da Universidade Federal de Pelotas* – UFPel e dá outras providências. Disponível em: https://ccs2.ufpel.edu.br/wp/wp-content/uploads/2019/02/Resolucao-42.2018-COCEPE.pdf, acesso em set. 2021.

UN – World Commission on Environment and Development, *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. New York: UN, 1987. Disponível em: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf, acessado em abr. 2022.

ZUIN, V. G.; FARIAS, C. R. e FREITAS, D. A ambientalização curricular na formação inicial de professores de Química: considerações sobre uma experiência brasileira. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 8, p. 552-570, 2009.

Sites dos Cursos de Química da UFPel

Química Industrial: https://wp.ufpel.edu.br/quimicaindustrial/coordenacao-do-colegiado-2/projeto-pedagogico/

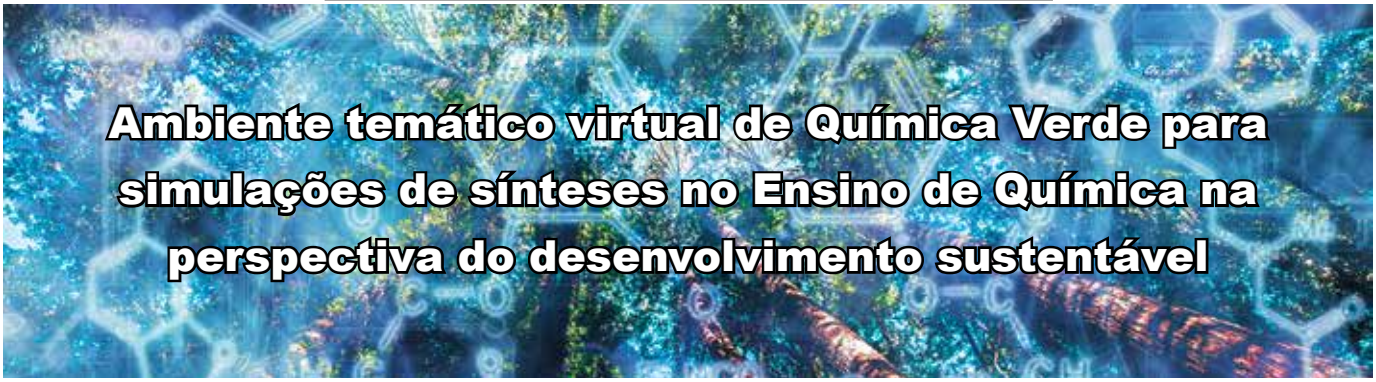
Bacharelado: https://wp.ufpel.edu.br/bachareladoemquimica/projeto-pedagogico/

Licenciatura: https://wp.ufpel.edu.br/licenciaturaquimica/files/2021/12/Oficial-Coord-PPC-Lic-Qui.pdf

Abstract: *Environmental Education in the Chemistry courses of UFPel through Green Chemistry.* This paper describes a brief report on the inclusion and evolution of Environmental Education in undergraduate chemistry courses (Industrial, Bachelor and Teaching Chemistry) at the Federal University of Pelotas (UFPel, Brasil), having Green and Sustainable Chemistry as a background. It is evidenced that the evolution occurred not only through the inclusion of disciplines focused on Environmental Education, but also by the application of this concept in research activities, and more recently, by means of extension practices.
Keywords: Green Chemistry, Environmental Education, Curriculum.

A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160308



Ambiente temático virtual de Química Verde para simulações de sínteses no Ensino de Química na perspectiva do desenvolvimento sustentável

Patricia L. Rüntzel e Carlos Alberto Marques

Este trabalho apresenta o processo de construção, o formato, os conteúdos e as várias funções de um Ambiente Temático Virtual de Química Verde. Sua construção emergiu nos encontros do Grupo de Investigação no Ensino de Química/UFSC e teve o apoio de estudantes bolsistas da área de design e de programação. Contém simulações de sínteses químicas visando à análise da verdura química por meio da métrica holística Estrela Verde, empregando uma calculadora de massa molecular e dados extraídos de fichas de segurança de substâncias químicas. É uma espécie de laboratório virtual para uso de professores, estudantes do Ensino Médio e da graduação em Química. O ambiente virtual está metodológica e didaticamente estruturado numa perspectiva de cuidados com o ambiente e da sustentabilidade (ambiental), problematizando aspectos referentes à segurança física e ambiental de processos químicos, contribuindo assim, aos objetivos de uma Educação para o Desenvolvimento Sustentável.

▶ **a**mbiente temático virtual, ensino da química verde, objetivos para o desenvolvimento sustentável ◀

Recebido em 13/10/2021, aceito em 29/03/2022

Acontecimentos relacionados à crise ambiental, a exemplo de mudanças climáticas, poluição química e desmatamento em florestas brasileiras[1], têm reforçado a urgência de se tomarem medidas voltadas à proteção ambiental nas mais distintas esferas da vida. Produto das ações humanas sobre a natureza, a crise ambiental está fundamentalmente associada à dinâmica social, ou seja, se estrutura nas formas pelas quais construímos e garantimos as condições de nossa subsistência.

É nessa perspectiva e contexto que uma educação científica e tecnológica (ECT) tem importante função, em especial a educação química com visão humanística (crítica e reflexiva)[2] (Sjöström e Talanquer, 2014), ao enfatizar as incertezas na geração e aplicação do conhecimento e envolver os alunos na reflexão sobre a natureza e o conhecimento da química. Edificada em processos formativos visando à conscientização, o exercício da cidadania para a tomada de decisões individuais e coletivas, a ECT crítica deve buscar problematizar as causas, as consequências e as soluções à crise ambiental, numa busca incessante pela sustentabilidade[3] das várias formas de vida. Nesse sentido, a sustentabilidade também incorpora as noções de circularidade, bioeconomia e pensamento sistêmico no currículo de química, contribuindo para os estudantes compreenderem os conceitos químicos a partir de uma visão contextual (Zuin e Kümmerer, 2021). Ainda no que tange à ECT, essa perspectiva de educação se insere em sentido mais amplo no que preconiza a UNESCO (2005) sobre o seu papel em promover mudanças de comportamentos necessários para o alcance de um futuro mais sustentável, sendo orientada pelos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (17 ODS)[4,5].

Abordar os problemas socioambientais no Ensino de Ciências/Química significa, então, buscar compreender os fatores que determinam os limites biogeofísicos da natureza e a influência do modo de vida e de produção da sociedade capitalista nesses limites.

Abordar os problemas socioambientais no Ensino de Ciências/Química significa, então, buscar compreender os fatores que determinam os limites biogeofísicos da natureza e a influência do modo de vida e de produção da sociedade capitalista nesses limites. Compreender a existência dessas relações implica reconhecer que os desastres ambientais são consequências de decisões que se fundamentaram, geralmente, a partir de uma lógica econômica atrelada ao

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

racionalismo técnico, cujas soluções de interesse e necessidades imediatas tendem a desconsiderar o bem-estar das futuras gerações. Isso desafia e limita o alcance da sustentabilidade e do Desenvolvimento Sustentável (DS) como apregoado no "Relatório Brundtland" (WCED, 1987).

Portanto, uma sociedade que efetivamente se preocupa com a sustentabilidade necessita transcender as razões puramente econômicas e soluções puramente técnicas na mitigação da degradação ambiental. O ponto de partida é o envolvimento de diferentes sujeitos, interesses e áreas do conhecimento no debate científico e tecnológico e nos processos de tomada de decisões em políticas públicas de desenvolvimento.

No âmbito da Química, por vezes vista como a vilã dos problemas ambientais, a tomada de consciência (Chamizo, 2011, 2017) e a revisão de processos e produtos poluentes e/ou tóxicos emergiram na década de 1990, no contexto americano, por meio da Química Verde (QV) (Anastas e Warner, 1998). Foi uma resposta proativa, com o escopo inicial de prevenção da poluição, mas que ao longo do tempo foi se ampliando – hoje a QV está com mais de 30 anos – através do desenvolvimento de rotas sintéticas e de produtos químicos inerentemente seguros, por meio da substituição de reagentes tóxicos por outros menos prejudiciais, da redução do consumo de energia, da catálise verde e do uso de biomassa ou materiais renováveis.

A QV, enquanto campo de pesquisas e de práticas químicas cresceu muito e a divulgação de seus estudos em periódicos e eventos internacionais traz novos e variados conhecimentos (Marques e Machado, 2018). Outro aspecto que se considera nas discussões, a respeito da natureza da QV, refere-se ao fato dela ser mais transformativa que incremental (Anastas e Eghbali, 2010). Em uma análise de 286 publicações do *Journal of Chemical Education* (JCEd) direcionadas ao ensino da QV, Marques *et al.* (2020) destacaram certa reprodução do modelo tradicional de ensino de Química e propostas de inserções pontuais da QV, podendo refletir uma tendência "[...] para a aplicação de práticas verdes incrementais, em vez de uma transformação substantiva das atividades" (p.1520, tradução nossa). É nesse contexto que algumas pesquisas consideram fundamental, e um diferencial da QV, o emprego das métricas de verdura química, em especial as métricas holísticas. Um exemplo de métrica holística é a Estrela Verde (EV) (Ribeiro *et al.*, 2010; Ribeiro *et al.*, 2014; Ribeiro e Machado, 2013; Duarte *et al.*, 2015) que, além de ser uma métrica para avaliação da verdura química de reações de sínteses, também é uma ferramenta pedagógica importante no ensino da Química e da QV.

[...] considerando uma perspectiva didático–pedagógica da QV e de questões associadas à Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS), este artigo descreve o desenvolvimento e aplicações de um ambiente virtual, intitulado "Ambiente Temático Virtual de Química Verde" (ATV-QV), hospedado na página do Laboratório de Divulgação Científica em Química (Quimidex). Sua utilização pode contribuir para a inserção de elementos tecnológicos nos processos de ensino, além de conteúdos e atividades químicas na perspectiva ambiental.

Assim, considerando uma perspectiva didático–pedagógica da QV e de questões associadas à Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS), este artigo descreve o desenvolvimento e aplicações de um ambiente virtual, intitulado "Ambiente Temático Virtual de Química Verde" (ATV-QV), hospedado na página do Laboratório de Divulgação Científica em Química (Quimidex). Sua utilização pode contribuir para a inserção de elementos tecnológicos nos processos de ensino, além de conteúdos e atividades químicas na perspectiva ambiental. O ATV-QV apresenta ainda vantagens no que diz respeito a estudos nos quais há risco no manuseio de reagentes de alta toxidade e de atenuação na geração de resíduos provenientes de atividades experimentais.

Para fins de concretização do presente trabalho, faz-se a seguir uma breve discussão sobre DS/EDS e sobre as métricas de verdura química, com ênfase na fundamentação e construção da métrica holística EV. Em seguida, mostra-se a construção, funções e os caminhos a serem percorridos no ATV-QV. Por fim, apresentam-se as considerações finais.

Desenvolvimento Sustentável e o ensino de Química

Para o Relatório Brundtland, DS "é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades" (CMMA, 1991, p.46). Portanto, a economia, a ecologia e a sociedade representam os três pilares do modelo mais propagado de DS (Burmeister *et al.,* 2012). Segundo Bellen (2002, p.10), o "foco do conceito está centrado na integridade ambiental e apenas a partir da definição do *Relatório Brundtland* a ênfase desloca-se para o elemento humano, gerando um equilíbrio entre as dimensões econômica, ambiental e social".

Portanto, DS é um conceito-força que nos desafia e impulsiona para buscar seu alcance, mas que ao mesmo tempo suscita contradições desafiadoras. Melo (2006) aponta que sua adoção "[...] não faz uma crítica contundente à forma social de produção contemporânea, tampouco aos países industrializados centrais" (p.19). E que "no sistema capitalista de produção, a racionalidade econômica, aliada à visão de mundo pragmática utilitarista dominante, vem produzindo e reproduzindo justamente um (des)envolvimento que é insustentável" (idem, p.79).

É nesse âmbito que a educação, tanto formal como a não formal, assume papel fundamental na promoção de mudanças de atitudes e práticas, individuais e coletivas, visando o DS (UNCED, 1992). Para tanto, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, realizada no Rio de Janeiro em 1992, lança a Agenda 21 – um

documento assinado por 179 países, que descreve – no capítulo 36 – as bases de ação para orientar a construção de um ensino voltado ao DS (UNCED, 1992). E, em 2002, por meio da Resolução 57/254, a ONU estabelece a "Década da Educação para o Desenvolvimento Sustentável" (2005-2014) e a UNESCO como principal agência para sua implementação. O objetivo geral da EDS é "integrar os princípios, valores e práticas do desenvolvimento sustentável em todos os aspectos da educação e aprendizagem" (UNESCO, 2005, p.6, tradução nossa). Uma EDS deve, então, balizar-se pelos 17 ODS[6,7], dentre os quais, destaca-se o ODS-4 referente à qualidade de educação, buscando-se garantir a educação inclusiva, de qualidade e equitativa, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos e o ODS-9 referente à promoção de inovações e uma industrialização de forma sustentável (ONU, 2015).

Os desafios do DS indicam a necessidade de mudanças políticas, econômicas, sociais, culturais e de uma nova ética em relação ao ambiente. É nesse contexto que a educação assume papel importante, em particular a educação química, orientada pelos 12 Princípios da QV (12P) (Anastas e Warner, 1998).

Tais orientações se fizeram sentir, inclusive com reflexos à educação química. Burmeister *et al.* (2012) ressaltam a importância da educação química para a promoção do DS, propondo quatro modelos para uma abordagem baseada nos princípios da EDS. O modelo 1, por exemplo, aborda a aplicação dos Princípios da QV no trabalho de laboratório de ciências.

A relação da química, em especial da QV, com o DS é discutida por Machado (2004), segundo o qual isso já se evidenciava em 2003 na "Declaração de Tóquio", divulgada durante a Primeira Conferência sobre Química Verde e Sustentável e no workshop *Sustainable Chemistry Integrated Management of Chemicals, Products and Processes*, realizado na Alemanha em 2004. Posteriormente, Machado (2011) ressalta as dificuldades de se compatibilizar a prática da química industrial com o DS, destacando que são diversos os problemas ambientais gerados pelos processos de fabricação e utilização dos produtos químicos, contribuindo para o consumo de matérias-primas não renováveis e produção de grandes quantidades de resíduos. Segundo Eilks e Zuin (2018), a QV pode ser compreendida como uma ferramenta científica, técnica e prática para o alcance da Química Sustentável, assegurando que os objetivos sejam alcançáveis tecnicamente. Já a Química Sustentável expande o propósito da QV para os aspectos sociais, econômicos e ambientais.

Os desafios do DS indicam a necessidade de mudanças políticas, econômicas, sociais, culturais e de uma nova ética em relação ao ambiente. É nesse contexto que a educação assume papel importante, em particular a educação química, orientada pelos 12 Princípios da QV (12P)[8] (Anastas e Warner, 1998). Esses princípios serão abordados na próxima seção, incluindo o tema da avaliação dos processos químicos através das métricas.

Os Princípios da Química Verde inseridos na métrica holística Estrela Verde: uma análise integral de processos químicos

Desde sua emersão, a pesquisa acadêmica e industrial em QV, com ênfase na prevenção ambiental, busca encontrar alternativas aos processos de fabricação e uso de produtos químicos e, por conseguinte, diminuir os impactos da Química no meio ambiente (Marques e Machado, 2021), onde os 12P da QV têm servido como um conjunto de regras para orientar os químicos na busca pela sustentabilidade (Anastas e Eghbali, 2010). Para Anastas e Eghbali (2010), o *design* é o ponto forte da QV. Nesse sentido, o *design* é "[...] uma declaração da intenção humana e não se pode fazer o *design* por acidente. Inclui inovação, planejamento e concepção sistemática" (p. 301, tradução nossa). Segundo Machado (2014), a busca por processos mais eficientes e benignos, fez emergir o conceito de verdura química e "[...] com isso a necessidade de avaliar, tão quantitativamente quanto possível, a benignidade (ou a sua falta!) de reações e vias de síntese, processos químico-industriais, etc" (p.231).

O conceito de verdura química, como diferencial para práticas químicas não poluentes, permite avaliar e facilitar a escolha para processos mais limpos e benignos em relação ao meio ambiente. Por meio de uma série de parâmetros, como a massa dos componentes de uma síntese química, é possível quantificar, ao menos parcialmente, o impacto ambiental de um processo químico desenvolvido no laboratório ou na indústria (Calvo-Flores, 2009).

Tradicionalmente, três métricas são utilizadas pela indústria Química para medir a eficiência das reações químicas (no sentido de fazê-las melhor): rendimento, seletividade e econômica (Machado, 2014). As métricas de rendimento e seletividade são de massa, obtidas por cálculos estequiométricos. A métrica econômica avalia se o produto pode ser preparado e vendido com lucro econômico, com base nos custos dos reagentes e no seu preço de venda (Machado, 2007; 2014). Porém, essas medidas são inadequadas para avaliar o problema da produção de resíduos químicos. Avaliar a produção de resíduos não é um objetivo de fácil alcance, tendo em vista a complexidade envolvida nas reações químicas, o que requer uma mudança de paradigma na avaliação da eficiência do uso de átomos nas mesmas (Machado, 2007, 2014).

Assim, para se quantificar o impacto ambiental de processos ou sínteses químicas, diversas variáveis devem ser consideradas (Mercer *et al.*, 2012). Por exemplo, na avaliação da minimização dos resíduos, pode ser utilizada as métricas de massa da QV, como o Fator E e a de intensidade de massa[9] (Machado, 2014). Já na consideração dos perigos e riscos intrínsecos no uso das substâncias químicas são necessárias outras métricas, relacionadas à aferição da benignidade

ambiental de produtos e processos de fabricação, à avaliação na utilização de substâncias tóxicas e perigosas e ao consumo de recursos naturais (Machado, 2014). As métricas de massa abrangem os dois primeiros princípios da QV (P1; P2), enquanto as métricas ambientais respondem ao cumprimento de vários outros princípios (P3, P5, P7, P8, P9, P10 e P12). Também existem as métricas energéticas, que avaliam a eficiência energética de um processo e abrangem o P6 (Machado, 2014).

Desta forma, é necessário o emprego de métricas abrangentes e que forneçam uma avaliação holística da verdura química dos processos. Um bom exemplo é a EV, uma métrica de natureza gráfica e holística. A métrica engloba o máximo possível dos 12P da QV na avaliação da verdura química. Tendo em vista sua representação gráfica, que possibilita comparar facilmente a verdura dos processos, a métrica foi nomeada como EV (Ribeiro *et al*., 2010; Ribeiro *et al*., 2014).

> O conceito de verdura química, como diferencial para práticas químicas não poluentes, permite avaliar e facilitar a escolha para processos mais limpos e benignos em relação ao meio ambiente.

A partir da EV é possível "escolher" as reações mais "verdes", identificando as modificações necessárias nos roteiros experimentais (Ribeiro *et al*., 2010), dado que as alterações nos parâmetros de uma experiência química afeta ou altera as relações com os 12P da QV, visando melhorar o grau de verdura de determinado processo em estudo (Ribeiro *et al*., 2010; Ribeiro *et al*., 2014). Assim, a representação gráfica da EV permite a análise visual do cumprimento de cada princípio da QV, logo, quanto mais verde (cor) for o gráfico, maior o grau de verdura química (Ribeiro *et al*., 2014).

A EV é construída de acordo com os critérios de avaliação de cada um dos 12P da QV, cada qual recebe uma pontuação durante a análise. A pontuação 1 é atribuída para a atividade experimental que não apresenta nenhum grau de verdura química (casos *malignos* ou *vermelhos*). A pontuação 2 significa moderadamente verde, sendo aceitável, embora com algumas restrições e a pontuação 3, quando plenamente verde, representando casos ideais de atividades experimentais (Machado, 2014).

O processo de construção da EV começa com a análise do protocolo experimental (Ribeiro e Machado, 2013):

- Reagentes estequiométricos em excesso (a informação é usada para avaliar o cumprimento do princípio P2);
- Condições de pressão e temperatura (cumprimento de P6);
- Perigos à saúde humana e ao meio ambiente (P1, P3, P5 e P9) e de potenciais acidentes químicos (P12) de todas as substâncias envolvidas (matérias-primas/insumos, produtos, subprodutos, solventes e outras substâncias auxiliares como reagentes catalíticos, solventes, agentes de separação, etc.) e resíduos;
- Renovabilidade de matérias-primas e tendência para se decompor em produtos de degradação inócuos (P7 e P10);
- Uso de derivatizações (P8) (Ribeiro e Machado, 2013, p.433, tradução nossa).

Os princípios P4 e P11 não são avaliados na EV, "[...] já que no ensino não se costuma realizar a concepção de novos produtos químicos, à qual estes princípios se aplicam" (Ribeiro *et al*., 2010, p.760). A avaliação dos riscos à saúde humana, ao meio ambiente e de possíveis acidentes químicos das substâncias em análise, ocorre através dos códigos de advertência de perigo, que possuem pontuação 3, 2 e 1 para cada substância, correspondendo respectivamente a um risco alto, moderado e baixo (Ribeiro *et al*., 2014). Os códigos de advertência de perigo das substâncias envolvidas na análise devem ser consultados na Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ) (em inglês, *Safety Data Sheet*, SDS ou *Material Safety Data Sheets*, MSDS). Nas fichas de segurança também é possível encontrar informações sobre a renovabilidade e degradabilidade (Ribeiro *et al*., 2014).

Para comparação de diferentes EVs realiza-se o cálculo do Índice de Preenchimento da Estrela (IPE). O IPE é um valor numérico que expressa à área verde da EV. Para tanto, calcula-se a razão entre a área verde da Estrela e área verde da Estrela de verdura química máxima, expressa em porcentagem: IPE: *100 (área verde da estrela / área verde da estrela de verdura química máxima).* Este valor varia entre 100 (correspondendo a verdura máxima) e 0 (zero) (verdura mínima) (Ribeiro *et al*., 2014).

Na próxima seção, apresenta-se o ATV-QV e a operacionalização dos 12P da QV com a construção das EVs para reações químicas de síntese.

A construção e funções do Ambiente Temático Virtual de Química Verde

A proposta do ambiente virtual, aqui apresentada, tem a pretensão de constituir-se como apoio e complemento ao desenvolvimento de atividades experimentais no tocante às rotas de sínteses mais seguras, tanto à saúde dos estudantes quanto ao meio ambiente. Portanto, não visa substituir o laboratório físico e tampouco desconsiderar as dificuldades de se realizar atividades experimentais, num contexto de poucos laboratórios ou mesmo a ausência de materiais (reagentes, vidrarias e inadequação dos espaços, por exemplo) (Silva *et al*., 2010).

De acordo com Fiolhais e Trindade (2003), existem experiências que são muito caras, muito perigosas, muito lentas ou rápidas de acontecerem, o que dificulta a sua realização. Guaita (2020) aponta algumas vantagens de se utilizar as tecnologias digitais, como simuladores e vídeos, em situações associadas à experimentação no ambiente escolar: às questões de segurança, como as que envolvem a manipulação de reagentes químicos, a questão ambiental, como a geração e descarte incorreto de resíduos químicos, a acessibilidade, a modificação de parâmetros variados em um simulador além do melhor gerenciamento do tempo.

Ou seja, há certo reconhecimento sobre a necessidade de usufruirmos de recursos tecnológicos no ensino, porém, o fazendo de modo crítico e não substitutivo.

No ATV-QV há um espaço para a construção de EVs, processo que possibilita o contato com múltiplas informações sobre questões ambientais. Esse ambiente também possui material de apoio, contendo sugestões de conteúdos de química, que podem ser abordados e relacionados aos princípios da QV. O ATV-QV analisa o uso de substâncias tóxicas em diferentes reações químicas em laboratórios e/ou indústrias. Para fazer isso, ATV-QV foi organizado de modo a oferecer exemplos de simulações de rotas de sínteses químicas, as quais contêm as seguintes características fundamentais:

- Apresenta um problema inicial, como linha de condução para o processo de investigação sobre a verdura química, através da construção da métrica holística EV;
- Fomenta reflexões sobre o uso de substâncias tóxicas em diferentes reações químicas em laboratórios e/ou indústrias prejudiciais ao ambiente;
- Instiga a identificação de rotas "mais verdes" e, consequentemente, com menor impacto ambiental;
- Trabalha aspectos de segurança física, ambiental e laboratorial.

Já disponível no site do QUIMIDEX, o ATV-QV oferece como exemplares os tópicos e atividades: a síntese de um éster de aroma de fruta: *banana;* a síntese de um combustível alternativo: *biodiesel;* a síntese de um produto de limpeza: *sabão*; e a síntese do precursor do nylon: ácido adípico. Na investigação de cada tema são trabalhadas as reações químicas de síntese correspondentes, variando-se os componentes da reação para que o usuário promova a simulação através de uma calculadora molecular[10] – um programa por nós construído e disponibilizado no ATV-QV, que teve como referência em sua construção o Portal Educa[11]. Fazendo-se isso é possível obter um resultado (produto de síntese) o qual será "metrificado" via a EV. Ou seja, alterando os parâmetros de uma reação química de síntese, a exemplo dos catalisadores, é possível comparar qual rota é a mais verde, através da EV. Portanto, será o usuário que irá construir e avaliar as reações químicas, parametrizadas pelos 12P da QV, "construindo" a métrica (gráfica) holística EV.

Com essa ferramenta os alunos podem estudar previamente os roteiros experimentais e avaliar o esverdeamento químico do experimento, antes mesmo de sua realização no laboratório (Duarte *et al*., 2015). Gonçalves e Brito (2014) afirmam que a análise por meio da EV:

> [...] *pode ser realizada como atividade didática com os alunos para favorecer a reflexão em torno dos experimentos aos quais são submetidos ou para aprenderem a avaliar as sugestões de experimentos do ponto de vista "ambiental". Em outros termos, não obrigatoriamente as atividades experimentais precisam ser desenvolvidas, pois a própria análise é uma forma de estudar Química e acerca da experimentação e outros conteúdos* (Gonçalves e Brito, 2014, p. 39).

Além disso, o processo de construção e análise da EV pode envolver os alunos em um processo de tomada de decisão com maior responsabilidade (Duarte *et al*., 2015). Ribeiro e Machado (2012) destacam as vantagens que podem ser alcançadas pelo uso das métricas holísticas no ensino de Química:

> [...] *permite criar facilmente situações de utilização dos princípios da QV, aprofundando a sua compreensão; dá uma visão da necessidade de usar abordagens holísticas na prática da QV e de utilização de instrumentos que permitam a confirmação de um aumento global da verdura, quando se fazem alterações com essa intenção e, ajuda a interiorizar na mente dos alunos uma atitude proativa para facilitar a transformação da Química numa QV e sustentável"* (Ribeiro e Machado, 2012, p.1883).

Portanto, o uso da EV enquanto métrica holística, além de possibilitar a avaliação do grau de verdura química de reações de síntese, contribui para a inserção de questões associadas ao DS no ensino de Química, por meio da análise aprofundada de processos químicos e seus efeitos socioambientais.

Conhecendo os caminhos a serem percorridos no Ambiente Temático Virtual de Química Verde

Ao visitar o ATV-QV, os usuários (professores, alunos e público em geral) são apresentados à interface inicial. O formato dessa interface é composto por um banner, conforme Figura 1, seguida de um texto introdutório e de um diagrama contendo diversos ícones.

Ao entrar na página do ATV-QV, o visitante poderá escolher e iniciar a simulação[12] ao clicar no botão "Faça aqui a sua SIMULAÇÃO", conforme ilustração da Figura 1. Os ícones que circundam esse botão trazem informações diversas relacionadas à QV.

Após escolher o ícone "Faça aqui a sua SIMULAÇÃO", o visitante é direcionado para a página "Construindo a Estrela Verde" (Figura 2). Na interface dessa página, se apresentam as simulações que podem ser investigadas a partir da escolha de um tema: aroma de banana, biodiesel, sabão e

[...] o uso da EV enquanto métrica holística, além de possibilitar a avaliação do grau de verdura química de reações de síntese, contribui para a inserção de questões associadas ao DS no ensino de Química, por meio da análise aprofundada de processos químicos e seus efeitos socioambientais.

Figura 1: Representação da interface inicial do ATV-QV.

ácido adípico (nylon), cada qual com sua página específica, que deve ser acionada pela interface de escolha. O visitante do ATV-QV pode escolher um tema de seu interesse e motivação, associado à sua reação química de síntese, para investigar o grau de verdura química.

As imagens da interface representada na Figura 2 exploram os processos de produção e aplicação de cada síntese. Ao passar o *mouse* nas imagens dessa interface, o visitante é apresentando a um texto contendo informações sobre o problema ambiental associado ao tema em investigação, conforme exemplo mostrado na Figura 3.

Para a síntese do aroma de banana, representada na reação de esterificação de Fischer, problematizam-se as necessidades que levaram as indústrias a fomentar pesquisas com rotas alternativas, de modo a diminuir a geração de resíduos e poluição. Tradicionalmente, o ácido sulfúrico é utilizado como catalisador da reação de esterificação, porém, é preferível o uso de catalisadores heterogêneos, pois esses podem ser facilmente separados por filtração e reutilizados, além da não liberação de resíduos para o meio ambiente (Wolfson *et al*., 2009; Oliveira *et al*., 2014). No ATV-QV, para a análise da produção de acetato de isoamila, via esterificação de Fischer, considera-se no processo de construção e comparação das EVs a modificação de três catalisadores.

É demonstrado o caso da síntese do aroma de banana para exemplificar o processo de construção do ATV-QV. Ao clicar no botão "Simulação", no tema "Como fazer aroma de banana?" (Figuras 2 e 3), ao visitante é apresentando o seguinte problema: "*Considere uma indústria de aromatizantes que obtém aroma de banana a*

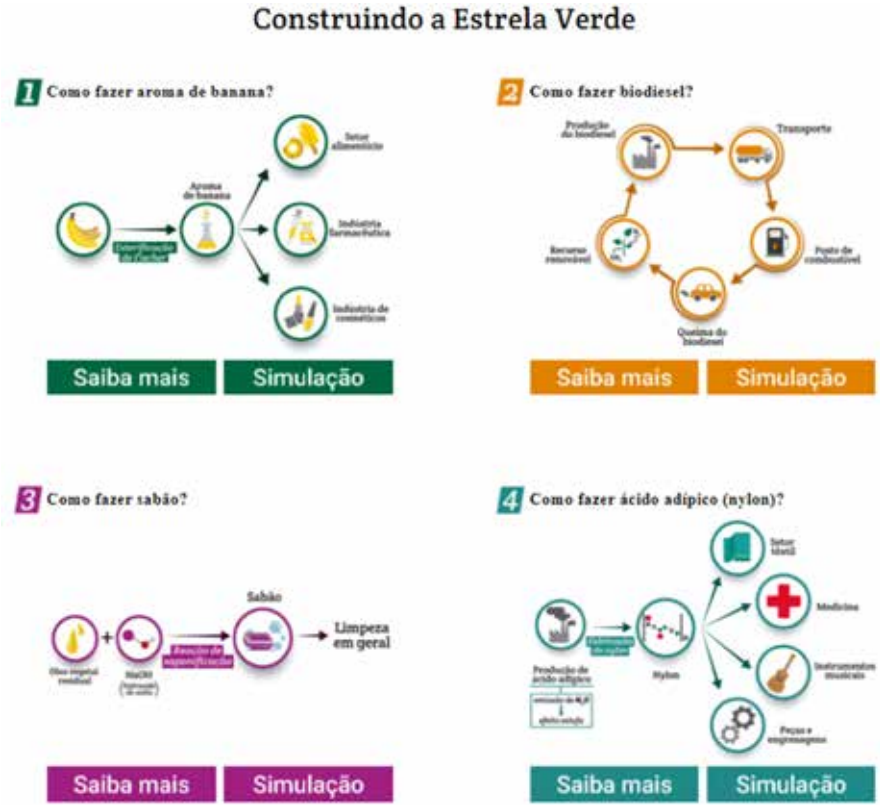


Figura 2: Representação da interface onde são apresentados os temas para investigação e construção das EVs de sínteses químicas.

Figura 3: Texto sobre o diagrama da página "Construindo a Estrela Verde".

partir do uso de um catalisador que libera resíduos para o meio ambiente. Porém, podemos minimizar os impactos ambientais causados por esta indústria na produção de aroma de banana. Vamos ajudar essa indústria de aromatizantes a encontrar catalisadores alternativos para a produção de aroma de banana investigando qual substância, participante do processo reacional de síntese do aroma de banana, causará um menor impacto ao meio ambiente. Para ajudarmos essa indústria a minimizar a poluição ambiental, devemos investigar quais são as vantagens de cada catalisador e depois realizar a escolha do menos nocivo ao ambiente. Os catalisadores que investigaremos serão ácido sulfúrico, a resina amberlyst 35 e *a argila montmorilonita. Destes catalisadores, qual é o menos nocivo ao meio ambiente? Construa a* Estrela Verde e compare.*"*

Conforme apresentado no problema acima, busca-se estimular a reflexão sobre a relação entre o processo industrial para a obtenção do aroma e aspectos ambientais dele derivado. Logo após a apresentação do problema, na mesma interface, é possível visualizar a reação química e os parâmetros da síntese que podem ser alterados, investigados e, subsequentemente, metrificados como representado na Figura 4.

Os botões referentes ao Ácido sulfúrico (1), Resina Amberlyst 35 (2) e Argila montmorilonita (3), contidos na Figura 4, referem-se, cada qual, a um parâmetro em análise dessa síntese. Ao clicar num dos botões, o visitante é direcionado para a página de construção da EV gerando diferentes estrelas para distintos parâmetros.

Esse processo se repete para cada tema-síntese disponível no ATV-QV. Também é desenvolvido no ATV-QV o estudo da síntese do biodiesel como combustível alternativo ao uso de recursos não renováveis, como o petróleo. Na produção de biodiesel, o excesso de álcool é um dos principais fatores que interferem no rendimento da reação de transesterificação e depende do tipo de álcool utilizado (Botelho, 2012). A síntese do biodiesel também envolve a geração de glicerol. No processo de transesterificação de óleos vegetais, a cada 90 m^3 de biodiesel produzidos, são gerados cerca de 10 m^3 de glicerina. A glicerina produzida nesse processo contém impurezas como álcool excedente e a presença do catalisador residual (Mota e Pestana, 2011). Tendo em vista essas variáveis "indesejáveis" na síntese do biodiesel, é oferecida no ATV-QV a possibilidade da construção da EV com a modificação de dois parâmetros: metanol e etanol.

Outro tema síntese parte de uma problemática ambiental muito rotineira, ligada à produção diária de grandes quantidades de resíduos de óleo de cozinha. Considerando esse contexto, no ATV-QV se oferece a abordagem do tema da fabricação do sabão, explorado na perspectiva de uma possível resolução do problema de descarte incorreto de óleo vegetal residual. Na análise da produção de sabão, via saponificação, investiga-se a verdura química do seu processo de obtenção com excesso e sem excesso da base NaOH.

A última proposta de tema síntese, apresentada no ATV-QV, é referente a análise do processo de obtenção do ácido adípico. No ATV-QV as reações de obtenção do ácido adípico são contextualizadas através da sua importância como reagente para a fabricação do nylon. Na produção de ácido adípico, grandes quantidades de óxido nitroso (N_2O) são liberadas para a atmosfera (Sato *et al.*, 1998). Segundo os autores, o óxido nitroso é um gás responsável pelo efeito estufa e a produção industrial de ácido adípico corresponde a emissão mundial de 5% a 8% de todo o N_2O antropogênico. Partindo dessa problemática, o ATV-QV explora dois processos de obtenção de ácido adípico e por meio da construção da EV o usuário pode comparar e avaliar o processo de síntese (Reação 1 ou Reação 2) "mais verde".

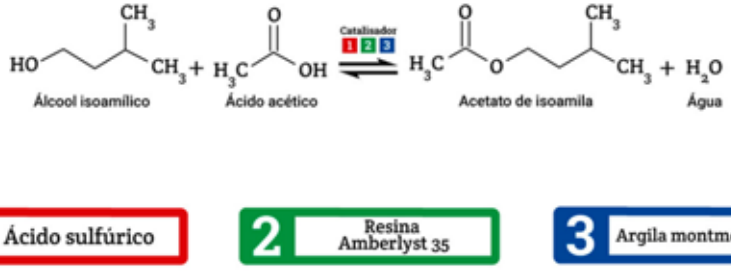


Figura 4: Representação da interface "Construa as simulações e obtenha a Estrela Verde": Aroma de Banana.

Desse modo, cada tema apresenta diferentes parâmetros que permitem gerar distintos resultados dentro da mesma síntese produzindo diversas EVs, algumas com pontas mais verdes e outras mais vermelhas. Por meio do valor do IPE também é possível comparar os diferentes resultados. O usuário, em um processo de investigação, desenvolve a percepção, se aprofunda nas informações e conhecimentos científicos e, assim, pode interpretar a análise da síntese obtida e se essa é ambientalmente mais segura.

Nas interfaces que envolvem o processo de construção da EV o visitante encontra, no ATV-QV, uma ferramenta de construção intitulada simulador. Utilizando-se de um tutorial, o usuário pode preencher os dados diretamente no simulador. Esse tutorial contém orientações e informações, tais como a equação da reação de síntese, substâncias envolvidas no processo e consulta de guias de segurança química das substâncias envolvidas.

Para abrir a janela do simulador, na interface que envolve o processo de construção da EV, o visitante deverá clicar no ícone "Clique aqui para construir a *Estrela Verde*" (Figura 5). A partir da análise do roteiro experimental e do tutorial, com ênfase na modificação do parâmetro a ser investigado, inicia-se o processo de construção da EV.

Figura 5: Ilustração do ícone "Clique aqui para construir a *Estrela Verde*".

A EV gerada no final do processo de simulação de síntese é comparada com as EVs dos demais parâmetros em análise. Por meio da análise visual e com o valor do IPE da EV obtido, o visitante investiga e se posiciona sobre qual rota é quimicamente mais verde. O usuário, em um processo de tomada de decisão, avalia as diversas variáveis que estiveram em questão, bem como as escolhas que efetuou ou efetuará futuramente quando estiver em uma situação real de trabalho. Além da tarefa de investigar a síntese "mais verde", o ATV-QV apresenta um botão "Saiba mais" (Figuras 2 e 3, ver acima). Para cada tema, o botão "Saiba mais" direciona para uma página de aprofundamento teórico.

Considerações Finais

O ATV-QV conjuga vários aspectos: o uso de ambientes virtuais no ensino, as simulações de sínteses químicas, a pesquisa no ensino da QV e a aplicação e construção da métrica holística EV. Ele apresenta-se como uma alternativa, entre outros, aos problemas de segurança química, evitando o perigo ambiental e individual em situações de manipulação de substâncias químicas nocivas. Com ênfase na QV, apresenta discussões envolvendo a sustentabilidade e a EDS.

Sua estruturação e organização pedagógica busca oferecer uma visão mais integrada dos fatores físico-químicos que originam os problemas ambientais em processos de transformações químicas (reações de síntese) e, por conseguinte, oferece uma visão mais sistêmica/holística aos estudos da Química. Além disso, apresenta uma abordagem interativa, problematizadora e relacional (causa-efeito). De fácil manuseio, funciona de modo intuitivo e contém diversos links de aprofundamento aos temas explorados.

A EV gerada no final do processo de simulação de síntese é comparada com as EVs dos demais parâmetros em análise. Por meio da análise visual e com o valor do IPE da EV obtido, o visitante investiga e se posiciona sobre qual rota é quimicamente mais verde.

O ATV-QV é uma ferramenta digital auxiliar aos professores e alunos para o ensino da Química, especialmente útil a laboratórios de ensino, o que pode contribuir para a formação científica de alunos do ensino médio e também da graduação em química.

A educação química, quando adota essas perspectivas, se inscreve nos esforços da EDS e incorpora-se aos 17 ODS, especialmente quando aporta instrumentos acessíveis para execução de processos químicos mais limpos e ambientalmente seguros. Assim, o ATV-QV constitui-se num singelo e inovador instrumento voltado ao ensino de química, auxiliando na superação de barreiras físicas e materiais normalmente presentes nas atividades laboratoriais, além de evitar eventuais situações de exposição perigos químicos à saúde humana e ao ambiente.

O aperfeiçoamento do ATV-QV será contínuo. Do ponto de vista pedagógico, ao se constituir como um canal de interação com a escola, seu aprimoramento abre espaços para investigações, por exemplo, sobre as motivações no uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (e mídias digitais) em processos de ensino de questões ambientais. De outra parte, com a contribuição dos usuários, abre-se a possibilidade de aperfeiçoar as suas interfaces de dados e a argumentação científica, auxiliando na melhor compreensão dos fenômenos e conteúdos químicos, em particular suas relações com o cotidiano das pessoas e com o ambiente. Nesse sentido, a ergonomia cognitiva[13], ao considerar elementos da cognição humana (entre outros aspectos, a percepção, a atenção, a memória e a interpretação) pode tanto auxiliar na interação dos usuários com os sistemas, em seus ambientes ou interfaces, quanto nos fazer compreender melhor os efeitos provocados por estes no sujeito (Silva et al., 2021).

Como possibilidade, em parte já em andamento, estão os estudos sobre os aspectos motivacionais dos sujeitos visitantes, por exemplo, seus interesses, suas percepções em relação aos problemas ambientais e o papel da Química (Verde), sobre um laboratório virtual de ensino de química. Por fim, o ATV-QV pode se constituir como um espaço de formação, produção e circulação dos conhecimentos relacionados ao DS.

Notas

[1]Segundo os dados do INPE (2020), o valor da estimativa de desmatamento por corte raso na Amazônia Legal entre agosto de 2019 a julho de 2020 é de 11.088 km^2. A taxa de desmatamento de 2020 representa um aumento de 9,5% em relação ao valor da taxa de desmatamento do ano de 2019 (10.129 km^2).

[2]O ensino crítico da química enfatiza as incertezas na geração e aplicação do conhecimento e envolve os alunos na reflexão sobre a natureza e o conhecimento da química (Sjöström e Talanquer, 2014).

[3]Adota-se aqui a definição de Boff (2012, p. 107): "Sustentabilidade é toda a ação destinada a manter as condições energéticas, físico-químicas que sustentam todos os seres, especialmente a Terra viva, a comunidade de vida e a vida humana, visando sua continuidade e ainda atender as necessidades da geração presente e das futuras, de tal forma que o capital natural seja mantido e enriquecido em sua capacidade de regeneração, reprodução e coevolução".

[4]ONU. Organização das Nações Unidas. Objetivos de desarrollo sostenible. Disponível em: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/. Acesso em 10 de março de 2022.

[5]TV UFMG. Conheça os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável. 2019. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=_3ejiX6AvLY. Acesso em 10 de março de 2022.

[6]Os 17 ODS, definidos oficialmente em 2015, vieram na direção dos Objetivos do Desenvolvimento do Milênio (ODMs), "mas foram propostos como resolução da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio + 20), realizada em 2012. A agenda mundial aprovada conta com 17 objetivos, 169 metas e, até o momento, tem mais de 300 indicadores propostos para o seu seguimento" (Alves, 2015, p.591).

[7]1 – erradicar a pobreza em todas as suas formas e em todos os lugares; 2 – acabar com a fome e promover uma agricultura sustentável; 3 – assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar; 4 – garantir uma educação inclusiva e de qualidade; 5 – promover a igualdade de gênero; 6 – garantir a disponibilidade de água e saneamento; 7 – oferecer energia limpa, de forma sustentável e renovável; 8 – promover crescimento econômico com emprego pleno, produtivo e descente; 9 – promover a inovação e uma industrialização de forma sustentável; 10 – reduzir a desigualdade; 11 – tornar as cidades mais inclusivas e sustentáveis; 12 – promover um padrão de consumo sustentável e responsável; 13 – promover ações globais contra mudanças climáticas; 14 – preservar a vida marinha; 15 – preservar a vida terrestre; 16 - promover sociedades mais pacíficas e inclusivas, proporcionando justiça para todos; 17 – formar parcerias para implementar o DS (TV UFMG, 2017).

[8]Resumidamente expresso em: 1- Prevenção de resíduos. 2 - Economia atômica. 3 - Sínteses menos perigosas. 4 - Planificação a nível molecular de produtos mais seguros. 5 - Uso de solventes e de substâncias auxiliares seguros. 6 - Busca de eficiência energética. 7- Uso de fontes de matérias-primas renováveis. 8 - Evitar a formação de derivados. 9 - Preferência por reagentes catalíticos. 10 - Planificação para a degradação. 11- Análise em tempo real para a prevenção da poluição. 12 - Química inerentemente mais segura (Machado, 2014).

[9]Proposto por Roger Sheldon, o Fator E evidencia a extensão do problema de formação de resíduos em diferentes setores da indústria e "é definido como a razão de massas entre a totalidade da massa de resíduos produzidos e a massa do produto desejado. O valor ideal [...] é zero, que ocorreria se não houvesse produção de quaisquer resíduos [...]" (Machado, 2007, p.52). A intensidade de massa é "[...] definida como a razão entre a massa total de materiais usados num processo (reagentes, solventes, outros materiais auxiliares, etc.) e a massa de produto obtido" (Machado, 2007, p.53).

[10]Neste caso, refere-se ao termo simulador.

[11]RIBEIRO, G. T. C.; MACHADO, A. S. C. Pedagogia da Química Verde – Educação para a Sustentabilidade. Plataforma online: http://educa.fc.up.pt/pedagogiadaquimicaverde/. Dez, 2008.

[12]Refere-se às simulações das reações de sínteses que constituirão a EV.

[13]"Em suma, considerando o exposto, pode-se dizer que a ergonomia cognitiva estuda os processos mentais, emocionais e afetivos dos indivíduos na interação com os sistemas, ambientes, interfaces ou objetos, assim como os efeitos provocados por estes, a fim de propor produtos e sistemas mais efetivos, adequados e agradáveis" (Silva et al., 2021, p.31).

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 88887.178071/2018-00 e a Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina- FAPESC pela bolsa de doutoramento. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq - Projeto QUIMIDEX na Escola, nº do processo 441132/2019-7. Professor Adélio Machado (Departamento de Química, Universidade do Porto, Portugal).

Patricia Link Rüntzel (patriciaruntzel@gmail.com), licenciada em Química e mestre em Educação Científica e Tecnológica pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Atualmente é doutoranda em Educação Científica e Tecnológica pela UFSC. Florianópolis, SC – BR. **Carlos Alberto Marques** (carlos.marques@ufsc.br), licenciado e mestre em Química pela UFSC, doutor em Química pela Università degli Studi di Venezia, UNIVE, Itália, é professor titular do Departamento de Metodologia de Ensino da UFSC. Florianópolis, SC – BR.

Referências

ALVES, J. E. D. Os 70 anos da ONU e a agenda global para o segundo quindênio (2015-2030) do século XXI. *Revista Brasileira de Estudos Populares*, v. 32, n. 3, p. 587-598, 2015.

ANASTAS, P. T. e EGHBALI, N. Green chemistry: principles and practice. *Chemical Society Reviews*, v. 39, n. 1, p. 301–312, 2010.

ANASTAS, P. T. e WARNER, J. C. *Green chemistry: theory and practice*. New York, N.Y: Oxford University Press, 1998.

BELLEN, H.M. V. *Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa*. 2002. 235f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

BOFF, L. *Sustentabilidade:* O que é - O que não é. Petrópolis: Vozes, 2012.

BOTELHO, C. A. V. A. *Viabilidade técnica e aspectos ambientais do biodiesel etílico de óleos residuais de fritura.* 2012. 121f. Dissertação (Mestrado em Energia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

BURMEISTER, M.; RAUCH, F. e EILKS, I. Education for Sustainable Development (EDS) and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 13, p. 59-68, 2012.

CALVO-FLORES, F. G. Parámetros para el análisis de las reacciones en química sostenible. *Química y Medio Ambiente*, n. 105, p.42-49, 2009.

CHAMIZO, J. A. La imagen pública de la química. *Educación Química*, v. 22, n. 4, p. 320-331, 2011.

CHAMIZO, J. A. The fifth chemical revolution: 1973–1999. *Foundations of Chemistry*, v.19, p.157-179, 2017.

CMMA. Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. *Nosso Futuro Comum.* 2 ed. Rio de Janeiro, RJ: Fundação Getúlio Vargas, 1991. 430 p.

DUARTE, R. C. C.; RIBEIRO, M. G. T. C. e MACHADO, A. A. S. C. Using green star metrics to optimize the greenness of literature protocols for syntheses. *Journal of Chemical Education*, v. 92, n. 6, p. 1024–1034, 2015.

EILKS, I. e ZUIN, V. G. Editorial Overview: Green and Sustainable Chemistry Education (GSCE): lessons to be learnt for a safer, healthier and fairer world today and tomorrow. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, v. 13, 2018.

FIOLHAIS, C. e TRINDADE, J. Física no computador: computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 25, n. 3, 2003.

GONÇALVES, F. P. e BRITO, M. A. *Experimentação na educação em química:* fundamentos, propostas e reflexões. Florianópolis: Editora UFSC, 2014.

GUAITA, R. I. *Atividades experimentais articuladas a tecnologias digitais de informação e comunicação na análise de uma proposta formativa para professores de química.* 2020. 254f. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

INPE. *Nota Técnica Estimativa do PRODES 2020.* São José dos Campos: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2020. Disponível em: http://www.inpe.br/busca.php?q=Nota+T%C3%A9cnica+Estimativa+do+PRODES+202, acesso em mar. 2022.

MACHADO, A. A. S. C. *Introdução às métricas da química verde:* uma visão sistêmica. 1ª. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2014.

MACHADO, A. A. S. C. Métricas da química verde – a produtividade atômica. *Boletim da Sociedade Portuguesa de Química,* n. 107, p. 47-55, 2007.

MACHADO, A. A. S. C. Química e desenvolvimento sustentável - QV, QUIVES, QUISUS.

Boletim da Sociedade Portuguesa de Química, n. 95, p. 59-67, 2004.

MACHADO, A. A. S. C. Química Verde Uma Mudança Sistêmica da Química. *Revista de Química Industrial*, n. 730, p. 12-16, 2011.

MARQUES, C. A. e MACHADO, A. A. S. C. An integrated vision of the green chemistry evolution along 25 years. *Foundations of Chemistry*, v. 23, p. 299–328, 2021.

MARQUES, C. A. e MACHADO, A. A. S. C. Una visión sobre propuestas de enseñanza de La química verde. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 17, n. 1, 2018.

MARQUES, C. A.; MARCELINO, L. V.; DIAS, É.; RÜNTZEL, P.; SOUZA, L. e MACHADO, A. A. S. C. Green Chemistry teaching for sustainability in papers published by the Journal of Chemical Education. *Química Nova*, v. 43, n. 10, p. 1510–1521, 2020.

MELO, M. M. *Capitalismo versus sustentabilidade:* o desafio de uma nova ética ambiental. Florianópolis: Editora da UFSC, 2006, 133p.

MERCER, S.M.; ANDRAOS, J. e JESSOP, P. G. Choosing the greenest synthesis: a multivariate metric green chemistry exercise. *Journal of Chemical Education*, v. 89, n. 2, p. 215-220, 2012.

MOTA, C. J. A. e PESTANA, C. F. M. Co-produtos da produção de biodiesel. *Revista Virtual de Química*, v. 3, n. 5, p. 416-425, 2011.

OLIVEIRA, C. A.; SOUZA, A. C. J.; SANTOS, A. P. B.; SILVA, B. V.; LACHTER, E. R. e PINTO, A. C. Síntese de ésteres de aromas de frutas: um experimento para cursos de graduação dentro de um dos princípios da química verde. Revista Virtual de Química, v. 6, n. 1, p. 152-167, 2014.

ONU. Organização das Nações Unidas. *Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*. 15 de set. 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel, acesso em mar. 2022.

RIBEIRO, M. G. T. C. e MACHADO, A. A. S. C. Holistic metrics for assessment of the greenness of chemical reactions in the context of chemical education. *Journal of Chemical Education,* v. 90, n. 4, p. 423-439, 2013.

RIBEIRO, M. G. T. C. e MACHADO, A. A. S. C. Novas métricas holísticas para avaliação da verdura de reações de síntese em laboratório. *Química Nova*, v. 35, n. 9, p. 1879-1883, 2012.

RIBEIRO, M. G. T. C.; COSTA, D. A. e MACHADO, A. A. S. C. Uma métrica gráfica para avaliação holística da verdura de reacções laboratoriais – "Estrela Verde". *Química Nova*, v. 33, n. 3, p. 759-764, 2010.

RIBEIRO, M. G. T. C.; YUNES, S. F. e MACHADO, A. A. S. C. Assessing the greenness of chemical reactions in the laboratory using updated holistic graphic metrics based on the globally harmonized system of classification and labeling of chemicals. *Journal of Chemical Education*, v. 91, n. 11, p.1901-1908, 2014.

SATO, K.; AOKI, M. e NOYORY, R. A "Green" route to adipic acid: direct oxidation of cyclohexenes with 30 percent hydrogen peroxide. *Science*, v. 281, n. 5383, p. 1646- 1647, 1998.

SILVA, K. L. B. M.; CAMPOS, L. F. A. e FERNANDES, F. R. A ergonomia cognitiva e a interação com os objetos: uma compreensão conceitual de como as pessoas percebem e se relacionam com os artefatos. *HFD*, v. 10, n. 19. P. 29-51, jun. 2021.

SILVA, R. R.; MACHADO, P. F. L. e TUNES, E. Experimentar sem medo de errar. *In:* SANTOS, W. L. P. e MALDANER, O. A. (Orgs.) *Ensino de Química em Foco*. Ijuí: Editora Unijuí, 2010.

SJÖSTRÖM, J. e TALANQUER, V. Humanizing chemistry education: from simple contextualization to multifaceted problematization. *Journal of Chemical Education*, v. 91, n. 8, p. 1125–1131, 2014.

TV UFMG. Conheça os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável. 2019. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=_3ejiX6AvLY, acesso em mar. 2022.

UNCED. Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. *Agenda 21*. United Nations:New York, 1992.

UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. *United Nations Decade of Education for Sustainable Development (2005-2014): international implementation scheme*. UNESCO: Paris, 2005.

WCED. World Commission on Environmental and Development. *Our Common Future*. 1ª ed. New York: Oxford University Press, 1987.

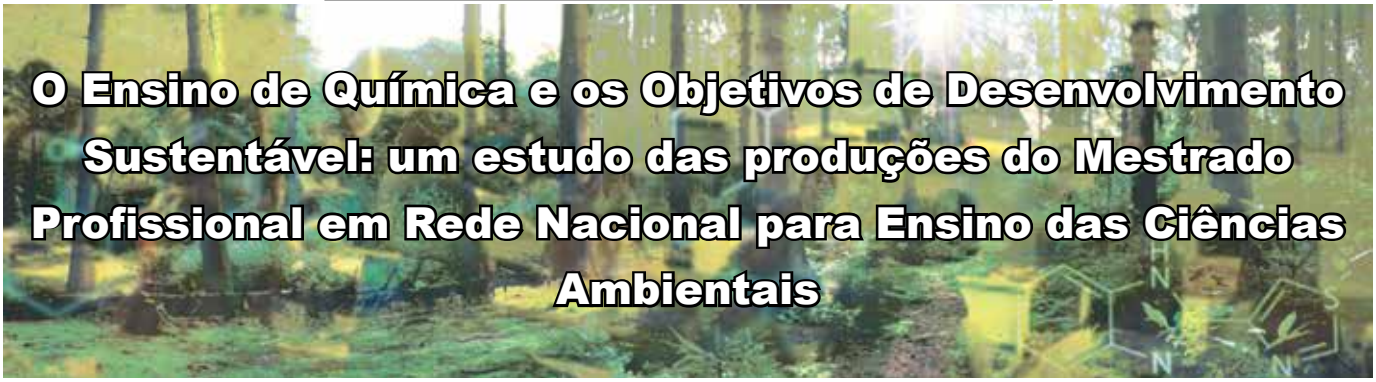
WOLFSON, A.; SAIDKARIMOV, D.; DLUGY, C. e TAVOR, D. Green synthesis of isoamyl acetate in glycerol triacetate. *Green Chemistry Letters and Reviews*, v. 2, n. 2, p.107-110, 2009.

ZUIN, V. G. e KÜMMERER, K. Towards more sustainable curricula. *Nature Reviews Chemistry*, v. 5, 2021.

Abstract: *Green Chemistry virtual themed environment for synthesis simulations in chemistry teaching from the perspective of sustainable development.* This work presents the construction process, format, contents and the functions of a Virtual Thematic Environment of Green Chemistry. The virtual environment emerged from meetings of the Research Group on Chemistry Teaching/UFSC. It had the support of scholarship students in the areas of design and programming. Contains simulations of chemical syntheses to analyze chemical greenness using the holistic Green Star metric. Using a simulator and data extracted from chemical safety data sheets. It is a virtual laboratory for use by teachers, high school and undergraduate chemistry students. The methodology and didactics of the virtual environment are inserted in a perspective of care for the environment and (environmental) sustainability. The virtual environment produces the debate on the physical and environmental safety of chemical processes, thus contributing to the objectives of Education for Sustainable Development.
Keywords: virtual thematic environment, teaching green chemistry, goals for sustainable development.

A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160309



O Ensino de Química e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: um estudo das produções do Mestrado Profissional em Rede Nacional para Ensino das Ciências Ambientais

Ariane B. Lourenço, Gérsica M. N. da Silva, Aldrei Jesus G. Batista, Karen Cristina P. Musetti, Paula P. P. de Carvalho, Vinicius P. Dictoro, Tadeu Fabricio Malheiros

Um tema dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) de grande importância à sociedade é a água. Para promover discussões sobre a mesma e a conscientização de seu uso, a educação configura-se como uma aliada importante, bem como o ensino de química, por fornecer conhecimentos científicos a tal empreitada. Dado esse quadro, objetivamos investigar como o tema água vem sendo discutido no contexto do ensino da química em dissertações produzidas pelo Mestrado Profissional em Rede Nacional para Ensino das Ciências Ambientais (PROFCIAMB). Foram analisadas dissertações defendidas de 2018 a 2020, com esse perfil, sendo sete no total. Os resultados da investigação revelaram que conceitos de química foram abordados no contexto da temática água e a partir de distintas estratégias de ensino, como jogo, visita de campo, experimentos, etc., para trabalhar com o tema água, e esse processo apresentou desdobramentos direcionados ao desenvolvimento sustentável. As ações desenvolvidas têm aderência com sete ODS, contribuindo para dez metas da Agenda 2030.

▶ água, ensino de química, formação de professores, desenvolvimento sustentável ◀

Recebido em 25/11/2021, aceito em 29/03/2022

O mundo vem sofrendo grandes transformações, algumas das quais são nocivas ao ambiente e à população, como o desmatamento, a poluição e as mudanças do clima. Além disso, a sociedade tem mantido elementos de desigualdade social, seja no que concerne à distribuição de renda, ao acesso aos recursos hídricos, aos alimentos e outros itens cruciais para se viver com dignidade (ONU, 2015). Esse quadro expõe a necessidade de que os diferentes setores da sociedade reflitam e atuem no combate a essas transformações e suas consequências. Com esse propósito, a Organização das Nações Unidas (ONU) aprovou em 2015 a Agenda 2030, que compreende

> [...] *um plano de ação para as pessoas, o planeta e a prosperidade. Também busca fortalecer a paz universal com mais liberdade. Reconhecemos que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões, incluindo a pobreza extrema, é o maior desafio global e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável* (ONU, 2015, p. 1).

Como parte da Agenda 2030, são apresentados dezessete Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), com 169 metas, os quais foram direcionados a promover, no prazo de quinze anos desde sua assinatura, o desenvolvimento sustentável no planeta, em sua totalidade, ou seja, incluindo todos os países (ONU, 2015). No caminho para alcançar as metas dos ODS, a Educação configura-se como uma aliada importante na divulgação e implementação de ações que venham a colaborar de maneira regional e mundial para o seu atendimento.

Tal movimento pode e deve ser realizado em todos os níveis de ensino, envolver distintas áreas do conhecimento, como é o caso da química, e abordar diferentes temas abarcados nos ODS, dentre os quais destaca-se a água.

A temática água configura-se na base do desenvolvimento sustentável abrangendo suas três dimensões - ambiental, econômica e social. O acesso à água age diretamente na diminuição da pobreza, no crescimento econômico, no desenvolvimento da vida no planeta, na influência na economia global, entre outros elementos (ONU, 2015). No contexto dos ODS, dentre os dezessete objetivos projetados, dois estão diretamente relacionados à água, o ODS 6 e o ODS 14. O ODS 6, *Água potável e Saneamento*, visa, em especial,

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

garantir o acesso a medidas de saneamento e higiene adequados; reduzir a poluição e aumentar a eficiência do uso da água em todos os setores; implementar a gestão integrada dos recursos hídricos, proteger e restaurar ecossistemas relacionados à água, entre outras metas (ONU, 2015). Já o ODS 14, *Vida na Água*, objetiva, em especial, o uso e conservação dos oceanos, mares e recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável, contribuindo para a construção de um planeta capaz de proteger e restaurar esses ecossistemas (ONU, 2015).

Dada a importância desse recurso natural, a água, para a sociedade, é inexorável sua abordagem em contexto de sala de aula, movimento que pode ser observado na literatura da área. Trazendo como exemplo três desses trabalhos tem-se o de Sales *et al.* (2018), Ventapane e Santos (2021) e Oliveira *et al.* (2021). Sales *et al.* (2018) apresentam um projeto de extensão envolvendo temas referentes a ODS, em que alunos universitários e do Ensino Médio participaram de formações. A referida formação permitiu a criação de oficinas que foram implementadas na Semana do Meio Ambiente no Espaço Ciência/PE a alunos da Educação Infantil ao Ensino Médio (EM). As oficinas tinham um perfil de serem práticas, acessíveis e atrativas, sendo que uma delas foi intitulada "*Água e Saneamento - Resíduos sólidos e coleta de esgoto: o que eu tenho a ver com isso?"* e buscou, dentre outros aspectos, promover a reflexão dos alunos sobre a importância da água e os efeitos da poluição para os seres vivos. Os autores apresentam, entre suas considerações, que as oficinas configuraram-se em um meio de abordar os ODS de forma inovadora, em que alunos do EM e universitários foram multiplicadores do conhecimento.

Ventapane e Santos (2021) apresentam um experimento dentro dos princípios da Química Verde (QV), de baixo custo e fácil aquisição, e que objetiva revelar de maneira qualitativa a presença de ferro em água. O referido experimento foi utilizado no contexto de uma oficina pedagógica a estudantes e professores do EM, em que diferentes conteúdos do tema sustentabilidade foram abordados, com especial atenção para os referentes ao ODS 6. As autoras trazem como conclusão que,

> *A partir de reagentes comerciais e baseando-se em princípios da QV, foi possível obter uma fonte de* íons Fe^{+3}*, bem como um reagente para a detecção de* íons Fe^{+3} *em* água, *que podem ser utilizados em experimentos didáticos contextualizados* às *questões sócio-ambientais e aos ODS 6 e 14* (Ventapane e Santos, 2021, p. 204).

Oliveira *et al.* (2021) desenvolveram um conjunto de atividades pautadas em tarefas cotidianas para promover o letramento científico de alunos do Ensino Fundamental (EF) no contexto de aulas remotas. As atividades tinham em sua essência o potencial de usar a residência dos alunos como ambiente de aprendizagem científica, envolver os pais no processo de aprendizagem e contemplar os ODS. Em especial, as atividades focadas ao ODS 6 envolviam: questões de estudo, experimento com materiais de baixo custo, registros por meio de fotografias, entre outros; e trouxeram à baila elementos que favoreceram reflexões dos alunos sobre o uso de água e seu consumo consciente.

Dado o exposto, neste trabalho direcionamos o olhar para investigar como a temática água vem sendo discutida no contexto do ensino de química. Para isso, realizamos uma pesquisa do tipo estado do conhecimento em dissertações produzidas no bojo do Mestrado Profissional em Rede Nacional para Ensino das Ciências Ambientais (PROFCIAMB). A escolha desse contexto de pesquisa se justifica pelo fato do referido Programa ser destinado a profissionais da área de educação que desenvolvem seus trabalhos de mestrado direcionados ao desenvolvimento sustentável.

[...] neste trabalho direcionamos o olhar para investigar como a temática água vem sendo discutida no contexto de ensino de química. Para isso, realizamos uma pesquisa do tipo estado do conhecimento em dissertações produzidas no bojo do Mestrado Profissional em Rede Nacional para Ensino das Ciências Ambientais (PROFCIAMB).

O PROFCIAMB

O PROFCIAMB é um mestrado profissional (*stricto sensu*) em rede, criado em 2016 com o objetivo de promover a formação continuada de professores da Educação Básica e demais profissionais que atuam em espaços educativos, visando habilitá-los a discutir, desenvolver e implementar ações direcionadas ao desenvolvimento sustentável (Malheiros *et al.*, 2020).

O Programa conta com a participação de nove Instituições de Ensino Superior públicas do território brasileiro, a saber: Universidade Federal do Amazonas (UFAM); Universidade Federal do Pará (UFPA); Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Universidade Federal de Sergipe (UFS); Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS); Universidade de Brasília (UnB); Universidade de São Paulo (USP); Universidade Federal do Paraná (UFPR) e Universidade Estadual de Maringá (UEM), e conta com o suporte financeiro da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Por se tratar de um Programa interdisciplinar, o PROFCIAMB é constituído por um corpo docente de profissionais de diferentes formações, como licenciaturas e bacharelados, e procedentes de distintas áreas do conhecimento. Essa diversidade também é observada entre os discentes do Programa. As pesquisas desenvolvidas no âmbito do PROFCIAMB, em geral, têm caráter aplicado, são alinhadas à Agenda 2030 e pautadas pelos ODS.

Para receber o título de mestre em Ensino das Ciências Ambientais, o mestrando deve, obrigatoriamente, cumprir créditos em disciplinas, produzir uma dissertação e um Produto Técnico e Tecnológico (PTT). Quanto às disciplinas, a nomeada Gestão Ambiental, de caráter obrigatório, envolve de maneira direta os ODS da Agenda 2030, além de outras disciplinas que perpassam seus conceitos. O PTT pode ser executado no contexto, tempo e espaço amostral do aluno, bem como em áreas de vulnerabilidade socioambiental, com o objetivo de auxiliar outros profissionais da área a mitigarem os impactos negativos ao meio ambiente (Malheiros *et al.*, 2020).

As produções provenientes do PROFCIAMB têm impactado positivamente as instituições associadas e as comunidades adjacentes, tanto no sentido prático da gestão do saneamento e na redução de pegadas ecológicas, quanto na produção de documentos subsidiários de normativas governamentais e na formação de consciência ecológica (Malheiros *et al.*, 2020). Das produções do Programa, a maioria é construída em interface com a temática água, fortalecendo a abordagem interdisciplinar e o alinhamento aos ODS, em especial o ODS 4 (Educação de Qualidade), o ODS 6 (Água Potável e Saneamento) e o ODS 14 (Vida na Água). São as dissertações com esse perfil que usamos neste artigo para investigar de que maneira os ODS relacionados à temática água vêm sendo trabalhados no contexto do ensino de química.

Metodologia

Para o desenvolvimento do presente trabalho fez-se uso da pesquisa do tipo estado do conhecimento, a qual busca identificar as características de investigações desenvolvidas sobre um determinado tema, sua evolução, seus avanços e suas lacunas, entre outros aspectos (Wuo, 2019; Romanowski e Ens, 2006). As pesquisas dessa natureza, diferentemente das do tipo estado da arte, que abrangem "a produção acadêmica de uma determinada área nos diferentes setores do conhecimento – artigos científicos em periódicos, eventos, teses e dissertações" (Wuo, 2019, p. 213), focam apenas em um setor das publicações (Romanowski e Ens, 2006); no caso deste trabalho, em dissertações oriundas do PROFCIAMB.

Nesse contexto, foram analisadas as dissertações defendidas no referido Programa nos anos de 2018, 2019 e 2020 que abordavam a temática água no contexto do ensino de química. Para a seleção do material de análise, a primeira ação realizada foi identificar, entre as 232 dissertações defendidas no Programa, quais continham em seus títulos ou palavras-chave o descritor *química*. Para esse processo, acessamos o texto original de cada uma das produções e inserimos na ferramenta de busca o referido descritor, sendo identificadas sete dissertações. Após essa etapa, analisamos as dissertações que envolviam a temática água, e observamos que todas que tinham o descritor *química* também envolviam o tema água. As dissertações foram nomeadas seguindo o padrão de serem referenciadas pela letra D seguida de um número para diferenciá-las, formando D1, D2, D3 e assim sucessivamente.

[...] foram analisadas as dissertações defendidas no referido Programa nos anos de 2018, 2019 e 2020 que abordavam a temática água no contexto do ensino de química. Para a seleção do material de análise, a primeira ação realizada foi identificar, entre as 232 dissertações defendidas no Programa, quais continham em seus títulos ou palavras-chave o descritor química.

Para cada uma das sete dissertações, preencheu-se uma planilha com as seguintes informações: a) dados gerais (título, mestrando, orientador, associada e ano de defesa) e b) frequência em que o termo química foi mencionado no texto. Feita a referida análise, três autores deste trabalho procederam à leitura e lançaram mão do método de análise de conteúdo (Moraes, 1999) para trazerem respostas ao questionamento de que maneira os ODS relacionados à temática água vêm sendo trabalhados no contexto do ensino de química nas produções do PROFCIAMB. A análise de conteúdo deu-se seguindo as etapas de: preparação das informações por meio da leitura das dissertações; criação de unidades de análise (UA); categorização e agrupamento das UA; descrição de cada categoria formada; e interpretação das categorias, sempre que possível lançando mão de referenciais da literatura da área (Moraes, 1999). Nesse processo, as UA foram criadas a partir da seleção de trechos das dissertações que traziam elementos de respostas para entender os seguintes aspectos abordados no trabalho: conteúdo de química, conteúdo de água, estratégia de ensino, produto técnico e tecnológico e Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Cada um desses elementos tornou-se uma categoria em que se agrupou as UA que a ela pertenciam.

Esclarece-se que, de forma a inferir as contribuições das dissertações para os ODS, foram aplicados na ferramenta de busca os descritores ODS, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e Agenda 2030, sendo que nenhuma referência foi identificada. Em um segundo momento, em caráter qualitativo, investigou-se as principais ações desenvolvidas no ensino de química e seus desdobramentos, analisados à luz dos ODS, incluindo suas metas e possíveis indicadores relacionados.

Resultados e discussão

Os resultados estão apresentados em três frentes. Na primeira mostra-se o perfil das dissertações; na segunda estão demonstrados e discutidos os aspectos que trazem entendimento sobre como o ensino de química foi contextualizado na temática água; e na terceira frente trazemos uma discussão da relação das ações desenvolvidas nos trabalhos com os ODS da Agenda 2030.

Perfil das dissertações

Quanto à distribuição ao longo do tempo das dissertações direcionadas ao ensino de química que abordam a temática água (Quadro 1), verifica-se que em todos os anos houve publicações dessa natureza, sendo no ano de 2020 a defesa de maior número de dissertações com esse perfil, quatro no total. Com relação à distribuição dos trabalhos de acordo com a origem das instituições tem-se que, das cinco regiões do país, quatro foram contempladas, sendo: Norte, Nordeste, Sul e Sudeste. Destaca-se que o PROFCIAMB possui nove associadas distribuídas em todas as regiões do país, das quais cinco possuíam trabalhos envolvendo o ensino de química e a temática água.

A temática água no contexto do ensino de química

No Quadro 2 estão compiladas informações fundamentais para trazer elementos para o entendimento de como o ensino de química foi contextualizado na temática água. Ressalta-se que, em algumas das dissertações analisadas, havia outros aspectos relacionados à Educação Ambiental; no entanto, para este artigo, fez-se um recorte no tocante às ações direcionadas ao ensino da química com o tema água, que trazem respostas ao nosso questionamento de pesquisa.

No que concerne aos conteúdos de química abordados nas dissertações (Quadro 2), tem-se que o de maior ocorrência foi o potencial hidrogeniônico (pH), presente em cinco das sete dissertações analisadas, seguido do conceito de ácidos e bases, abordado em três dissertações. Os referidos conceitos foram, em geral, associados à análise da qualidade da água, seja para verificar a sua viabilidade ao consumo, seja para analisar a chuva ácida. Também foram abordados conceitos relacionados à gestão de recursos hídricos, como disponibilidade da água, usos múltiplos, saneamento básico e a importância da água para a vida. Ao considerar o público a que esses conceitos foram dirigidos, observa-se que variou de estudantes da Educação Básica, Ensino Superior a Comunidade de Assentamentos. De igual diversificação foram os produtos gerados, envolvendo sequências didáticas, manuais, história em quadrinhos, caderno pedagógico e aplicativo de celular.

No que tange às ações realizadas nos trabalhos, observa-se que todos envolveram a química com temas relacionados à sociedade. Nesse processo, D1, D2, D3 e D4 realizaram coleta de dados de amostras de água (rios, chuva, ou residências/instituições escolares) e, lançando mão de parâmetros químicos, analisaram a qualidade da água. A D5 parte de uma visita de campo em um espaço não formal de educação para promover o ensino de química; a D6, a partir do tema chuva ácida, criou e desenvolveu atividades com história em quadrinhos; e a D7, usando um experimento de baixo custo, discutiu a contaminação dos solos e das águas subterrâneas. Na sequência, apresentamos um resumo das ações desenvolvidas em cada um desses trabalhos.

A D1 realizou aula prática de campo, na qual licenciandos coletaram amostras de água de rios, e também informações do ambiente de coleta, como temperatura do ar, temperatura da água e oxigênio dissolvido. Em posse das amostras de água, atividades na universidade foram realizadas para proceder a análise de parâmetros físicos e químicos (pH, condutividade elétrica, turbidez e sólidos

Quadro 1. Perfil das dissertações defendidas no PROFCIAMB e que envolvem a temática água no contexto do ensino de química.

Dissertação	Ano defesa	Título	Autor	Associada
D1	2018	A água como eixo articulador da aprendizagem dos conteúdos de química, física e biologia no contexto das ciências ambientais	Carlos Augusto dos Santos Faias Junior	UFPR
D2	2018	Ações de educação ambiental na sensibilização da qualidade da água para consumo humano no assentamento Palmares, no município de Araguatins, Tocantins	Lílian Natália Ferreira de Lima	UFPA
D3	2019	O extrato de açaí como indicador ácido-base: um manual didático para experimentos com água de chuva no ensino da química	Adriana Costa Macedo	UFPA
D4	2020	Pedagogia da alternância e ensino de química na EFAL em Japoatã/SE: desafios e possibilidades no estudo da água como fonte de vida	Sergio Cardoso Borges	UFS
D5	2020	Contextualização e prática: subsídios à aprendizagem de Química a partir de aulas de campo	Luciano Redondo Mendes de Almeida	USP
D6	2020	Temas transversais da química ambiental e história em quadrinhos como ferramentas pedagógicas para o ensino de ácidos e bases	Erivan Sousa Cruz	UFPA
D7	2020	Sequência Didática para Ensino de Ciências Ambientais utilizando a infiltração em solo como Tema Norteador	Bruno Marcelo Lardião de Souza	UFPE

Fonte: Elaboração dos autores (2021).

Quadro 2. Compilação de informações das dissertações do PROFCIAMB sobre a discussão da temática água no contexto do ensino de química.

Dissertação	Público	Conteúdo Química	Conteúdo água	Estratégia de ensino	Produto Técnico e Tecnológico
D1	Licenciandos do curso de licenciatura em Educação do Campo - Ciências da Natureza	pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, turbidez e sólidos totais	Qualidade da água, disponibilidade hídrica, usos múltiplos da água, biomonitoramento, preservação da água	Visita de campo e atividade experimental	Caderno pedagógico
D2	Comunidade de Assentamento do município de Araguatins (Tocantins)	pH, condutividade elétrica, temperatura, oxigênio dissolvido, dureza, alcalinidade, turbidez, níveis de nitrato, nitrito, cálcio, magnésio e sólidos totais dissolvidos	Qualidade da água, indicação de aspectos legais da gestão de recursos hídricos, saneamento básico, água subterrânea	Visita de campo e atividade experimental	Manual didático
D3	Alunos Ensino Médio	pH, ácido e base, chuva ácida	Qualidade da água e chuva ácida	Atividade experimental	Sequência Didática
D4	Alunos do Curso Técnico Profissionalizante em Agropecuária da Escola Família Agrícola de Ladeirinhas "A"	Análise qualitativa de Cloro Livre e de pH	Qualidade da água, importância da água como fonte de vida	Visita de campo e atividade experimental	Aplicativo de celular de monitoramento
D5	Alunos Ensino Médio	Transformação química e propriedades das substâncias	Água e seu consumo pela sociedade, água pura e água potável, parâmetros da qualidade da água, uso e preservação da água no mundo, fontes causadoras da poluição da água, tratamento de água e esgoto e reuso da água	Visita de campo	Cartilha de contextualização e prática para aulas de campo
D6	Licenciandos em Química	Química ambiental, ácidos e base, chuva ácida	Chuva ácida	Atividade lúdica	História em quadrinhos
D7	Alunos Ensino Médio	Ácidos, bases, sais, óxidos, pH das soluções, filtração simples e solubilidade dos sais	Lençol freático, contaminação do Solo, linfiltração no solo e Saneamento básico	Atividade experimental	Sequência didática

Fonte: Elaboração dos autores (2021).

totais), usando-se para isso equipamentos laboratoriais específicos. Findada essa etapa, procedeu-se à elaboração de materiais e equipamentos alternativos à análise dos parâmetros, de maneira que fossem acessíveis de serem desenvolvidos em contexto das escolas da Educação Básica. Com esse propósito, para analisar o pH o trabalho propõe o uso de solução indicadora de repolho roxo, para a condutividade elétrica da água sugere-se a construção de um circuito elétrico caseiro a partir de uma lanterna de mão, e para a turbidez, o uso de tubos de ensaio ou de tubos plásticos.

A D2 procedeu a coleta de amostras de um poço aberto e um fechado de um assentamento e identificou, por meio de equipamentos apropriados, os seguintes parâmetros: pH; condutividade elétrica; temperatura; oxigênio dissolvido; dureza; alcalinidade; turbidez; presença e níveis de nitrato, nitrito, cálcio, magnésio e sólidos totais dissolvidos. Finalizadas as análises, os resultados do diagnóstico da qualidade da água consumida pelos moradores do assentamento foram compartilhados com a prefeitura local, e ações para a melhoria da qualidade da água foram construídas.

A D3 apresentou o processo de construção e uso de um *kit* experimental a partir do extrato de açaí, destinado à determinação do pH de amostras de água bem como de outros materiais. O *kit* foi criado com materiais de baixo custo e produtos naturais acessíveis aos alunos, como o açaí, o qual é de fácil aquisição no estado do Pará, onde a pesquisa foi desenvolvida. A partir do referido *kit* procedeu-se um conjunto de atividades com alunos do EM, em que analisaram o pH de amostras de água da chuva coletadas por eles, e de distintos materiais de uso doméstico (vinagre, suco de limão e detergente). Com essas ações foi possível discutir a temática água atrelada aos conceitos de ácidos e bases e indicadores naturais, de maneira a levar os alunos a estabelecerem relações entre os conceitos de química e o cotidiano, em especial o tema da chuva ácida e sua relação com a poluição atmosférica em áreas industriais ou urbanas.

A D4 realizou um conjunto de ações para apresentar/discutir o conteúdo de soluções aquosas relacionado ao tema qualidade da água aos alunos de uma escola que funciona no formato de pedagogia de alternância (PA) e matriculados em um Curso Técnico Profissionalizante em Agropecuária. Esclarece-se que em escolas com o perfil de PA ocorre alternância de tempos e espaços no processo de formação do estudante. Na D4 as ações envolveram atividades de sensibilização (rodas de conversa e teatro), discussões e elaboração de textos introdutórios sobre o tema, aulas teóricas, aulas práticas e oficinas. As oficinas envolveram a análise qualitativa de cloro livre na água e de pH. A partir das oficinas foi criado um *kit* de análises da qualidade da água, o qual foi utilizado para analisar a água para consumo domiciliar de alguns estudantes em diferentes comunidades. Um dos resultados desse processo foi a identificação de que em uma comunidade a água apresentava-se imprópria para o consumo, o que gerou uma mobilização de moradores junto aos órgãos responsáveis para melhorar a qualidade da água.

Um dos resultados desse processo foi a identificação de que em uma comunidade a água apresentava-se imprópria para o consumo, o que gerou uma mobilização de moradores junto aos órgãos responsáveis para melhorar a qualidade da água.

A D5 desenvolveu atividades de campo em uma fazenda-escola com alunos do EM que cursavam uma disciplina de química. Buscou-se com as atividades considerar o referido espaço como um laboratório em que os alunos pudessem refletir e aprender conceitos de química relacionados, em especial, à temática da água. Foi dado destaque aos seguintes conceitos: água e seu consumo pela sociedade; água pura e água potável; parâmetros da qualidade da água; uso e preservação da água no mundo; fontes causadoras da poluição da água; tratamento de água e esgoto; e reuso da água. O trabalho aponta que o uso de visita de campo favoreceu o ensino de química de maneira contextualizada, problematizadora e dialógica.

Na D6, licenciandos em química elaboraram história em quadrinhos (HQ) sobre os conceitos de ácidos e bases tendo a chuva ácida como tema transversal. A HQ foi elaborada em grupo pelos licenciandos, usando *softwares* específicos para esse fim. Após a construção da HQ, uma série de atividades foi desenvolvida para avaliar a aceitabilidade e efetividade dessa ferramenta no processo de ensino-aprendizagem dos conceitos abordados. O trabalho aponta que a HQ configurou-se como um material auxiliar ímpar na compreensão por parte dos licenciandos dos conceitos de ácidos e bases e sua relação com problemas ambientais, em especial do tema chuva ácida.

Na D7, ações de natureza teórica e prática foram desenvolvidas no sentido de discutir conceitos de química, física e biologia relacionados com a temática de águas subterrâneas, poluição, seus usos e conservação. Uma das ações foi a realização de um experimento com materiais de baixo custo para testar a capacidade de infiltração/retenção do solo, no qual se trabalhou conteúdos como filtração, diluição, solutos, solventes e concentrações de soluções, e se discutiu o processo de contaminação dos solos e das águas subterrâneas.

Observa-se que os trabalhos buscaram, por diferentes caminhos, discutir e ensinar a química de maneira contextualizada com a temática água, inclusive apresentando, em alguns casos, implicações diretas às comunidades. Esse movimento de ensinar a química de maneira contextualizada é apontado na literatura como um caminho que pode contribuir com a formação de cidadãos críticos. Costa, Martins e Silva apontam que "[...] contextualizar não é promover uma ligação artificial entre o conhecimento e o cotidiano do aluno. Na verdade, deve-se utilizar o conteúdo de Química na perspectiva social, visando à formação do cidadão e o exercício de seu senso crítico" (Costa, Martins e Silva, 2017, p. 3).

A contextualização, no que se refere ao ensino, pode ser realizada via diferentes ferramentas e estratégias, como observado nas dissertações analisadas, a saber: experimentos, visita de campo, história em quadrinhos e teatro. Esse potencial da diversidade dos referidos elementos é também apontado no trabalho de Raupp e Reppold (2020). As autoras analisaram trabalhos publicados na revista *Química Nova na Escola* no período de 2009-2019, com o intuito de investigar como a contextualização vem sendo desenvolvida no ensino de química e quais as temáticas abordadas.

Observou-se no trabalho de Raupp e Reppold (2020) que a contextualização pode ocorrer por meio da abordagem cotidiana, metodológica e socioambiental. A abordagem cotidiana é caracterizada como o momento em que o professor explica um conceito de química e faz uso de um exemplo do cotidiano do aluno. Nesse processo são apresentadas "situações do cotidiano exemplificando de forma pontual a relação do conteúdo químico com o cotidiano, sem propiciar uma reflexão social, econômica e/ou cultural mais ampla" (Raupp e Reppold, 2020, p. 17326).

A abordagem metodológica configura-se quando as atividades pedagógicas são iniciadas por meio de situações do cotidiano para colaborar no processo de ensino-aprendizagem

de conceitos de química. Como exemplo, as autoras citam um artigo que "desenvolve a abordagem metodológica ao propor aplicação de atividades investigativas em aulas teóricas de química na qual os alunos foram requeridos a levantar hipóteses sobre porque o cheiro de algo pode ser sentido a longas distâncias mesmo na ausência de vento" (Raupp e Reppold, 2020, p. 17326). Já na abordagem socioambiental há uma contextualização pautada em ensino de química direcionado ao desenvolvimento do cidadão crítico, por meio de debates críticos relacionados, por exemplo, a química verde, a elementos da ciência, tecnologia e sociedade, entre outros aspectos. Quanto aos resultados da pesquisa relacionados às ocorrências das temáticas, observou-se que a de maior frequência foi a ambiental, envolvendo assuntos como qualidade do ar, qualidade da água, aquecimento global, entre outros (Raupp e Reppold, 2020).

Pesquisando na literatura é possível encontrar outros trabalhos que trazem considerações sobre a contextualização da temática água para o desenvolver do ensino de química. É o caso de Quadros (2004), em que se apontam algumas possibilidades para essa relação, como a discussão do tema água doce, com a qual se abordam

> [...] *problemas de salinização do solo, que já são bastante conhecidos em regiões que usam, de forma mais sistemática, a tecnologia de irrigação do solo. Além disso, esses* íons *todos, presentes tanto na* água *doce quanto na* água *salgada, exigem conceitos de solubilidade. A discussão sobre extração de sal do mar levará ao estudo das ligações iônicas* (Quadros, 2004, p. 29).

Ensino de química para o Desenvolvimento Sustentável

Como mencionado no item metodologia, nenhuma citação aos ODS foi observada nas dissertações. Assim, nesta seção as relações discutidas dos ODS com as atividades realizadas e os desdobramentos para o ensino de química para o desenvolvimento sustentável com a temática água são decorrentes da interpretação de autores deste trabalho. Foram identificados, nas dissertações analisadas, sete ODS dentre os dezessete preconizados na Agenda 2030.

Observa-se, na Figura 1, que o ODS 6 (Água Potável e Saneamento) esteve presente em todas as dissertações (sete no total), seguido do ODS 4 (Educação de Qualidade), também em sete dissertações, dos ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), em três dissertações, e os ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ODS 3 (Saúde e Bem-Estar) e ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), em apenas uma dissertação cada.

[...] nesta seção as relações discutidas dos ODS com as atividades realizadas e os desdobramentos para o ensino de química para o desenvolvimento sustentável com a temática água são decorrentes da interpretação de autores deste trabalho. Foram identificados, nas dissertações analisadas, sete ODS dentre os dezessete preconizados na Agenda 2030.

O ODS 6 foi observado em todas as sete dissertações, quando da mobilização de metas como: 6.3 (*Até 2030, melhorar a qualidade da* água, *reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo* à *metade a proporção de* águas *residuais não tratadas, e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização segura globalmente*), 6.5 (*Até 2030, implementar a gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis, inclusive via cooperação transfronteiriça, conforme apropriado*) e 6.6.b (*Apoiar e fortalecer a participação das comunidades locais, para melhorar a gestão da* água *e do saneamento*).

As metas foram refletidas em atividades, por exemplo, de avaliação da qualidade da água, por meio de análises físico-químicas. Na D2, foram observadas alterações em alguns parâmetros, como salinidade e pH, com concentrações fora das recomendações para o consumo humano, resultando na execução sistemática de ações para promover o diálogo entre a Secretaria Municipal de Saúde de Araguatins/TO e a população do assentamento Palmares, para a sensibilização

Figura 1: Relações entre os ODS e as dissertações desenvolvidas envolvendo o ensino de química e a temática água. Fonte: Elaboração dos autores (2021). Fonte ícones: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs

de preservação dos recursos hídricos e otimização do tratamento da água utilizada para consumo humano, refletindo em contribuições do indicador 6.5.1, que envolve o grau de implementação da gestão integrada de recursos hídricos.

Quanto ao ODS 4, por meio do desenvolvimento de produtos pedagógicos e outras ações nas dissertações, foi possível identificar, por exemplo, a meta 4.7 (*Até 2030, garantir que todos os alunos adquiram conhecimentos e habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável*). Exemplo dessa meta encontra-se na D1, que desenvolveu um caderno pedagógico, cujo objetivo foi auxiliar professores da área de ciências a abordar questões ambientais relevantes para a sustentabilidade, integrando conteúdos de química, física e biologia a partir do eixo articulado da temática qualidade da água.

O ODS 12 foi observado mais fortemente na realização de atividades práticas de química, tanto em campo, como em laboratório, como observado em D1, D2 e D7, atingindo a meta 12.4 (*Alcançar o manejo ambientalmente adequado dos produtos químicos e de todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, de acordo com os marcos internacionalmente acordados, e reduzir significativamente a liberação destes para o ar,* água *e solo, para minimizar seus impactos negativos sobre a saúde humana e o meio ambiente*). A D1, por exemplo, abordou os parâmetros físico-químicos e enquadramento de corpos d'água, com relação a conteúdos de química, de forma contextualizada aos processos e alterações ambientais ocasionadas pela ação antrópica e que refletem nos resultados obtidos. Além disso, trouxe importante relação do uso e ocupação do solo associado ao manejo de produtos químicos e resíduos de forma adequada, assuntos bem trabalhados no ensino da química e que reforçam a preocupação da gestão dos resíduos, sejam eles, gasosos, líquidos ou sólidos, para garantia da qualidade ambiental e dos sistemas produtivos.

O ODS 13 foi observado nas dissertações D3, D5 e D6, para a meta 13.3 (*Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação global do clima, adaptação, redução de impacto, e alerta precoce à mudança do clima*). Na D5, a meta foi refletida nos conteúdos de transformação química e de propriedades das substâncias, associados à chuva ácida, abordando elementos das ações antrópicas na formação crítica e ativa dos cidadãos. Considerando a necessidade de discutir o tema das mudanças climáticas, avaliando o atendimento de metas do ODS 13, o *V Relatório Luz* (GT AGENDA 2030, 2021) atribui ao Brasil, em 2021, a condição do indicador "em retrocesso acelerado", reforçando a relevância da formação cidadã, e que o "[...] *debate da mudança do clima por meio da Educação Ambiental é essencial tanto para combater o negacionismo à ciência, quanto para fomentar habilidades e capacidades nas pessoas para a geração de soluções de mitigação e adaptação"* (GT AGENDA 2030, p. 80).

O ODS 2, observado apenas na D4, apresenta relação com a meta 2.4 (*Até 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo*), e envolve o público da Escola Família Agrícola de Ladeirinhas, contribuindo para desenvolver práticas agrícolas resilientes, sempre com apoio e capacitação técnica, consolidados na articulação e no fortalecimentos dos atores locais. O ensino de química foi desenvolvido nas práticas pedagógicas com olhar para a qualidade da água e concentração de contaminantes, abordando conteúdos de classificação de misturas, soluções aquosas e conceito de concentração comum.

O ensino de química foi desenvolvido nas práticas pedagógicas com olhar para a qualidade da água e concentração de contaminantes, abordando conteúdos de classificação de misturas, soluções aquosas e conceito de concentração comum.

No ODS 3, o cuidado no manejo do solo e da água também apresentou contribuição prática nas condições no saneamento básico ofertado à população, como observado na D2, na qual houve mobilização das metas 3.3 (*Até 2030, acabar com doenças transmitidas pela* água), e 3.9 (*Até 2030, reduzir substancialmente o número de mortes e doenças por produtos químicos perigosos, contaminação e poluição do ar e* água *do solo*), resultando no desenvolvimento de cartilha que tratou dos padrões para produtos químicos que apresentam risco à saúde, reverberando no indicador 3.9.2 - Taxa de mortalidade atribuída a fontes de água inseguras, saneamento inseguro e falta de higiene, garantindo acesso à água em quantidade e qualidade necessária. Analisando a implementação dos ODS no Brasil, o *V Relatório Luz*, ao avaliar a meta 3.9, apontou que manteve-se em retrocesso em relação aos anos anteriores, em razão do aumento da pobreza – que dificulta acesso a água potável, saneamento e condições de higiene (GT AGENDA 2030, 2021).

Por fim, o ODS 11, observado apenas na dissertação D5, apresenta mobilização da meta 11.4 (*Fortalecer esforços para proteger e salvaguardar o patrimônio cultural e natural do mundo*), pelas atividades apresentadas na cartilha desenvolvida para favorecer a aprendizagem de química por meio de visitas ao espaço de ensino não formal, o Sítio São João, compreendido como "laboratório" e espaço de conservação ambiental. A problematização local, considerando o polo industrial da região, também fortalece o ODS 11 na construção do conhecimento e na resolução de situações-problema.

Considerações finais

As dissertações analisadas revelaram resultados significativos ao procederem a um ensino de química contextualizado com a temática água, envolvendo, em especial, aspectos

sobre a análise da qualidade da água, conceitos relacionados à gestão de recursos hídricos, disponibilidade da água, usos múltiplos e saneamento básico. Para esse processo foram adotadas diferentes estratégias de ensino, como atividades experimentais, atividades lúdicas, visita de campo e debates, implementadas tanto em contexto de educação formal quanto não formal e em comunidades de assentamentos.

No que concerne ao atendimento dos ODS, em linhas gerais, observou-se importantes reflexões por parte dos alunos e demais atores da sociedade quanto à contribuição do ensino de química para o desenvolvimento sustentável. Também foram observados desdobramentos com implicações diretas para a comunidade, refletidos na observância de sete dentre os dezessete ODS, sendo: ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ODS 4 (Educação de Qualidade), ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ODS 3 (Saúde e Bem-Estar) e ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis).

No que concerne ao atendimento dos ODS, em linhas gerais, observou-se importantes reflexões por parte dos alunos e demais atores da sociedade quanto à contribuição do ensino de química para o desenvolvimento sustentável.

Embora o escopo da nossa pesquisa seja reduzido quando consideramos o total de dissertações defendidas no PROFCIAMB – o que era esperado, visto que a referida rede é composta por educadores de diferentes áreas e não somente de química – os materiais analisados revelam um caminho positivo e promissor em se direcionar o ensino de química para o desenvolvimento sustentável. Esses materiais, para além de servir de base à discussão no contexto da Educação Básica, podem embasar discussões mais amplas sobre essa relação em cursos de formação de professores, tanto no contexto inicial como continuada. Por fim, ressalta-se que as ações desenvolvidas nas dissertações proporcionaram aos alunos processos de ensino e aprendizagem significativos, que resultaram, além da compreensão de conceitos químicos, em momentos reflexivos e de participação social, quanto ao desenvolvimento sustentável vinculado à temática água.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), no âmbito do processo CAPES-UAB/ANA: 2803/2015; ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Rede Nacional para Ensino das Ciências Ambientais; ao Programa Aprender na Comunidade da Pró-Reitoria de Graduação da Universidade de São Paulo (USP) pelo Projeto Nexo - Alimento, Energia e Água no ensino interdisciplinar em cursos de graduação; e ao Programa Inclusão Social e Diversidade na USP e em Municípios de seus *Campi* da Pró-Reitoria de Cultura e Extensão Universitária da USP pelo Projeto "A USP na comunidade: desenvolvimento de sistemas integrados sobre alimento, água e energia em espaços educacionais".

Ariane Baffa Lourenço (ariane.lourenco@usp.br), pós-doutoranda no Centro de Síntese USP Cidades Globais-Instituto de Estudos Avançados - Polo São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP - BR. **Gérsica Moraes Nogueira da Silva** (gersicamns@usp.br), pós-doutoranda no Centro de Síntese USP Cidades Globais--Instituto de Estudos Avançados - Polo São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP - BR. **Aldrei Jesus Galhardo Batista** (aldrei.galhardo@gmail.com), mestrado e doutorado em Educação, pela Universidade Federal de São Carlos. Atualmente é assessora em Designer Instrucional para EaD no PROFCIAMB - Associada USP. São Carlos, SP - BR. **Karen Cristina Pinheiro Musetti** (karen.musetti@usp.br), mestranda no PROFCIAMB - Associada USP. São Carlos, SP - BR. **Paula Penedo Pontes de Carvalho** (ppp.carvalho@gmail.com), mestranda em Divulgação Científica e Cultural (Unicamp) e assessora de comunicação do PROFCIAMB - Associada USP. São Carlos, SP - BR. **Vinicius Perez Dictoro** (viniciusdictoro@usp.br), pós-doutorando no Centro de Síntese USP Cidades Globais - Instituto de Estudos Avançados - Polo São Carlos, da Universidade de São Paulo, bolsista do Edital PRCEU-USP 02/2021 - Inclusão social e diversidade na USP e em municípios de seus campi. São Carlos, SP – BR. **Tadeu Fabricio Malheiros** (tmalheiros@usp.br), docente na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP) e coordenador do PROFCIAMB - Associada USP. São Carlos, SP - BR.

Referências

COSTA, H. R.; MARTINS, L. S. P. e SILVA, A. L. P. Contextualização e experimentação na seção "Experimentação no Ensino de Química" da revista *Química Nova na Escola*: uma análise de 2009-2015. *XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XI ENPEC*. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC – 3 a 6 de julho de 2017. Disponível em: http://www.abrapecnet.org.br/enpec/xi-enpec/anais/resumos/R1674-1.pdf, acesso em out. 2021.

GT AGENDA 2030. *V Relatório Luz da Sociedade Civil Agenda 2030 de Desenvolvimento Sustentável Brasil*. Grupo de Trabalho da Sociedade Civil para a Agenda 2030. Disponível em: https://gtagenda2030.org.br/relatorio-luz/relatorio-luz-2021/, acesso em out. 2021.

MALHEIROS, T. F.; KASHIWAGI, H. M.; ORTÊNCIO FILHO, H.; SILVA, J. G.; MARTINELLI FILHO, J. E.; CAVALCANTE, K. V. e SANTANA, O. A. Desafios e aprendizados do Mestrado Profissional em Rede Nacional para Ensino das Ciências Ambientais. *Revista NUPEM*, v. 12, n. 27, p. 300-318, 2020.

MORAES, R. Análise de conteúdo. *Revista Educação*, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

OLIVEIRA, L.; BARROS, A.; LUNA, K. P. O. e NEVES, C. F. F. Aulas remotas e letramento científico: um relato de experiência. *Revista Interação*, v. 21, n. 1, p. 198-220, 2021.

ONU, AGENDA 2030. *Transformando Nosso Mundo:* A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, 2015. Disponível em: https://www.undp.org/content/dam/brazil/docs/agenda2030/undp-br-Agenda2030-completo-pt-br-2016.pdf, acesso em set. 2021.

QUADROS, A. L. A água como tema gerador do conhecimento

químico. *Química Nova na Escola*, v. 20, p. 26-31, 2004.

RAUPP, D. T. e REPPOLD, D. P. Ensino de química contextualizado: analisando as diferentes perspectivas dos artigos publicados na revista Química Nova na Escola de 2009- 2019. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 4, p.17322-17332, 2020.

ROMANOWSKI, J. P. e ENS, R. T. As pesquisas denominadas do tipo "Estado da Arte" em educação. *Diálogo Educacional*, v. 6, n.19, p.37-50, 2006.

SALES, P. A.; SILVA, H. R. C.; RODRIGUES, A. A. B. e JANUÁRIO, C. A. B. Oficinas pedagógicas como ferramenta de ensino ao incentivo dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU. *Revista Vivências em Ensino de Ciências*, v. 2, n. 2, p. 158-167, 2018.

TORRALBO, D. e MARCONDES M. E. R. A "Água" como tema ambiental no ensino de Química: o que pensam os pesquisadores. *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, v. 22, p. 146-167, 2009.

VENTAPANE, A. L. S. e SANTOS, P. M. L. Aplicação de princípios de Química Verde em experimentos didáticos: um reagente de baixo custo e ambientalmente seguro para detecção de íons ferro em água. *Química Nova na Escola*, v. 43, n. 2, p. 201-205, 2021.

WUO, A. S. Educação de pessoas com transtorno do espectro do autismo: estado do conhecimento em teses e dissertações nas regiões Sul e Sudeste do Brasil (2008-2016). *Saúde e Sociedade*, v. 28, n. 3, p. 210-223, 2019.

Abstract: *Chemistry education and the Sustainable Development Goals (SDG): a study of the theses of the National Network Professional Master's in Environmental Science Education.* A theme of the Sustainable Development Goals (SDGs) of great importance to society is water. To promote discussions about it and awareness of its use, education is configured as an important ally, as well as the chemistry education, by providing scientific knowledge to such an endeavor. Given this scenario, this study aimed to investigate how the theme of water has been discussed in the context of chemistry education in the theses produced by the National Network Professional Master's in Environmental Science Education. We analyzed 7 (seven) of the Master of Science theses defended between 2018-2020 within this profile. The results of the investigation demonstrated that chemistry concepts were approached using different teaching strategies, such as games, field trips, experiments, etc., in order to work on the water theme, and also that this process presented outcomes concerning sustainable development. The actions developed have interface with 7 SDGs, contributing to 10 targets of the 2030 Agenda.
Keywords: water, chemistry education, teacher training, sustainable development

A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160310

Agroecologia e a imagem pública da Química para além do desenvolvimento sustentável

Ângela Rita Teixeira, Ivana Cristina Lovo, Paulo A. Porto e Anielli Fabiula G. Lemes

O presente artigo investiga uma atividade de extensão desenvolvida com estudantes do primeiro ano do ensino médio de uma escola do campo sobre a temática da agroecologia no ensino de ciências da natureza, destacando o ensino de química e a imagem pública da química. O objetivo é discutir as potencialidades e limites de atividades para o levantamento de falas significativas de forma dialógica e problematizadora, a partir da discussão sobre agroecologia. Após a seleção das falas expressas no âmbito da atividade, utilizamos a análise de conteúdo para construir o tema gerador *agrotóxicos*, e discorremos sobre a possibilidade de contribuir para o debate da imagem pública da química.

▶ ensino de química; educação do campo; agrotóxicos ◀

Recebido em 17/11/2021, aceito em 02/04/2022

Neste artigo abordamos o desenvolvimento das atividades de um projeto de extensão intitulado "Projetando a agroecologia: os conhecimentos do Vale para o mundo", e analisamos algumas falas significativas que surgiram nas atividades buscando escolher temas geradores por meio da análise de conteúdo. O projeto foi desenvolvido por uma professora universitária, dois estudantes da licenciatura em Educação do Campo e uma professora regente de uma escola estadual do campo, que é egressa do curso e atualmente é mestranda na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM). O local de seu desenvolvimento foi uma escola estadual do campo que atende cerca de 23 comunidades rurais no distrito de Padre João Afonso, município de Itamarandiba, no Vale do Jequitinhonha, em Minas Gerais. Por conta da pandemia de covid-19, foi desenvolvida apenas a primeira parte das atividades presenciais planejadas no projeto de extensão, que englobou o diálogo sobre a temática agroecologia e reuniu estudantes da escola, professores e agricultores da comunidade do entorno da escola.

A pesquisa se debruçou sobre as atividades desenvolvidas por meio da análise de conteúdo, que foi feita com suporte em referenciais teóricos sobre a agroecologia, o ensino de química em perspectiva freireana, e a imagem pública da química. Foram analisados os registros das atividades realizadas, que incluíram transcrição de gravações em áudio, relatórios e cadernos de campo. Nesse processo, foi levantado o tema gerador "agrotóxicos" para se trabalhar em sala de aula na realidade local. Indicamos neste artigo algumas potencialidades e limites de se integrar aquelas atividades no cotidiano da escola, considerando os princípios da Educação do Campo.

A agricultura dita "moderna" prometia acabar com a fome no mundo. No Brasil, o agronegócio se caracteriza pela produção em monocultura em larga escala de soja e milho, por exemplo, e depende do uso de irrigação, fertilizantes, sementes transgênicas, agrotóxicos e combustíveis fósseis – o chamado pacote da "revolução verde" (Altieri, 2004).

A agroecologia, o ensino e a imagem pública da química

A agricultura dita "moderna" prometia acabar com a fome no mundo. No Brasil, o agronegócio se caracteriza pela produção em monocultura em larga escala de soja e milho, por exemplo, e depende do uso de irrigação, fertilizantes, sementes transgênicas, agrotóxicos e combustíveis fósseis – o chamado pacote da "revolução verde" (Altieri, 2004). Esse modelo de agricultura colaborou para problemas ambientais, como erosão do solo, desertificação, poluição por agrotóxicos e fertilizantes e perda de biodiversidade, não resolvendo a prometida questão da fome e sequer da

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

desnutrição no Brasil e no mundo. Assim, o processo de produção agrícola está relacionado não só a técnicas de produção, mas também a questões sociais, culturais, políticas, ambientais e econômicas (Altieri, 2004).

A perspectiva da agroecologia se abre aos conhecimentos e técnicas agrícolas tradicionais como fonte de conhecimentos e práticas válidas, combinando com técnicas científicas atuais numa abordagem interdisciplinar que inclui também aspectos sociais, ambientais (Altieri, 2004) e educativos. Ela se contrapõe à agricultura "moderna", ganhando espaço cada vez maior nos meios acadêmicos, institucionais e nos movimentos sociais populares do campo nos últimos anos (Guhur e Toná, 2012). A agroecologia é entendida como muito mais que um conjunto de técnicas alternativas e de combate ao uso de fertilizantes, agrotóxicos, sementes transgênicas e outras tecnologias que excluem o ser humano das relações mais integradas com a natureza, e essa integração aproxima a agroecologia das realidades do campo e das cidades. Ela é ciência, prática e movimento. Como ciência, busca construir conhecimento a partir das práticas sociais (conhecimentos tradicionais dos agricultores e agricultoras), levando em consideração também impactos sociais, ambientais e políticos causados pela modernização na estrutura agrária. Assim, a produção de conhecimento técnico-científico pode se constituir em instrumento de transformação social (Padula *et al.*, 2013). Como indica Schmidt (2018, p. 128) "existe um vínculo entre uma visão política (o movimento), uma aplicação tecnológica (as práticas) para atingir os objetivos e uma maneira de produzir o conhecimento (a ciência)".

Segundo Méndez e colaboradores (2013), a agroecologia tem como princípios a transdisciplinaridade, participação, consciência política, orientação à ação para transformar sistemas agroalimentares, articulando saberes acadêmicos e populares. Agricultores e agricultoras são considerados educadores e os principais protagonistas desse processo em construção, como pode ser verificado na organização dos quatro Encontros Nacionais de Agroecologia (ENAs) realizados entre 2002 e 2018 no Brasil. Com base nesses princípios e autores, a agroecologia incorpora a crítica à estrutura política e econômica que conforma os sistemas agroalimentares da sociedade, partindo do entendimento da agricultura como um complexo sistema sócio-cultural-ecológico. A agroecologia preza em reconhecer, aprender e favorecer a diversidade social e ecológica, indicando paradigmas baseados em valores sociais e políticos que contribuem para "um futuro mais justo e sustentável, mediante a remodelação das relações de poder do campo à mesa" (Méndez *et al.*, 2013, p.14-15, tradução nossa).

Trazer essas dimensões para o contexto escolar nos permite refletir, por exemplo, acerca dos alimentos que consumimos, por meio de questões simples e ao mesmo tempo complexas, como a forma de sua produção e consumo e as relações que se estabelecem com o ambiente a sua volta. Nesse contexto, pode-se considerar elementos como a condição do solo, a escassez da água, o aparecimento de doenças e pragas, a presença ou ausência de seres vivos e atividades de ordem biótica nos ecossistemas (Lovo, 2010). Nas pequenas ou nas grandes propriedades, na diversidade ou nas monoculturas, pode-se problematizar quais decisões tomar e apoiar quanto ao uso da natureza e nossa relação com ela. Essas questões podem ser discutidas e aprofundadas nas abordagens em sala de aula. Ribeiro e colaboradores (2007) afirmam que a agroecologia e a Educação do Campo são fundamentais para impulsionar modelos alternativos de campo e sociedade, se contrapondo às análises científicas da realidade separada do sujeito que lá vive, e buscando (re)descobrir a integração do conhecimento com a transformação social.

Trazer essas dimensões para o contexto escolar nos permite refletir, por exemplo, acerca dos alimentos que consumimos, por meio de questões simples e ao mesmo tempo complexas, como a forma de sua produção e consumo e as relações que se estabelecem com o ambiente a sua volta.

A Educação do Campo e a agroecologia se complementam, considerando em comum a variedade de conhecimentos existentes e a criação de estratégias de sistemas alimentares a partir de estratégias de produção e consumo para proporcionar a soberania alimentar. Isso envolve a garantia de acesso à terra e à água, condições para produção, beneficiamento, distribuição e consumo de alimentos, partindo do entendimento de que a alimentação diversificada, saudável e de qualidade é direito de todos e não é mercadoria (Stedile e Carvalho, 2012).

Acresce-se, no âmbito do ensino de ciências, a possibilidade de contribuições da agroecologia como matriz formativa, pois é possível partir da compreensão e valorização dos saberes coletivos e compartilhados, da experiência dos sujeitos campesinos e do contexto de sua realidade para trabalhar os conteúdos de ciências (Gaia, 2017). A agroecologia no ensino de ciências possibilita

> *refletir qual o papel que as práticas pedagógicas possuem na transformação do atual modelo do campo.* (...) *Realizar atividades pedagógicas tendo como tema mediador a Agroecologia possibilita transformações ecológicas e sociais, já que a escola é o principal núcleo de difusão do conhecimento* (Melo *et al.*, 2016, p. 59).

A agroecologia na escola pode ser aliada a propostas de inter e transdisciplinaridade, pois ela própria se caracteriza como uma ciência que, conforme argumenta Caldart (2017), busca superar a fragmentação do conhecimento. No entanto, existem poucas pesquisas que investigam e instrumentalizam a integração da agroecologia nas salas de aulas de ciências, sobretudo na região do Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais. Em levantamento de trabalhos publicados entre 2011 a 2017, em quatro anais do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) – evento mais importante

da área de pesquisa em ensino de ciências, organizado pela Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (ABRAPEC) – somente nove trabalhos foram encontrados contendo as palavras "agroecologia" ou "agroecológico" em seus títulos (Bueno *et al.*, 2017; Carcaioli *et al.*, 2017; Gaia, 2017; Silva e Tonso, 2017; Verrangia, 2017; Carcaioli e Tonso, 2015; Melzer *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2013; Silva *et al.*, 2011). Os nove trabalhos destacam a importância de incluir a temática agroecologia no ensino de ciências tanto para abordagem na educação básica quanto no ensino superior, mas não trazem propostas ou exemplos de como levá-la para as salas de aula.

Locatelli e Santos (2017) realizaram uma pesquisa de estado da arte, abrangendo o período de 2004 a 2016, na qual analisaram a produção científica na forma de artigos em periódicos, trabalhos em eventos e trabalhos de conclusão de curso relacionados ao emprego da agroecologia no ensino de química. Seus resultados revelam a pequena produção de trabalhos sobre essa temática. As autoras argumentam em favor da importância do

> *emprego da filosofia da agroecologia como recurso didático-metodológico, visando mediar as práticas no ensino de ciências/química buscando a 'quebra de paradigmas' com respeito à química, pois ela é sim fundamental no entendimento dos conceitos agroecológicos* (Locatelli e Santos, 2017, p. 246).

Segundo as autoras, uma das razões para não haver muitos trabalhos que aliam a química com a agroecologia é que a química ainda é vista como "vilã" (p. 244), por ser entendida como a ciência que só produz os "sintéticos", ou "artificiais" (agrotóxicos, por exemplo) que fazem mal.

Essa visão negativa da química está relacionada a uma série de fatores, que podem ser desde natureza mítica (como o relato bíblico da destruição de Sodoma e Gomorra por uma chuva de *enxofre* e *fogo*), até aqueles relacionados a guerras, poluição ou desastres (como o de Bhopal, na Índia, por exemplo) (Laszlo, 2006; Russell, 2004). A imagem pública da química é um dos objetos de estudo da contemporânea filosofia da química, em cujo âmbito se tem defendido a inserção desse tema no ensino nos diferentes níveis (Lemes e Porto, 2013). Santos e colaboradores (2015) analisaram artigos de divulgação científica publicados na revista *Ciência Hoje* e demonstraram que a imagem pública da química apresenta aspectos positivos e negativos. Entre os aspectos negativos, destaca-se a imagem da química como "ciência poluidora" (p. 55), principalmente relacionada à possibilidade das substâncias químicas produzidas causarem prejuízos à natureza e à saúde humana. Para modificar essa concepção difundida pela sociedade, é importante que na educação básica se apresente a perspectiva de que a química é feita por seres humanos – a quem cabe utilizar o conhecimento dessa ciência para produzir e utilizar as substâncias químicas de forma a concentrar a riqueza entre alguns poucos ou, alternativamente, de forma a promover o bem-estar social. Os estudantes precisam ser apresentados a reflexões sobre o significado dos elementos químicos, moléculas, e outras entidades químicas, de forma a compreenderem que estas, em si mesmas, não causam mal ao ambiente. Ao contrário, são constituintes de todas as substâncias que compõem nossa realidade material. Por exemplo, deve-se promover a compreensão de que o elemento nitrogênio, constituinte majoritário da atmosfera terrestre, está presente nas proteínas de nosso corpo. Para chegar em nosso corpo, necessita-se que bactérias façam sua fixação, incorporando esse elemento em moléculas mais complexas constituintes das plantas e que estas sejam consumidas pelos animais. Esse é um exemplo que revela parte da importância do ciclo biogeoquímico do nitrogênio e, em particular, de sua importância para a agricultura – mas o mesmo elemento químico nitrogênio é também constituinte das moléculas do glifosato, um agrotóxico do tipo herbicida que pode causar danos à saúde e ao ambiente.

A imagem pública da química é um dos objetos de estudo da contemporânea filosofia da química, em cujo âmbito se tem defendido a inserção desse tema no ensino nos diferentes níveis (Lemes e Porto, 2013).

Braibante e Zappe (2012) apresentam um histórico sobre os agrotóxicos, suas estruturas moleculares e propriedades, e estabelecem relações para o ensino de química. As autoras responsabilizam os males aos seres humanos e ao ambiente, causados pelos agrotóxicos, a sua má utilização pelos usuários (como o uso de altas dosagens e falta de EPIs), não adentrando a discussão sobre quem utiliza o conhecimento químico para produzir os agrotóxicos e levam os agricultores a utilizá-los na produção. Há que se considerar que o Estado não tem condições de monitorar o uso dos agrotóxicos, por diversos fatores estruturais e por falta de políticas públicas, mas também pela correlação de forças que direcionam as decisões baseadas no neoliberalismo – que se voltam para o lucro e não para a produção de alimentos diversificados e saudáveis para a população (Rigotto e Rosa, 2012). Propagandeia-se o argumento de que há aumento na produtividade quando se utilizam os agrotóxicos, mas não se discute *o que* se produz: na maioria das vezes, não são alimentos, mas *commodities**.

Em outro trabalho sobre agrotóxicos, Santos e colaboradores (2021) abordam o ensino de funções orgânicas. Mesmo utilizando a perspectiva freireana para a organização de uma sequência didática e citando alguns referenciais de agroecologia, os autores não aprofundam a problematização da temática a ponto de fornecer subsídios para um questionamento mais qualificado das disputas de interesses relacionados à produção de alimentos. O artigo de Santos e colaboradores (2021) conduz a discussão no sentido de que se pode usar agrotóxicos, desde que da maneira correta, e os conteúdos de química são apresentados para possibilitar a compreensão sobre agrotóxicos e seu manejo, sem questionar os modelos de agricultura, de desenvolvimento

e de sociedade que eles representam. Assim, a imagem da química fica associada ao entendimento sobre a toxicidade das substâncias, e se reforça a noção de que os produtos químicos são perigosos, além de individualizar a culpa pelo uso desses produtos sem questionar quem os produziu e porquê.

Materializar a Educação do Campo, pela perspectiva freireana em diálogo com a agroecologia, requer do educador a proposição de atividades que conectem a realidade do educando à realidade científica, sem que uma anule a outra. Ao se reforçar que a utilização de agrotóxicos, ainda que corretamente manejados, é a única alternativa para a produção agrícola, se descarta o conhecimento tradicional acumulado, utilizando a ciência – no caso, a química – como uma forma de "invasão cultural" (Freire, 2020, p. 205).

Nesse contexto, ressaltamos a importância da discussão da imagem pública da química, que pode contribuir para mudar a forma como a química é vista pela sociedade, a partir da temática da agroecologia pela perspectiva freireana.

Agroecologia, Educação do Campo e uma perspectiva freireana para o ensino de química

De acordo com Caldart (2012), a Educação do Campo, cujos principais protagonistas são os trabalhadores e trabalhadoras do campo, bem como os movimentos sociais a que eles se vinculam, objetiva atuar não apenas sobre as políticas de Educação, mas também no projeto de campo (agroecológico) e sociedade. Nesse sentido, pode-se afirmar que a Educação do Campo é um projeto contra-hegemônico que visa defender e garantir direitos das populações campesinas e também contribuir com a mudança na sociedade em geral. Para isso, toma como pontos de partida o entendimento e a valorização da cultura, do modo de ser e de estar das comunidades campesinas numa determinada realidade, assim como suas formas de produção e consumo. Considera também diferentes aspectos associados à organização do modo de vida desses sujeitos, com o objetivo não apenas de intervir, mas também de transformar a realidade. O decreto no. 7.352 de 4 de novembro de 2010, do Ministério da Educação (MEC), que trata da "Política de Educação do Campo e o Programa Nacional de Educação na Reforma Agrária", ressalta os cinco princípios para se efetivar a Educação do Campo. São eles: i) o respeito à diversidade do campo; ii) o incentivo à construção de projetos políticos pedagógicos na perspectiva da Educação do Campo; iii) o desenvolvimento de políticas específicas para a formação de profissionais da educação na perspectiva da Educação do Campo; iv) a valorização da identidade campesina nas escolas do campo, utilizando metodologias adequadas a suas realidades; v) participação da comunidade e movimentos sociais no controle da qualidade da educação (Brasil, 2010).

É preciso que esses princípios sejam contemplados na organização curricular e nas propostas metodológicas das escolas do campo, de modo a garantir aos povos do campo o acesso a uma educação pensada para atender suas especificidades. Se existem campos diversos, a forma de inserção e a organização dessas propostas também devem ser diversificadas, oferecendo condições para que cada instituição atue de forma dialógica, interagindo com as comunidades nas quais estão inseridas, pois cada uma traz em si elementos próprios e que demandam metodologias adequadas.

A Educação do Campo também contribui com o esforço em favor da transição de modelos econômicos, que propõe novas perspectivas para a agricultura no âmbito da economia brasileira, como a agroecologia (Caldart, 2012). Assim, promove reflexões sobre aspectos da marginalização a que a agricultura camponesa está submetida no atual modelo de ocupação do campo e de produção nesses espaços. Segundo Fernandes e Molina (2004), a desvalorização da agricultura familiar e do modo de vida campesinos são problemáticas também estudadas na perspectiva da Educação do Campo, a qual objetiva a superação do entendimento de que os camponeses e suas técnicas são improdutivos e que o campo não é espaço de vida.

Assim, a Educação do Campo, enquanto prática social, atua na consciência de mudança, na busca por uma educação que legitime os direitos dos camponeses, em consonância com a pedagogia do oprimido (Caldart, 2012). Segundo Freire (2020), um dos grandes desafios do ser humano é conhecer sobre si, e quanto mais conhece sobre si e sua história, mais indagações surgem, o que gera um constante processo de busca, encontro e transformação.

A Educação do Campo também contribui com o esforço em favor da transição de modelos econômicos, que propõe novas perspectivas para a agricultura no âmbito da economia brasileira, como a agroecologia (Caldart, 2012). Assim, promove reflexões sobre aspectos da marginalização a que a agricultura camponesa está submetida no atual modelo de ocupação do campo e de produção nesses espaços.

Se pensarmos no longo período que as crianças, adolescentes, jovens ou adultos passam na escola, e quanto do conteúdo visto continua a ser mobilizado após a conclusão das etapas da Educação Básica, certamente iremos refletir sobre a necessidade de se adequar o ensino à realidade dos estudantes e a seus anseios para o futuro, e assim tornar a educação mais significativa, não apenas no campo, mas também na cidade. De acordo com Freire (2020), o processo educativo deve promover a humanização em vez de limitar a vocação histórica dos seres humanos por meio de currículos que não se adequam à realidade nem a problematizam. Se o currículo está a serviço de uma ordem social que perpetua a condição de opressão, ou seja, se atende a um sistema que desconsidera os saberes dos seus sujeitos e não se propõe a uma prática educativa humanista e libertadora – num processo que Freire (2020) descreve como falsamente generoso – a escola acaba por se constituir em um espaço de permanência da injustiça. Assim, os educadores, em uma perspectiva libertadora,

devem reconhecer as "situações-limites" (Freire, 2020, p.126) – aquelas situações ou falas que remetem a situações que limitam o entendimento, que trazem desesperança – e transformá-las em uma "fronteira" (p, 130), inédito viável ou início que o estudante deve transcender para ir ao encontro de ir mais, superando essas situações.

Os temas geradores partem das situações-limites, procurando motivar os educandos a atuar na realidade para entendê-la, problematizá-la e modificá-la. As situações-limites podem aparecer em falas significativas (ou seja, relacionadas concretamente à vida dos educandos) que apontam para questões em torno de um tema. Esses temas são geradores, pois provocam reflexões não apenas em uma unidade curricular, mas articulam e geram novos temas para trabalhar outros conteúdos (Freire, 2020). Neste trabalho, para o levantamento das situações-limites e, consequentemente, a criação de temas geradores, foi utilizado o conceito de *fala significativa*, isto é, "as falas dos diferentes segmentos escolares que trazem a denúncia de algum conflito ou contradição vivenciados pela comunidade local e que expressam uma determinada concepção, uma representação do real" (Silva, 2004, p. 18).

Em uma perspectiva freireana, o ensino de química pode partir de temas levantados em sala de aula, em diálogo com os estudantes e representantes da comunidade em que vivem, para identificar e problematizar as situações-limites e contextualizar os conceitos químicos. Dessa forma, é possível ressignificar a imagem pública da química e possibilitar aos estudantes ultrapassarem as situações-limites levantadas e terem ferramentas para propor e transformar sua realidade.

Em uma perspectiva freireana, o ensino de química pode partir de temas levantados em sala de aula, em diálogo com os estudantes e representantes da comunidade em que vivem, para identificar e problematizar as situações-limites e contextualizar os conceitos químicos.

Metodologia

O projeto "Projetando a agroecologia: os conhecimentos do Vale para o mundo" teve como objetivos fazer o levantamento, divulgação e valorização, de forma dialogada e problematizadora, de práticas agroecológicas das comunidades em que vivem os estudantes do primeiro ano do ensino médio da Escola Estadual Padre João Afonso, localizada em distrito de mesmo nome, no município de Itamarandiba-MG, no Alto do Vale do Jequitinhonha, e classificada como escola do campo. No entanto, devido à pandemia de covid-19, somente foi possível realizar as atividades de levantamento das falas significativas na escola.

No momento em que o projeto foi desenvolvido, a escola atendia cerca de 300 estudantes de 23 comunidades rurais do entorno, ofertando os anos finais do ensino fundamental e ensino médio. Participaram diretamente das atividades de pesquisa e desenvolvimento do projeto os 41 estudantes do 1º ano do ensino médio dos turnos da manhã e noite. Com idades entre 14 e 16 anos, todos tinham vínculos com a terra (roça), sendo a maioria filha/filho de pequenos agricultores ou de pessoas que exercem atividades ligadas direta ou indiretamente ao manejo da terra, como a pecuária de leite, por exemplo. As atividades realizadas foram:

1) Apresentação do projeto para os estudantes da turma; organização dos estudantes em grupos para levantamento de suas percepções acerca dos modos de plantio e relação com a terra em casa ou no entorno de onde moram, e do que eles entendiam sobre agroecologia (1 aula de 50 minutos);
2) Compartilhamento das percepções dos grupos na forma de apresentação de cartazes; exposição e discussão do conceito teórico de agroecologia, com base no texto "Agroecologia e conteúdos escolares" de Lovo (2010) (2 aulas de 50 minutos cada);
3) Produção de perguntas para a entrevista realizada pelos estudantes com agricultores da comunidade onde vivem; escolha dos nomes dos agricultores para virem até a escola participar de uma roda de conversa (2 aulas de 50 minutos cada);
4) Roda de conversa, conduzida pelos estudantes a partir do roteiro de perguntas construído em sala, com os agricultores na escola (2 aulas de 50 minutos cada).

Essas atividades foram desenvolvidas dentro do componente curricular de Biologia, com a participação de dois licenciandos em Educação do Campo (moradores da comunidade). A professora regente, moradora da comunidade, é egressa do curso de Licenciatura em Educação do Campo e também é a mestranda que analisou as atividades. Além das atividades desenvolvidas com os estudantes e agricultores, houve também atividades de planejamento e partilha entre a professora regente/mestranda, os licenciandos e a professora da Universidade, sobre as quais tecemos considerações mais adiante.

As atividades foram registradas por meio de relatórios produzidos pela equipe do projeto (licenciandos, professora regente/mestranda e professora da Universidade), fotos, cadernos de campo e áudios que foram transcritos posteriormente. Os dados construídos foram analisados por meio da análise de conteúdo (Bardin, 2009). Essa técnica de análise, associada ao referencial teórico de agroecologia, permitiu organizar os dados de modo a ressaltar possíveis situações significativas e, por fim, temas geradores para serem trabalhados em sala de aula, por meio da construção de categorias.

Utilizamos a análise de conteúdo como ferramenta para o levantamento de temas geradores, pois a paralisação das atividades presenciais da escola e a necessidade de distanciamento social forçou a interrupção dos momentos de diálogo entre educandos, educadores e agricultores. A intenção do projeto era seguir a perspectiva freireana *stricto sensu*, fazendo o levantamento dos temas geradores na continuidade dos

diálogos presenciais, mas isso não foi possível. Ainda assim, a pesquisa permitiu analisar o processo de desenvolvimento das atividades realizadas, tendo como referenciais teóricos a Educação do Campo e a perspectiva freireana, e buscando caracterizar as potencialidades e desafios de se incorporar tais atividades no cotidiano da escola.

Neste artigo, discutimos possíveis temas geradores que podem ser trabalhados para o ensino de química. Esses temas emergiram da discussão de uma das 28 questões construídas coletivamente (entre estudantes, licenciandos e professora/mestranda) que compunham o guia para a roda de conversa, a saber: "Qual a importância da agricultura para você?". As falas significativas dessa roda de conversa foram categorizadas, e neste artigo focalizamos a categoria "agrotóxicos" e duas subcategorias: "a química e a saúde" e "a química e as contradições" que podem ser abordadas no âmbito do ensino de química. Assim, iremos discutir os desafios e potencialidades de se incorporar tal perspectiva em sala de aula e, na sequência, iremos expor a discussão sobre o tema no ensino de química.

As atividades desenvolvidas para o levantamento das falas dos educandos e da comunidade exigiram muitas horas de planejamento, para além do horário reservado para os professores planejarem suas aulas. Além disso, a forma de organização da escola dificulta o trabalho coletivo dos educadores: neste caso, somente foi possível envolver a professora regente de biologia/ciências com os estagiários da Universidade.

Resultados e discussão

Potencialidades e desafios de se incorporar tais atividades no cotidiano da escola

Algumas questões se mostraram especialmente relevantes para a integração das atividades de levantamento das falas ao cotidiano da escola, a saber: i) necessidade de formação dos educadores nas perspectivas freireana e da Educação do Campo; ii) necessidade de políticas públicas para valorização da educação que possibilitem mais tempo remunerado ao professor para diagnosticar a realidade e planejar com o coletivo de educadores; e iii) adequação da organização curricular da escola. Esses três aspectos são discutidos a seguir.

i) Necessidade de formação dos educadores nas perspectivas freireana e da Educação do Campo.

No desenvolvimento deste projeto, tanto a professora regente (egressa da Universidade e mestranda) quanto a professora universitária e os licenciandos que participaram do planejamento e execução das atividades são ligados à Licenciatura em Educação do Campo. As licenciaturas em Educação do Campo formam profissionais orientados pela relação entre território, trabalho, educação e cultura (Molina, 2017). No entanto, trabalhar nas escolas do campo se constitui em um desafio para os professores, pois as normas para contratação de professores, seja por concurso público ou em caráter temporário, ainda desconsideram essa formação específica entre os critérios. Outra dificuldade é a falta de oferta de formação continuada nessa temática, que requer não apenas o oferecimento dos cursos, mas também condições materiais para que os professores possam estudar com qualidade. É importante ressaltar que não há aqui intenção de menosprezar outras formações, ou de excluir professores formados em outras áreas das propostas e ações da perspectiva da Educação do Campo nas escolas. O intuito é alertar para o fato de que a formação na área e a valorização dos aspectos múltiplos dos vários campos que existem, bem como dos processos históricos de luta pelo direito à terra e a uma educação crítica e de qualidade, situa os professores formados em Educação do Campo numa posição de (re)conhecimento da realidade e das situações-limites existentes nela.

ii) Necessidade de políticas públicas para valorização da educação, que possibilitem mais tempo remunerado ao professor para diagnosticar a realidade e planejar com o coletivo de educadores.

As atividades desenvolvidas para o levantamento das falas dos educandos e da comunidade exigiram muitas horas de planejamento, para além do horário reservado para os professores planejarem suas aulas. Além disso, a forma de organização da escola dificulta o trabalho coletivo dos educadores: neste caso, somente foi possível envolver a professora regente de biologia/ciências com os estagiários da Universidade. Ressalta-se aqui a potencialidade de expandir o trabalho para todas as unidades curriculares.

iii) Adequação da organização curricular da escola.

A questão da organização curricular da escola está relacionada à fragmentação das unidades curriculares em horários estanques, pois é muito difícil o aprofundamento de uma ideia, ou de um conjunto de ideias, em 50 minutos de aula. Para a realização das ações do projeto, foram feitas trocas de horários com outros professores da escola, de modo a permitir que houvesse sequência nas atividades planejadas e na linha de raciocínio estabelecida.

Levantamento de falas para a criação de temas geradores

A agroecologia foi apresentada aos estudantes como temática iniciadora do diálogo, e permitiu aos participantes apontarem situações específicas do contexto de produção de alimentos na comunidade. Nesse processo, algumas situações-limites nas falas foram detectadas e trouxeram à tona possíveis temas geradores. Foram observadas, a partir da análise das atividades do projeto de extensão, falas significativas em torno da utilização dos agrotóxicos. Mais especificamente, a "culpa da química" como uma situação-limite, na qual a química é entendida como "tóxica" (ou como produtora de produtos tóxicos). Em uma perspectiva

freireana, é preciso mediar essa realidade, resgatando os modos de produção anteriores à utilização de agrotóxicos e dialogando esses conhecimentos com os conhecimentos da química. Desse modo, propicia-se que estudantes e comunidade entendam que a química é desenvolvida por seres humanos que podem ou produzir agrotóxicos, ou produzir compostos (ou misturas de compostos) aliados à perspectiva da agroecologia. Propicia-se também o entendimento de que essa escolha reflete a perspectiva e os modos de vida relacionados aos interesses dos sujeitos sociais, que podem ser os agricultores, as comunidades, as empresas, entre outros que configuram as realidades locais. Se essas reflexões forem agregadas à perspectiva agroecológica, os processos e modos de vida tradicionais poderão ser entendidos no contexto histórico e poderão ser valorizados, aprimorados, atualizados, e não simplesmente negados.

A perspectiva exposta na análise apresentada mais adiante tem como objetivo fornecer subsídios para que os conhecimentos trabalhados superem as situações-limites e reforcem o modo de vida tradicional, utilizando a ciência e as tecnologias para aprimorar esse conhecimento em vez de extingui-lo.

Na roda de conversa, a proposição da pergunta "Qual a importância da agricultura para você?" deu origem a falas dos agricultores que foram posteriormente classificadas na categoria "agrotóxicos". Essa categoria, que é um tema gerador, foi criada a partir das falas que expressavam preocupação em utilizar agrotóxicos ou "a química", pois poderiam ser prejudiciais à saúde; e outras falas revelavam contradições em torno do tópico. Esse tema gerador se relaciona a vários conteúdos, não só de ciências da natureza, mas também de ciências humanas e sociais. Neste artigo, o enfoque recai sobre o conteúdo de química, e assim dividimos a categoria "agrotóxicos" em duas subcategorias: a) a química e a saúde; e b) a química e as contradições. A seguir, apresentamos alguns exemplos de falas dos agricultores, com grifos nossos que destacam aspectos que foram categorizados.

A perspectiva exposta na análise apresentada mais adiante tem como objetivo fornecer subsídios para que os conhecimentos trabalhados superem as situações-limites e reforcem o modo de vida tradicional, utilizando a ciência e as tecnologias para aprimorar esse conhecimento em vez de extingui-lo.

a) **Agrotóxicos: a química e a saúde**
a1) "Plantar para poder fazer uma boa alimentação daquilo que é orgânico, para **não ter químico** nenhum, ter um **produto saudável**, aí sempre **não mexer com químico** nenhum, o importante é isso, por que você compra essas coisas de fora, **cheio de químico**, aí você já vai comer uma **coisa contaminada**, que é **prejudicial à saúde**."
a2) "Vai plantar e colher numa terra boa **sem agrotóxico**, e plantar pra poder fazer uma **boa alimentação** daquilo que é **orgânico**."

b) **Agrotóxicos: a química e as contradições**
b1) "Aqui a gente **não usa agrotóxico**. Nossos alimentos são orgânicos. **Só uso o randap** [*Roundup*®] pra matar o mato, mas **agrotóxico, não**!"
b2) "Aí depende, é lógico que com o produto orgânico, ninguém quer o **agrotóxico**, quer um **produto puro**."

Nota-se que as subcategorias se sobrepõem no que se refere ao entendimento da química associada a juízos de valor negativos. Nas falas, os termos *agrotóxico*, *químico* e *veneno* são utilizados como sinônimos. Na subcategoria "a química e a saúde" foram classificadas as falas que expressam uma relação negativa direta entre os agrotóxicos/química e a saúde. Na subcategoria "a química e as contradições", por sua vez, foram agrupadas as falas que expressavam entendimentos errados ou inconsistentes sobre conceitos de natureza química. Na perspectiva dialógica, há que se ressaltar nas falas dos agricultores o entendimento de que os agrotóxicos não devem ser usados, e reforçar e valorizar as práticas tradicionais utilizadas por eles.

Na subcategoria "a química e a saúde", a primeira fala (a1) mencionada acima traz à tona a discussão de que "produtos orgânicos não têm química". Assim, se considera que plantas que não foram cultivadas com agrotóxicos são inofensivas, não considerando que o consumo de mandioca brava, por exemplo, pode ser até mesmo fatal se não for feito um rigoroso processo de eliminação do cianeto nela presente. Outro exemplo de problema que esse entendimento pode trazer é considerar que uma calda de fumo, a qual contém a nicotina que atua como repelente de insetos em hortaliças, sendo "natural/orgânica", não requer cuidados em seu manuseio (como utilização de luvas, diluição da calda e tempo de carência para usar as plantas tratadas com ela – cuidados que, de fato, são necessários, pois a exposição à nicotina pode ser prejudicial à saúde).

Na subcategoria "a química e as contradições", a primeira fala (b1) ilustra o não entendimento a respeito do que são os agrotóxicos. O agricultor fala que não usa agrotóxicos, mas logo em seguida fala que usa *Roundup*® (nome comercial de um produto à base de glifosato), que é um herbicida – sendo, portanto, um agrotóxico. Fica a impressão de que, para o agricultor, agrotóxicos são os produtos não comuns, ou com ação diferente de herbicida (inseticida, fungicida, entre outros), utilizados por outras pessoas, não por ele. No segundo exemplo de fala (b2), temos um entendimento não científico sobre o que é "ser puro". Para esse agricultor, a pureza está relacionada ao natural, limpo, imaculado e não a uma substância de composição fixa e definida, como conceitua a química. Assim, não tem o entendimento de que um tomate, por exemplo, não é puro quimicamente, mas uma mistura de muitas substâncias, independente de ser cultivado sem agrotóxico. A utilização de agrotóxico, nesse caso, parece ser entendida como algo que vai corromper o

alimento, tirando sua pureza original. Nessa linha de raciocínio, pode-se considerar que o produto químico é aquilo que tira essa pureza. Do ponto de vista químico, por outro lado, uma calda de alho e cebola, alternativa à utilização de fungicida no tomate, é uma mistura de substâncias químicas.

Embora um dos agricultores tenha afirmado que "*ninguém vai querer um produto com agrotóxico, ao invés de um puro*", outra de suas falas se contrapõe a essa ideia: "*os produtos dos supermercados, maiores e mais vistosos, são preferidos aos dos pequenos agricultores*". Sendo assim, os alimentos com agrotóxicos seriam os preferidos para a compra, ao invés dos produtos sem agrotóxicos, que não são tão vistosos.

Na análise das duas subcategorias, ressaltamos a codificação e a descodificação das falas, expondo as situações-limites, que são os elementos de problematização na ação pedagógica do tema gerador "agrotóxicos". Em torno desse tema se pode trabalhar a ideia de que o conhecimento da química é extremamente necessário para a identificação e entendimento das propriedades das substâncias na natureza.

Na análise das duas subcategorias, ressaltamos a codificação e a descodificação das falas, expondo as situações-limites, que são os elementos de problematização na ação pedagógica do tema gerador "agrotóxicos". Em torno desse tema se pode trabalhar a ideia de que o conhecimento da química é extremamente necessário para a identificação e entendimento das propriedades das substâncias na natureza. A química não é um produto, tampouco se limita à síntese de substâncias. Além disso, cabe discutir que as substâncias sintéticas não são "as vilãs" por si mesmas, mas que os problemas devem ser entendidos no contexto do modo capitalista de produção e consumo, que explora trabalhadores e o ambiente. No caso em questão, o agricultor se torna dependente de um produto – pois se cria a necessidade de comprar o agrotóxico para produzir – e seu uso em larga escala não considera os impactos danosos aos ecossistemas ou às fontes de água. Assim, a discussão desse tema gerador nas aulas de química pode abordar aspectos da imagem pública da química e também conceitos como substância pura e misturas; reações químicas; tabela periódica; ligações químicas; interações intermoleculares; entre outros conceitos e aspectos inter- e transdisciplinares.

Além disso, o tema agrotóxicos pode desencadear ou – usando os termos de Freire – gerar outros temas a serem trabalhados, como, por exemplo, a questão dos fertilizantes sintéticos. Esse insumo está aliado ao uso dos agrotóxicos no pacote "sementes transgênicas + fertilizantes sintéticos + agrotóxicos". Para além de entender que os fertilizantes são sais e que influenciam o equilíbrio osmótico da mistura do solo com os organismos vivos, se pode discutir também que fertilizantes como o NPK só contribuem para o solo com compostos de três elementos químicos: nitrogênio, fósforo e potássio. A solubilidade em água desse fertilizante é alta, fazendo com que ele seja arrastado pela água da chuva até os vários reservatórios naturais de água. A compostagem (que utiliza restos de alimentos, galhos e fezes de animais), em contrapartida, resulta em um fertilizante que traz muitos outros nutrientes para o solo além dos compostos de NPK – por exemplo, elementos essenciais como o cobre.

Desse modo, a temática agroecologia possibilita integrar o levantamento de práticas de manejo da terra e as diferentes formas de cultivo ao cotidiano da sala de aula, originando temas geradores não apenas para a unidade curricular de química, instrumentalizando os estudantes e a própria comunidade para questionar a realidade e nela intervir, modificando a imagem da química e promovendo transformação social.

Considerações finais

Promover uma leitura de mundo diferente dentro do espaço escolar oferece perspectivas de reconstrução da relação da comunidade com a natureza e os recursos dela provenientes (Lovo, 2010). Entre essas perspectivas, destaca-se a necessidade de romper com a ideia, dominante na lógica do capital, de que bens comuns – como os alimentos – devam ser transformados em mercadoria. Há necessidade de se promover a conexão das escolas do campo com os movimentos e articulações de luta e de trabalho realizados pela classe camponesa em seu desafio histórico (Caldart, 2017). Isso requer um trabalho transdisciplinar, no qual a área de ciências humanas tem o importante papel de se debruçar sobre as múltiplas realidades do campo e na luta pelo direito à terra.

Pautadas pela temática da agroecologia, as atividades do projeto descrito neste artigo propiciaram o levantamento de falas significativas que explicitam situações-limites e, destas, temas geradores que podem ser trabalhados em diversas unidades curriculares. O tema gerador "agrotóxicos" pode ser estudado nas aulas de química, não apenas para construir conceitos de química de forma contextualizada e problematizadora, mas também para discutir a imagem pública da química. Esse conjunto de atividades encontra-se em consonância com os objetivos da Educação do Campo, pois valoriza a ressignificação dos saberes e o processo de ensino-aprendizagem no campo. A escola em que o projeto foi desenvolvido reforçou seu papel como espaço de luta e enfrentamento, na medida em que deu espaço e voz aos agricultores e agricultoras, e suas falas deram origem a propostas de ações pedagógicas para se incorporar no currículo.

Estudar química, a partir da temática da agroecologia, pode fazer com que os estudantes reconheçam aspectos químicos relevantes na interação individual e coletiva do ser humano com o ambiente, que podem ser práticas culturais tradicionais aliadas a novas tecnologias. Propõe-se, nesses termos, que tais estudos contribuam para aumentar a noção de pertencimento dos estudantes em suas comunidades, ampliar sua perspectiva de autonomia para refletir sobre sua realidade, e resistir a modelos de agronegócio que apenas mercantilizam os bens da natureza.

Ressalta-se que a discussão sobre agroecologia vai além da educação ambiental, pois não se defende somente o desenvolvimento sustentável: o movimento agroecológico e a Educação do Campo lutam por outro projeto de campo e sociedade, no qual o foco não é "sustentar" o sistema capitalista, mas buscar alternativas que levem em consideração o bem estar de todos, sem exploração dos seres humanos e do ambiente. Entendemos que a integração dessas práticas na rotina das escolas do campo não irá mudar o sistema como um todo, mas esperançamos que irá contribuir para a formação de mais pessoas que acreditem que esse processo de mudança é possível.

Nota

*Nas relações comerciais internacionais, o termo *commodity* se refere a mercadorias em estado bruto ou pouco industrializadas, ou seja, de baixo valor agregado, tais como café, algodão, petróleo, minério de ferro, etc. (Sandroni, 1999).

Agradecimentos

Agradecemos aos Licenciandos em Educação do Campo, aos Estudantes, Professores e Agricultores da Comunidade de Padre João Afonso pela participação no Projeto de Extensão e de Pesquisa. PAP agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento à pesquisa (Processos nos. 426519/2016 e 312351/2020-8).

Ângela Rita Teixeira (angela.rita@ufvjm.edu.br), possui licenciatura em Ciências Biológicas pela UNIMONTES, licenciatura em Educação do Campo com habilitação em Ciências da Natureza pela UFVJM, atualmente mestranda no Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências, Matemática Tecnologia pela UFVJM e Professora de Biologia e Ciências na Escola Estadual Padre João Afonso. Itamarandiba, MG – BR. **Ivana Cristina Lovo** (ivana.lovo@ufvjm.edu.br), bacharela e licenciada em Ciências Biológicas pela UFV, mestra em Botânica pela UFV e doutora em Ciências Humanas, com concentração na área Sociedade e Ambiente pela UFSC, atualmente é professora da área de Ciências da Natureza no Curso de Licenciatura em Educação do Campo e na Pós-graduação em Estudos Rurais, ambos da UFVJM. Diamantina, MG – BR. **Paulo Alves Porto** (palporto@iq.usp.br), bacharel e licenciado em Química pela USP, mestre e doutor em Comunicação e Semiótica pela PUC-SP, livre docente em Ensino de Química pela USP, é professor do Instituto de Química da USP e coordenador do Grupo de Pesquisa em História da Ciência e Ensino de Química (GHQ). São Paulo, SP – BR. **Anielli Fabiula Gavioli Lemes** (anielli.lemes@ufvjm.edu.br), licenciada em Química pela UFSCar, mestre e doutora em Ensino de Ciências pelo Programa Interunidades em Ensino de Ciências pela USP, atualmente é professora da área de Ciências da Natureza no Curso de Licenciatura em Educação do Campo e na Pós-graduação em Educação em Ciências, Matemática Tecnologia, ambos da UFVJM. Diamantina, MG – BR.

Referências

ALTIERI, M. *Agroecologia*: A dinâmica produtiva da agricultura sustentável. 4ª. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.

BARDIN, L. *Análise de conteúdo*. 4ª. ed. Lisboa: Edições 70, 2009.

BRAIBANTE, M. E. F. e ZAPPE, J. A. A química dos agrotóxicos. *Química Nova na Escola*, v. 34, n. 1, p. 10-15, 2012.

BRASIL – Ministério da Educação. *Decreto no. 7.352, de 4 de novembro de 2010*: Dispõe sobre a política de educação do campo e o Programa Nacional de Educação na Reforma Agrária – PRONERA. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7352.htm, acesso em abr. 2022.

BUENO, O. T. M.; DAHMER, G. W.; SILVA, T. S. J. e MELZER, E. E. M. Diálogos de Saberes na Educação do Campo: observando os saberes etnopedológicos em Cerro Azul (PR). *Anais do XI ENPEC*. p. 1-11, 2017. Florianópolis: ABRAPEC, 2017.

CALDART, R. S. Educação do Campo. In: CALDART, R. S.; PEREIRA, I. B.; ALENTEJANO, P. e FRIGOTTO, G. (Org.). *Dicionário da Educação do Campo*. Rio de Janeiro/ São Paulo: Expressão Popular, 2012. p. 257-265.

CALDART, R. S. Trabalho, agroecologia e educação politécnica nas escolas do campo. In: CALDART, R. S. (org). *Caminhos para a transformação da escola 4*: trabalho, agroecologia e estudo nas escolas do campo. São Paulo: Expressão Popular, 2017. p. 115-160.

CARCAIOLI, G. F. e TONSO, S. O protagonismo dos camponeses e o Ensino de Ciências nas escolas do campo. *Anais do X ENPEC*. p. 1-8, 2015. Águas de Lindóia: ABRAPEC, 2015.

CARCAIOLI, G. F.; TONSO, S. e MAZALLA NETO, W. Agroecologia como matriz pedagógica para o ensino de Ciências da Natureza nas Licenciaturas em Educação do Campo. *Anais do XI ENPEC*. p. 1-8, 2017. Florianópolis: ABRAPEC, 2017.

FERNANDES, B. M. e MOLINA, M. C. O campo da Educação do Campo. In: MOLINA, M. C. e JESUS, S. M. S. A. (Org). *Contribuições para a construção de um Projeto de Educação do Campo*. Caderno 5. Brasília: Articulação Nacional por uma Educação do Campo, 2004. p. 32-53.

FREIRE, P. *Pedagogia do Oprimido*. 75ª ed. Rio de Janeiro: Paz & Terra, 2020.

GAIA, M. C. D. M. Agroecologia e Ensino de Ciências: desafios e tensões na Educação do Campo. *Anais do XI ENPEC*. p. 1-10, 2017. Florianópolis: ABRAPEC, 2017.

GUHUR, D. M. P. e TONÁ, N. Agroecologia. In: CALDART, R. S.; PEREIRA, I. B.; ALENTEJANO, P. e FRIGOTTO, G. (Org.). *Dicionário da Educação do Campo*. Rio de Janeiro/São Paulo: Expressão Popular, 2012. p. 57- 65.

LASZLO, P. On the Self-Image of Chemists, 1950-2000. *Hyle*, v. 12, n. 1, p. 99-130, 2006.

LEMES, A. F. G. e PORTO, P. A. Introdução à filosofia da química: uma revisão bibliográfica das questões mais discutidas na área e sua importância para o ensino de química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 13, n. 3, p. 121-147, 2013.

LOCATELLI, A. e SANTOS, K. F. Uma análise do enfoque da agroecologia no ensino de ciências/química. *Revista Thema*, v. 14, n. 2, p. 236-248, 2017.

LOVO, I. C. Agroecologia e conteúdos escolares. *Revista Presença Pedagógica*, v. 16, p. 34-40, 2010.

MELO, S. A.; MEIRELLES, A. C. e GARCEZ, J. L. A. F. Educação do campo e agroecologia: Práticas pedagógicas e

formação cidadã. *IGAPÓ - Revista de Educação em Ciência e Tecnologia do IFAM*, v. 10, n. 1, p. 57-71, 2016.

MELZER, E. E. M.; TAVARES, A. K.; LOPES, C. V. G. e DAHMER, G. W. Reflexões sobre o uso das Ilhas de Racionalidade como alternativa para desenvolver a educação de ciências aliada a agroecologia. *Anais do X ENPEC*. p.1-9, 2015. Águas de Lindóia: ABRAPEC, 2015.

MÉNDEZ, E. M.; BACON, C. M. E. e COHEN, R. La agroecología como un enfoque transdisciplinar, participativo y orientado a la acción. *Agroecología*, v. 8, n. 2, p. 9-18, 2013.

MOLINA, M. C. Contribuições das licenciaturas em educação do campo para as políticas de formação de educadores. *Educação & Sociedade*, v. 38, n. 140, p. 587-609, 2017.

PADULA, J.; CARDOSO, I. M.; FERRARI, E. A.; DEL SOGLIO, F. K. Caminhos da agroecologia no Brasil. In: GOMES, J. C. C.; ASSIS, W. S. (Eds.) *Agroecologia - princípios e reflexões conceituais*. Brasília: EMBRAPA, 2013. p.39-72.

RIBEIRO, S.; FERREIRA, A.; NORONHA, S. Educação do Campo e Agroecologia. In: PETERSEN, P.; DIAS, A. (Org.). *Construção do conhecimento agroecológico*: novos papéis, novas identidades. Rio de Janeiro: Articulação Nacional de Agroecologia, 2007. p. 257-267.

RIGOTTO, R. M.; ROSA, I. F. Agrotóxicos. In: CALDART, R. S.; PEREIRA, I. B.; ALENTEJANO, P.; FRIGOTTO, G. (Org.). *Dicionário da Educação do Campo*. Rio de Janeiro/São Paulo: Expressão Popular, 2012. p. 86-94.

RUSSELL, C. A. A química na sociedade. In: HALL, N. (Ed.). *Neoquímica*. Porto Alegre: Bookman, 2004. p. 365-379.

SANDRONI, P. (Org.). *Novíssimo Dicionário de Economia*. São Paulo: Ed. Best Seller, 1999.

SANTOS, A. C. C.; SOUZA, A. B.; SILVA, T. S. e CRUZ, M. C. P. A invasão do agrotóxico na agricultura: abordagem para o estudo das funções orgânicas em perspectiva freireana da educação numa escola pública. *Química Nova na Escola*, v. 43, n. 4, p. 354-364, 2021.

SANTOS, A. S.; RIBEIRO, A. T. e RIBEIRO, M. A. P. A imagem pública da Química apresentada nos artigos on-line da revista Ciência Hoje. *Exatas Online*, v. 6, n. 1, p. 49-67, 2015.

SILVA, E. R. e TONSO, S. Trabalho como princípio educativo no Instituto Agroecológico Latino Americano Amazônico. *Anais do XI ENPEC*. p. 1-9, 2017. Florianópolis: ABRAPEC, 2017.

SILVA, A. F. G. *Das Falas Significativas* às *Práticas Contextualizadas*: A construção do currículo na perspectiva crítica e popular. Tese (Doutorado). Programa de Estudos Pós-Graduados em Educação: Currículo. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2004.

SILVA, E. C. R.; DYSARZ, F. P.; CERQUEIRA, H.; FONSECA, A. B. C. e CARVALHO, G. S. Considerações (e desconsiderações) sobre hortas em escolas urbanas e seus objetivos para a Educação em Ciências e a Educação em Saúde. *Anais do IX ENPEC*. p.1–8, 2013. Águas de Lindóia: ABRAPEC, 2013.

SILVA, E. R.; DYSARZ, F. e FONSECA, A. B. Agroecologia em escolas urbanas alicerçando a perspectiva CTS no Ensino de Ciências. *Anais do VIII ENPEC*. p.1-12, 2011. Campinas: ABRAPEC, 2011.

SCHMIDT, W. *Educação do campo, agroecologia, campesinato*: três ângulos, três lados, mas não um triângulo. Florianópolis: NEA EduCampo/UFSC, 2018.

STEDILE, J. P. e CARVALHO, H. M. Soberania Alimentar. In: CALDART, R. S.; PEREIRA, I. B.; ALENTEJANO, P. e FRIGOTTO, G. (Org.). *Dicionário da Educação do Campo*. Rio de Janeiro/São Paulo: Expressão Popular, 2012. p. 714-723.

VERRANGIA, D. Tradições na educação para sustentabilidade: um estudo sobre Agroecologia Escolar. *Anais do XI ENPEC*. p.1–9, 2017. Florianópolis: ABRAPEC, 2017.

Abstract: *Agroecology and the public image of chemistry beyond sustainable development.* This work investigates an university extension activity developed in a rural school engaging first-year high school students on the theme of agroecology. Our focus was on the teaching of concepts and the discussion of the public image of chemistry. Our aim was to discuss potentialities and limits of activities designed to identify significant speeches which lead to critical teaching opportunities. A dialogic and problematizing perspective was driven from the agroecology framework. Based on selected speeches, content analysis was used to build the generator theme, which turned up to be *pesticides*. This topic was discussed considering its potential to give rise to reflections on the public image of chemistry.

Keywords: chemical education; rural education; pesticides.

A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160311

O uso de uma camada de gás carbônico em aquecedor solar de água feito com materiais reutilizados

Emerich M. Sousa, Lara G. Teixeira e Samanttha S. Oliveira

O presente trabalho descreve uma investigação cujo objetivo foi observar a influência do gás carbônico como gás estufa no aquecimento de água em aquecedor solar feito de materiais reutilizados. A temperatura da água de um aquecedor contendo uma camada de garrafas PET preenchidas com gás carbônico foi comparada com a temperatura da água de um aquecedor controle. Utilizou-se sensor de temperatura acoplado ao Arduino, que é uma plataforma de prototipagem eletrônica *open source*. Foram realizadas medições com a camada de gás estufa posicionada diretamente sobre o sistema de canos do aquecedor e posicionada a uma altura de 40 cm sobre o aquecedor. Observou-se que a camada de gás carbônico interferiu no aquecimento da água nas duas situações e, quando posicionada a uma altura de 40 cm, reduziu as perdas de calor especialmente no período da madrugada e horas iniciais de insolação. A presença do gás estufa, nessas condições, colaborou para a manutenção da água em temperaturas maiores do que sem a camada de gás estufa.

▶ aquecedor solar, gás estufa, eficiência energética ◀

Recebido em 18/11/2021, aceito em 11/04/2022

Na atualidade, os assuntos efeito estufa e aquecimento global têm conquistado grande visibilidade midiática, além de ganharem espaço em discussões nas escolas, entre cientistas e conversas informais (Coelho *et al.*, 2014). Na atmosfera terrestre existem naturalmente moléculas de água (H_2O), gás carbônico (CO_2), metano (CH_4) e outras, que absorvem a radiação na região do infravermelho e sofrem diversos tipos de interação com a energia absorvida – são chamados de "gases de efeito estufa" e são regulados pela própria biosfera terrestre. Esses gases formam uma espécie de barreira que aprisiona parte do calor do sol próximo à superfície da Terra e é responsável pela manutenção de uma temperatura global média no planeta de 15 ºC ao nível do mar (Junges *et al.*, 2020). Assim, parte do calor irradiado pela Terra é assimilado e dissipado em várias direções pelos gases do efeito estufa, incluindo uma parcela que volta da troposfera à superfície do planeta, o que dificulta a perda de radiação infravermelha para o espaço e permite que a troposfera fique mais quente e habitável. Dessa forma, esses gases de efeito estufa apresentam um importante papel para a manutenção da vida.

Com a Revolução Industrial, a exploração econômica acelerada, o desmatamento de florestas e a queima de combustíveis fósseis, houve e continua ocorrendo um aumento da concentração de compostos gasosos causadores do efeito estufa, como CO_2 e CH_4, que contribuem para o aumento significativo da temperatura da superfície da Terra, intensificando o aquecimento do planeta.

Com a Revolução Industrial, a exploração econômica acelerada, o desmatamento de florestas e a queima de combustíveis fósseis, houve e continua ocorrendo um aumento da concentração de compostos gasosos causadores do efeito estufa, como CO_2 e CH_4, que contribuem para o aumento significativo da temperatura da superfície da Terra, intensificando o aquecimento do planeta.

Esse fenômeno, além de provocar alterações climáticas preocupantes que afetam diretamente as dinâmicas da sociedade, tem causado a diminuição da cobertura de gelo, o aumento do nível dos oceanos, do número de furacões, mudanças nos ecossistemas e a expansão de desertos.

O dióxido de carbono é o gás estufa expelido em maiores proporções para a atmosfera terrestre e apresenta

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

grande influência no fenômeno de agravamento do efeito estufa. Esse composto é ativo na faixa do infravermelho, que é caracterizada por comprimentos de onda entre 0,73 e 1000 µm (Leite e Prado, 2012). Quando uma dada radiação infravermelha incide sobre uma amostra do gás CO_2, os comprimentos de ondas da radiação de 4,2 µm e 15 µm são absorvidos pelo gás (Junges *et al.*, 2018).

A molécula de CO_2, que é triatômica linear e apolar, interage com a radiação infravermelha e as suas ligações químicas podem vibrar de acordo com diferentes modos de vibração: estiramento simétrico, estiramento assimétrico e dois modos de deformação angular, representados na Figura 1 (Junges *et al.*, 2020).

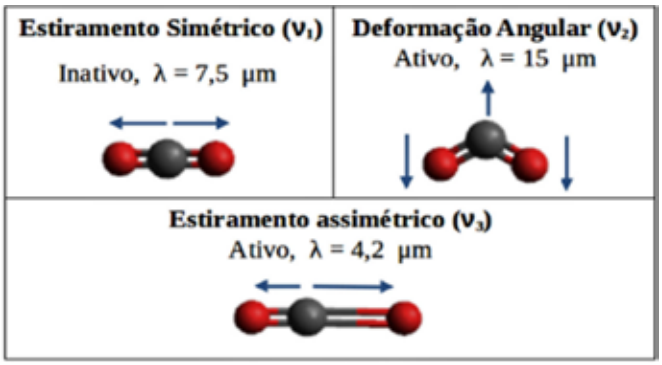


Figura 1: Os modos normais de vibração do CO_2. Fonte: Junges *et al*. (2020).

Para que a molécula possa absorver radiação é necessário que durante a vibração ocorra uma mudança no momento de dipolo da molécula, isto é, apresente carga elétrica parcial negativa para um lado e parcial positiva para o lado oposto. Desse modo, para o dióxido de carbono, há absorção de radiação somente nos modos de vibração estiramento assimétrico (4,2 µm) e deformação angular (15 µm), já que, no modo de vibração simétrico (7,5 µm), o momento dipolo se mantém nulo, porque os átomos de oxigênio estão posicionados de forma simétrica, com a mesma distância em relação ao carbono. Entretanto, nos modos assimétricos e deformação angular, acontece a mudança do momento de dipolo da molécula durante a vibração, isto é, existe carga elétrica parcial negativa para um lado e parcial positiva para o lado oposto, sendo estes dois modos, portanto, ativos e absorvem radiação infravermelha (Junges *et al.*, 2020). O CO_2 absorve e reemite a radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra, sendo justamente as bandas de absorção de 4,2 µm e 15 µm que permitem a existência do efeito estufa (Junges *et al.*, 2018).

Um grande desafio que se apresenta é aumentar a produção energética mundial para manter os modelos de desenvolvimento econômico atuais e, paralelamente, reduzir a participação de combustíveis fósseis na matriz energética, com a redução das emissões de CO_2. Justifica-se, portanto, a busca por fontes de energia renováveis, mas, ao mesmo tempo, estudos da viabilidade do uso de gás carbônico como gás estufa, com aplicação na melhoria da eficiência energética, pode ser um caminho promissor para se desenvolver tecnologias que aproveitem características observadas em compostos químicos na natureza.

A energia solar é uma fonte limpa de energia, isto é, é um tipo de energia renovável que não causa poluição pela emissão de substâncias, e seu impacto para o aquecimento global é muito menor do que outras fontes. O uso de sistemas de aquecimento solar de água colabora para reduzir o consumo de energia e, especialmente, para reduzir uma importante fonte de emissões de gases de efeito estufa (GEE). Existem dois tipos de sistemas de aquecedores solares: ativo (com bomba) e passivo (sem bomba). Os sistemas passivos (Figura 2) apresentam a circulação natural e são os mais simples, consistindo, basicamente, de um coletor, tanque de armazenamento e conexão de tubos (Şerban *et al*., 2016).

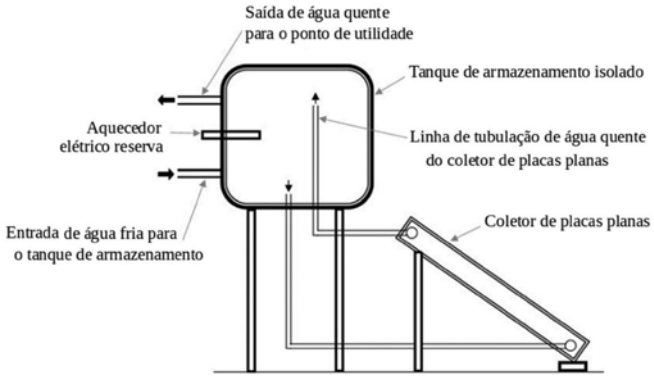


Figura 2: Diagrama de um sistema passivo de aquecimento solar de água. Fonte: adaptado de Şerban *et al*. (2016).

A ideia para o presente estudo surgiu de um projeto PIBIC-EM sobre a atuação do gás carbônico no processo de degelo (Neto *et al.*, 2013). Nele, utilizaram-se dois recipientes contendo gelo e, sobre cada um deles, uma garrafa PET de 2 litros. Uma dessas garrafas continha gás carbônico e a outra ar atmosférico. Foi posicionada uma lâmpada incandescente sobre o experimento e observado o volume de água obtido a partir do gelo derretido após um tempo em que a lâmpada ficava acesa, acompanhando-se a variação da temperatura com a utilização de termômetros. A utilização do CO_2 provocou um aumento perceptível na temperatura do sistema, acelerando o degelo.

Tal efeito também foi relatado por Coelho *et al.* (2014), em um experimento que simula o fenômeno do efeito estufa, utilizando dois sistemas – um contendo água e ar atmosférico e outro contendo água e gás carbônico –, sendo observado que o béquer que continha o dióxido de carbono apresentou uma maior temperatura, cerca de 1,0 °C a 1,5 °C acima da temperatura encontrada no béquer que continha ar atmosférico.

Em experimentos que dependem da medição e registro de valores de temperatura, a capacidade de automatizar o processo permite ganhos consideráveis na quantidade e qualidade dos dados coletados. Nesse sentido, o uso de sensor de temperatura acoplado a uma placa microcontroladora garante o registro confiável de dados. Cavalcante *et al.*

(2011) enfatizam a simplicidade do uso da plataforma Arduino como aquisição e automação de dados, aliado ao custo relativamente baixo e bons resultados apresentados. Amorim *et al.* (2015) ressaltam a versatilidade dos sensores de temperatura DS18B20 que utilizam uma única via de comunicação (*one-wire bus*) com o dispositivo de aquisição de dados, o que permite colocar mais de um sensor numa única linha de comunicação serial. Esses sensores fornecem a temperatura Celsius com resolução programável de 9 a 12 bits, operam numa faixa de - 55 °C a +125 °C, com uma precisão de 0,5 °C na faixa - 10 °C a 85 °C (Maximintegrated, 2022). O consumo de energia é muito baixo, podendo-se usar as tensões disponíveis na própria placa de aquisição de dados, e podem ser encontrados facilmente no mercado nacional. Martinazzo e Orlando (2016) compararam três sensores de temperatura, dois analógicos (um termistor e um LM35) e um digital (DS18B20). O teste com os três sensores, coletando dados isoladamente, apresentou bons resultados, no entanto, o sensor digital DS18B20 mostrou-se mais estável e apresentou leituras extremamente precisas com variabilidade zero.

Inspirado pelo comportamento particular do gás carbônico em absorver determinados tipos de radiação e motivado em dar um aproveitamento a essa situação, o trabalho se propôs a investigar os efeitos do uso de gás carbônico em um aquecedor solar de água feito com materiais recicláveis e de baixo custo, procurando responder à pergunta: o uso de uma camada de gás carbônico acoplada a um aquecedor solar interfere no aquecimento da água? Especificamente, visou-se: (i) criar um sistema informatizado, utilizando sensores de temperatura acoplados ao Arduino, para coleta e armazenamento de dados; (ii) a construção de um equipamento para a produção de gás carbônico; (iii) o monitoramento da temperatura da água do aquecedor com a presença e com a ausência da camada de gás estufa; e (iv) a influência da distância dessa camada de gás ao sistema de canos do aquecedor sobre a temperatura da água do sistema.

Metodologia

O aquecedor utilizado corresponde a um sistema passivo, utilizando potes plásticos de 15 L como o reservatório de água, canos e conexões de PVC e materiais reutilizados, como garrafas PET e embalagens cartonadas (longa-vida). Uma sugestão de montagem é apresentada na Figura 3 e, na sequência, a visão de um painel de aquecimento e um aquecedor montado são apresentados na Figura 4.

No laboratório, normalmente, a obtenção do gás carbônico é feita a partir da reação entre ácido clorídrico (HCl) e o bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$), conforme representado na equação 1. Utiliza-se um sistema montado com kitasato, no qual se coloca o bicarbonato de sódio, acoplado a um funil de decantação contendo solução aquosa de ácido clorídrico. O contato entre os reagentes é controlado usando-se o registro do funil. Uma mangueira plástica é acoplada na saída lateral do kitasato e conduz o gás produzido até o interior

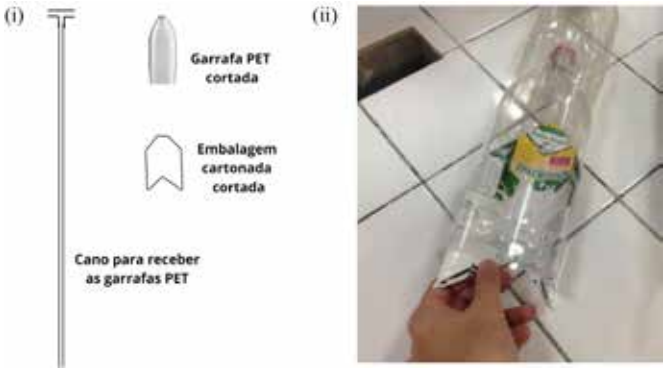


Figura 3: (i) Esquema dos materiais utilizados na construção do aquecedor. (ii) Demonstração do uso da embalagem cartonada. Fonte: autores.

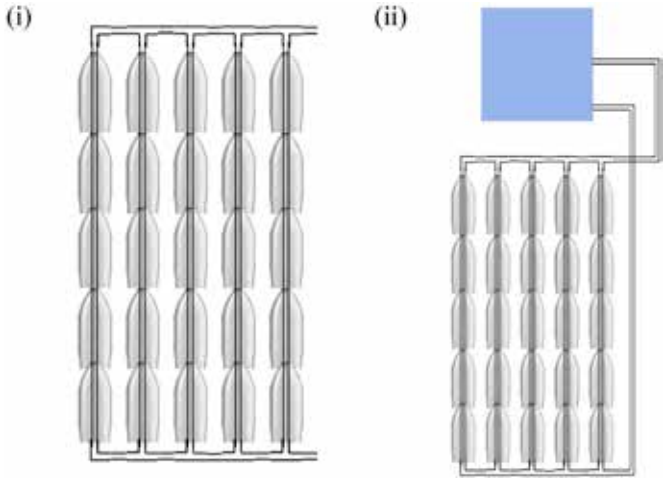


Figura 4: (i) Montagem do painel de aquecimento: as garrafas com as embalagens cartonadas, uma a uma, são posicionadas nos canos para formar o painel do aquecedor. (ii) Esquema geral do aquecedor montado. Fonte: autores.

da garrafa PET, previamente cheia com água e mergulhada em um recipiente também com água. À medida que o gás produzido é recolhido dentro da garrafa, há saída da água do interior da garrafa, que fica preenchida com o gás carbônico. A garrafa contendo gás é, então, fechada.

$$HCl\,(aq) + NaHCO_3\,(s) \rightarrow NaCl\,(aq) + CO_2\,(g) + H_2O\,(l) \quad (1)$$

Nas condições de pandemia, o uso do laboratório ficou restrito e foi utilizado um procedimento caseiro alternativo que preservasse as condições de segurança. O gás carbônico foi produzido a partir da reação entre ácido acético (presente no vinagre) e bicarbonato de sódio sólido, conforme visualizado na equação 2.

$$CH_3COOH\,(aq) + NaHCO_3\,(s) \rightarrow CH_3COONa\,(aq) + CO_2\,(g) + H_2O\,(l) \quad (2)$$

O equipamento utilizado foi construído usando-se tubos e conexões de PVC e mangueira plástica (Figura 5). O dispositivo tinha a forma de uma coluna, com uma saída lateral na parte inferior e um registro separando as metades superior e inferior. Com o registro aberto, o bicarbonato de

sódio (em pó ou em solução aquosa) era adicionado na parte inferior; fechava-se o registro e o vinagre era adicionado na parte superior, sendo vedada com uma tampa com rosca. A mangueira acoplada à saída lateral era colocada dentro da garrafa PET totalmente preenchida com água e mergulhada em um tanque com água. Com a abertura do registro, o ácido acético entrava em contato com o bicarbonato de sódio levando à produção de gás, que era então recolhido dentro da garrafa PET.

O gás carbônico produzido na reação foi armazenado em garrafas PET de 1,5 litro usadas para formar uma camada de gás carbônico sobre um dos aquecedores (Figura 5).

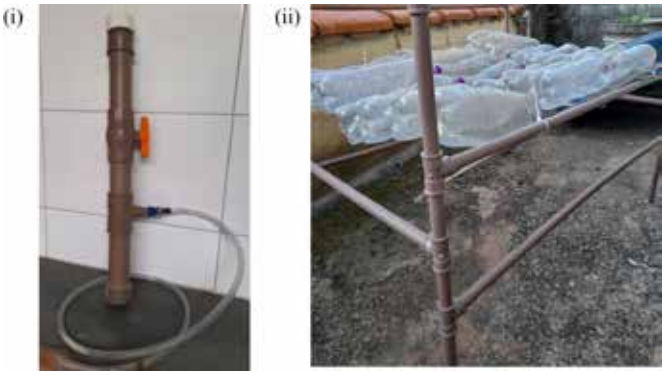


Figura 5: (i) Equipamento utilizado na produção de gás carbônico. (ii) Camada de gás carbônico, formada por garrafas PET preenchidas com o gás. Fonte: autores.

Para a coleta e registro dos dados de temperatura foi utilizado o Arduino Uno, relógio de tempo real (RTC), display LCD 16x2 com interface de comunicação I²C, módulo SD card para cartão de memória e sensores de temperatura DS18B20 (Figura 6) que fornecem leitura com duas casas decimais. O diagrama para montagem do Arduino é apresentado na Figura 7.

Figura 6: Visão do sistema utilizado para coleta e armazenamento de dados. Fonte: autores.

Os dados eram armazenados num arquivo "campo01.csv" e, em cada linha, eram gravadas a data (d/m/y) e a hora (h:m:s) em que a coleta foi realizada e os valores obtidos a partir dos três sensores. Os dados coletados e armazenados no arquivo CSV estavam disponíveis para serem manipulados em planilhas eletrônicas e salvos no formato xlsx. Utilizou-se a plataforma Arduino IDE 1.8.15 para desenvolver e carregar o sketch (códigos-fonte) para a placa Arduino.

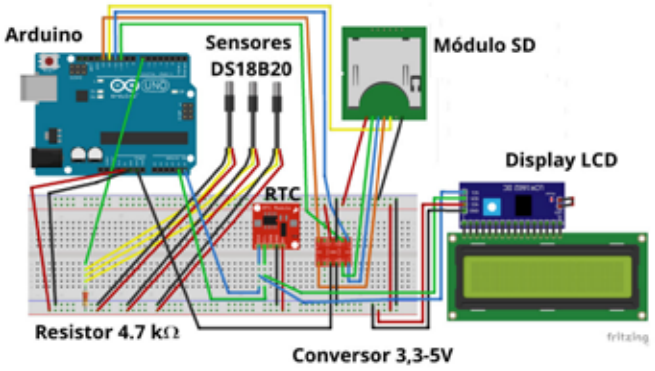


Figura 7: Diagrama de montagem do Arduino, sensor de temperatura, módulo SD e mostrador LCD. Fonte: autores.

As medições foram realizadas com intervalo de uma hora e foram feitas em duas situações: condição (I), medição no aquecedor controle (sem gás estufa) e no aquecedor com a camada de gás estufa posicionada diretamente sobre a coluna de aquecimento; e condição (II), medição no aquecedor controle e no aquecedor com a camada de gás estufa posicionada a uma altura de 40 cm sobre a coluna de aquecimento (Figura 8).

Após a recolha de dados, procedeu-se a seu tratamento. Com este propósito, na presente investigação, recorreu-se a procedimentos estatísticos (técnica quantitativa de análise de dados). Foi utilizado o *software* de apoio LibreOffice 6.0.7.3 para tratamento dos dados e cálculos preliminares e o GNU PSPP 1.0.1 para a análise estatística descritiva e inferencial.

Resultados e discussão

Na condição (I), com a camada de gás estufa posicionada diretamente sobre a coluna de aquecimento, foram feitas 1146 coletas de temperatura (52 dias), e na condição (II), com a camada de gás estufa posicionada a uma altura de 40 cm sobre a coluna de aquecimento, foram feitas 808 coletas de temperatura (36 dias). A tabela 1 apresenta os períodos em que ocorreram as medições, nas duas condições. Na condição (I), inicialmente foram feitas 863 coletas nos meses de fevereiro e março, sendo acrescidas 283 coletas no mês de junho, em uma tentativa de compensar o intervalo entre as coletas das condições (I) e (II).

Foram medidas a temperatura ambiente (Tamb), a temperatura da água no reservatório do aquecedor controle (Tac) e a temperatura da água no reservatório do aquecedor com camada de gás estufa (Tage) simultaneamente, em um intervalo de uma hora. A análise estatística descritiva é apresentada na Tabela 2.

Utilizando-se o teste de amostras independentes constatou-se que houve diferença estatística significativa ($p < 0,05$), dentro de cada condição estudada, entre as médias de Tamb e Tac e entre as médias de Tamb e Tage. O fato de a temperatura média da água dos aquecedores ser maior que a temperatura média ambiente confirma que o aquecedor solar foi efetivo em promover o aquecimento da água, com ou sem camada de gás estufa. Observou-se que, na condição I, com

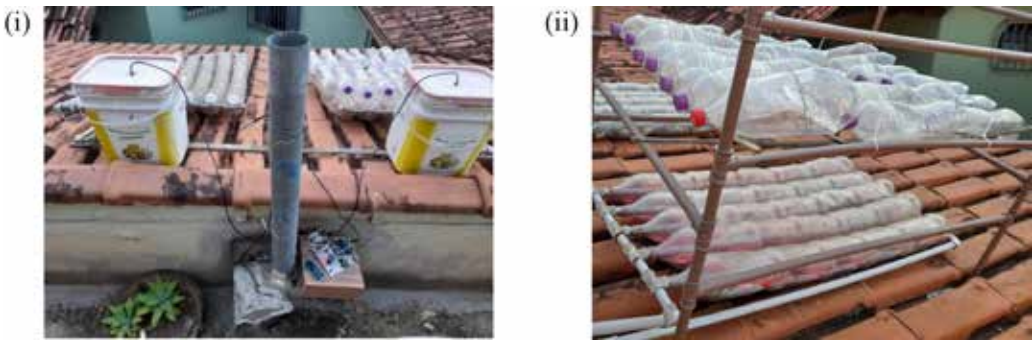


Figura 8: Visão dos aquecedores solares. (i) Condição I: o aquecedor da esquerda é o controle e o aquecedor da direita recebe a camada de gás carbônico diretamente sobre ele. (ii) Condição II: o aquecedor ao fundo é o controle e o aquecedor em primeiro plano recebe a camada de gás carbônico a uma altura de 40 cm. Fonte: autores.

Tabela 1: Períodos e números de coletas realizadas.

Condição	Período	Número de coletas	Total
I	08/02/21 - 19/02/21	265	1146
	20/02/21 - 19/03/21	598	
	15/06/21 - 27/06/21	283	
II	02/05/21 - 14/05/21	286	808
	18/05/21 - 09/06/21	522	

diferença estatística significativa ($p < 0,05$), a temperatura média da água do aquecedor controle (Tac) foi maior que a do aquecedor com a camada de gás carbônico (Tage). Na condição II, nessa comparação, não houve diferença estatística significativa (0,328; $p > 0,05$).

A leitura das temperaturas ocorreu com intervalo de uma hora, com pequenas flutuações devido a questões internas de registro do microcontrolador. Optou-se por trabalhar com os registros de temperatura nos intervalos de medição 0-1 h, 1-2 h, 2-3 h e assim sucessivamente, até o intervalo 23-24 h. Buscou-se, dessa maneira, maior compreensão sobre a variação da temperatura da água dos reservatórios dos aquecedores ao longo do dia e da noite, em cada uma das condições investigadas.

A fim de comparar o comportamento de um aquecedor em relação ao outro e, ainda, levar em conta as duas condições investigadas (I e II), trabalhou-se com a diferença Tage - Tac. Comparou-se Tage - Tac para a condição I e, também, Tage - Tac para a condição II, e os dados são apresentados na Tabela 3.

Observa-se que, na condição I, com a camada de gás estufa posicionada diretamente sobre a coluna de aquecimento, a diferença Tage - Tac apresentou valores médios negativos em todos os intervalos de hora, indicando que a temperatura da água do reservatório do aquecedor com gás estufa foi inferior à temperatura da água do reservatório do aquecedor controle. Isso sinaliza que a presença da camada de gás estufa posicionada diretamente sobre a coluna de aquecimento reduz a capacidade de aquecimento da água pelo aquecedor. Na condição II, com a camada de gás estufa posicionada a uma altura de 40 cm sobre a coluna de aquecimento, a diferença Tage - Tac apresentou valores médios negativos menores que na condição I ou positivos, em vários intervalos de hora, sugerindo maior eficiência na retenção de calor pelo sistema nesses períodos. A camada de gás, assim posicionada, afetou a temperatura da água ao longo do dia, fazendo com que parte do calor fosse retida e propiciando menor queda da temperatura durante a madrugada e a manhã. Os dados podem ser visualizados também com auxílio da Figura 9.

A diferença Tage - Tac da condição II apresentou diferença estatística significativa ($p < 0,05$) em relação à condição I em 18 horas do dia, nos intervalos 0-1, 1-2, 2-3, 3-4, 4-5, 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-10, 10-11, 11-12, 12-13, 13-14, 20-21, 21-22, 22-23 e 23-24. A diferença Tage - Tac da condição

Tabela 2: Número de coletas, médias, desvios-padrão, erro padrão, mínimo e máximo e medianas para as variáveis temperatura ambiente (Tamb), temperatura da água no reservatório do aquecedor controle (Tac) e temperatura da água no reservatório do aquecedor com gás estufa (Tage), na condição (I), com a camada de gás estufa posicionada diretamente sobre a coluna de aquecimento e na condição (II), com a camada de gás estufa posicionada a uma altura de 40 cm sobre a coluna de aquecimento.

Condição	Temperatura	N	Média (ºC)	Desvio padrão	Erro padrão	Mínimo (ºC)	Máximo (ºC)
I	Tamb	1146	22,98	5,67	,17	10,69	39,38
	Tac	1146	29,24	8,15	,24	13,81	52,75
	Tage	1146	28,14	7,51	,22	13,75	50,50
II	Tamb	808	21,39	5,86	,21	11,56	37,06
	Tac	808	27,51	8,29	,29	14,25	49,38
	Tage	808	27,12	7,77	,27	14,38	47,38

Tabela 3: Número de coletas e médias para as diferenças Tage - Tac, considerando o intervalo de hora de medição e as condições do experimento.

Intervalo de hora	Condição	N	Média (Tage – Tac) ºC	Condição	N	Média (Tage – Tac) ºC
0-1	1	48	-1,12	2	34	-,19
1-2	1	47	-,97	2	34	-,09
2-3	1	48	-,92	2	34	-,06
3-4	1	48	-,80	2	34	,00
4-5	1	48	-,73	2	34	,04
5-6	1	48	-,63	2	34	,08
6-7	1	48	-,59	2	34	,08
7-8	1	47	-,47	2	33	,09
8-9	1	47	-,32	2	34	,13
9-10	1	47	-,22	2	34	,67
10-11	1	46	-,04	2	34	,86
11-12	1	48	-,53	2	32	,63
12-13	1	48	-,71	2	33	-,10
13-14	1	48	-1,04	2	33	-,70
14-15	1	48	-1,41	2	33	-1,24
15-16	1	48	-2,00	2	33	-1,68
16-17	1	48	-2,07	2	33	-1,68
17-18	1	48	-1,87	2	34	-1,64
18-19	1	48	-2,06	2	34	-1,36
19-20	1	48	-1,90	2	34	-1,11
20-21	1	48	-1,78	2	34	-,82
21-22	1	48	-1,61	2	34	-,61
22-23	1	48	-1,44	2	34	-,43
23-24	1	48	-1,26	2	34	-,27

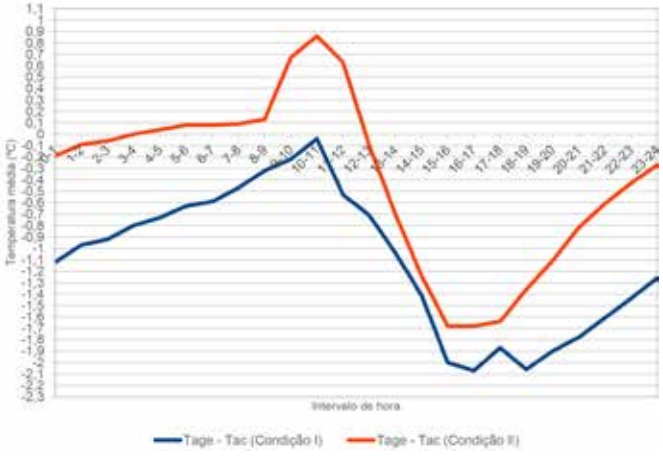


Figura 9: Médias para as diferenças Tage - Tac, considerando o intervalo de hora de medição e as condições do experimento.

II não apresentou diferença estatística significativa (p > 0,05) em relação à condição I nos intervalos 14-15, 15-16, 16-17, 17-18, 18-19 e 19-20, ou seja, durante esse período de 6 horas, a posição da camada de gás carbônico não interferiu na temperatura da água. A Figura 10 reúne os valores de p para a comparação Tage – Tac em cada intervalo de hora.

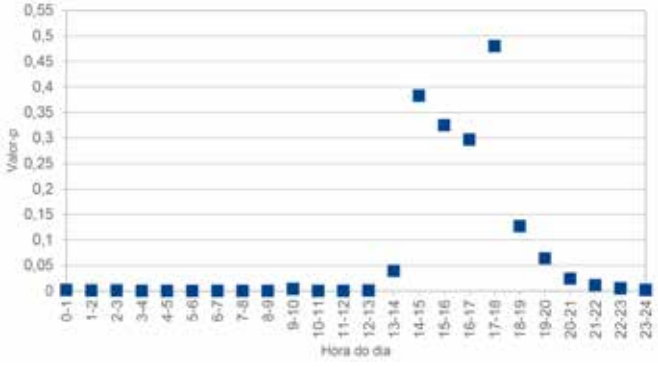


Figura 10: Valor-p para a comparação entre as médias de diferenças Tage - Tac, nas duas condições do experimento, considerando o intervalo de hora de medição.

Conclusão

Neste artigo apresentamos uma investigação baseada em um aparato experimental, motivada por questões relacionadas ao fenômeno do efeito estufa e pela possibilidade de seu uso para o aumento da eficiência energética. Comparou-se as temperaturas de dois aquecedores solares de água feitos de materiais reutilizados: em um deles utilizou-se uma camada de garrafas PET com gás carbônico colocada sobre a coluna de aquecimento e em outro não.

A camada de gás carbônico não colaborou para elevar a temperatura do aquecedor quando diretamente posicionada sobre a coluna de aquecimento do aquecedor solar, mas, quando posicionada a uma altura de 40 cm sobre a coluna de aquecimento, favoreceu a diminuição das perdas de calor do aquecedor, especialmente no período da madrugada e horas iniciais de insolação, reduzindo a amplitude térmica. Se durante o período de maior insolação, a presença de gás estufa a uma altura de 40 cm não foi tão eficiente para incrementar o aquecimento da água do reservatório, durante a noite e primeiras horas de insolação, a presença do gás estufa, nessas condições, reduziu as perdas de calor e colaborou com a manutenção da água em temperaturas maiores do que sem a camada de gás estufa.

A partir dos resultados, constata-se que essa pesquisa contribui para o melhor entendimento do fenômeno do efeito estufa e da utilização do gás carbônico em sistemas que envolvem troca de calor. Sugerem-se novos estudos abordando diferentes alturas da camada de gás estufa em relação ao aquecedor, o uso de diferentes quantidades de gás estufa na camada de gás e a utilização de outros gases estufa.

Além disso, o trabalho poderá colaborar para o ensino de Ciências, tanto no que se refere ao estudo da temática de aquecimento global e fontes de energia limpas e acessíveis, desafios descritos nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ONU, 2015), quanto a questões de dimensão investigativa e de domínio das linguagens específicas das Ciências da Natureza, propostos na Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018).

Destaca-se a importância da utilização dos sensores de temperatura acoplados ao microcontrolador Arduino, o que viabilizou a coleta de dados de maneira contínua, 24 horas por dia, no intervalo de tempo estipulado. É um sistema relativamente simples, preciso e de baixo custo que pode ser incrementado em outros tipos de experimentos, e que permite o uso de outros sensores. Problemas com a estabilização da coleta de dados foram contornados e o uso do mostrador LCD facilitou o acompanhamento do recolhimento das informações. Sugere-se, para futuros estudos, a possibilidade de utilizar a transmissão de dados via internet, permitindo tanto o monitoramento à distância como a recolha de dados sem interrupção nas gravações.

Registra-se, ainda, que, com a pandemia e o distanciamento social, o experimento foi transferido do colégio para a casa de um dos autores, gerando alguns desafios para a produção desse trabalho, como a limitação de materiais e localização, já que, com a indisponibilidade do laboratório, a produção de gás carbônico pelos métodos convencionais ficou comprometida, optando-se por um equipamento alternativo.

Emerich Michel de Sousa (emerich.sousa@ufv.br), Licenciado em Química, doutor em Ensino e Divulgação das Ciências pela Universidade do Porto (Portugal), é professor de Química e Técnicas Gerais de Laboratório de Química do Colégio de Aplicação da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG – BR. **Lara Gomes Teixeira** (lara.g.teixeira@ufv.br), estudante do Colégio de Aplicação da Universidade Federal de Viçosa, é ex-bolsista júnior do CNPq. Viçosa, MG – BR. **Samanttha Sanches de Oliveira** (samanttha.oliveira@ufv.br) estudante do Colégio de Aplicação da UniversidadeFederal de Viçosa, é bolsista júnior do CNPq. Viçosa, MG – BR.

Referências

AMORIM, H. S.; DIAS, M. A. e SOARES, V. Sensores digitais de temperatura com tecnologia one-wire: Um exemplo de aplicação didática na área de condução térmica. *Revista Brasileira de Ensino de Fisica*, v. 37, n. 4, p. 4310-1 - 4310-9, 2015.

BRASIL – Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília: MEC, 2018.

CAVALCANTE, M. A.; RODRIGUES, C.; TAVOLARO, C. e MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 4, p. 4503, 2011.

COELHO, A.; BARBALHO, E. S. e ESCREMIN, J. V. Desenvolvimento de um experimento sobre o efeito estufa: uma proposta para o Ensino. *Revista Virtual de Quimica,* v. 6, n. 1, p. 142-151, 2014.

JUNGES, A. L.; SANTOS, V. Y.; MASSONI, N. T. e SANTOS, F. A. C. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 13, n. 5, p. 126-151, 2018.

JUNGES, A. L.; BÜHLER, A. J.; MASSONI, N. T. e SIEBENEICHLER, A. F. S. O "Efeito Estufa" na Sala de Aula: um experimento de baixo custo para demonstrar a absorção de radiação infravermelha por gases estufa como o dióxido de carbono. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 37, n. 2, p. 849-864, 2020.

LEITE, D. O. e PRADO, R. J. Espectroscopia no infravermelho: uma apresentação para o Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 34, n. 2, p. 2504-1 - 2504-9, 2012.

MARTINAZZO, C. A. e ORLANDO, T. Comparação entre três tipos de sensores de temperatura em associação com arduíno. *Perspectiva* (Erechim, RS), v. 40, n. 151, p. 93-104, 2016.

MAXIMINTEGRATED. DS18B20 – Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. Disponível em: https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf, acesso em mar. 2022.

NETO, M. D.; SOUSA, E. M. e SANTANA, L. L. S. Laboratório de Química inclusivo: uma proposta de adequação de práticas laboratoriais. *In*: SIMPÓSIO DE INTEGRAÇÃO ACADÊMICA, 2013, Viçosa. Anais[...]. Viçosa: UFV, 2013. Disponível em: https://www3.dti.ufv.br/sia/vicosa/2013/trabalhos/419, acesso em mar. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU).

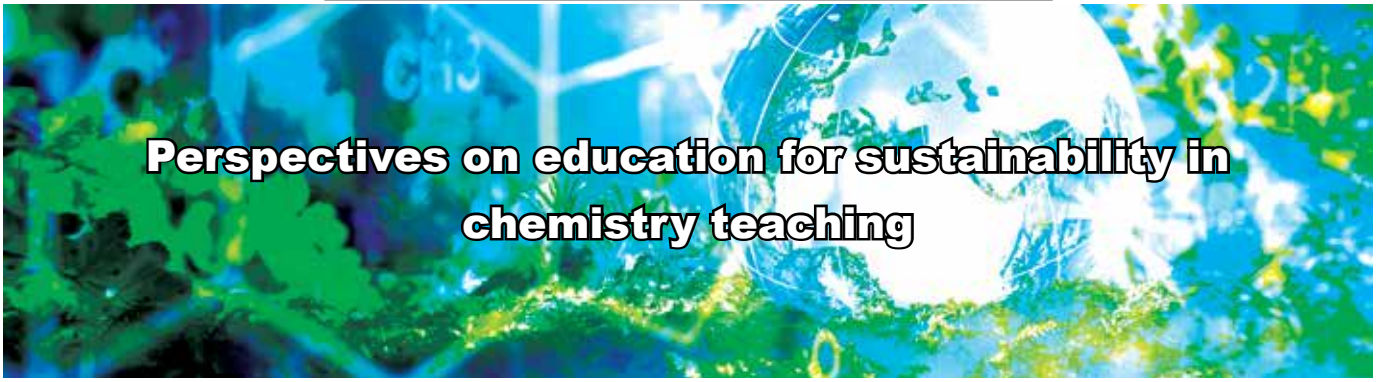
Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: https://www.br.undp.org/content/dam/brazil/docs/agenda2030/undp-br-Agenda2030-completo-pt-br-2016.pdf, acesso em mar. 2022.

ŞERBAN, A.; BĂRBUŢĂ-MIŞU, N.; CIUCESCU, N.; PARASCHIV, S. e PARASCHIV, S. Economic and environmental analysis of investing in solar water heating systems. *Sustainability*, v. 8, n. 12, p. 1286, 2016.

Abstract: *The use of a layer of carbonic gas in a solar water heater made from reused materials.* The present paper describes an investigation aimed at observing the influence of carbon dioxide as a greenhouse gas in the heating of water in a solar heater made from reused materials.The water temperature in a heater containing a layer of PET bottles filled with carbon dioxide was compared with the water temperature in a control heater. Temperature was measured with sensors coupled to Arduino, which is an open source electronic prototyping platform. Measurements were made with the greenhouse gas layer positioned directly over the heater pipe system and positioned 40 cm above the heater. It was observed that the carbon dioxide layer interfered with the heating of the water in both situations and, when positioned at a height of 40 cm, reduced heat losses especially in the early morning and early hours of sunlight. The presence of greenhouse gas in such conditions helped to maintain water at higher temperatures than without the greenhouse gas layer.
Keywords: solar heater, greenhouse gas, energy efficiency.

A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160312



Perspectives on education for sustainability in chemistry teaching

Christian Zowada, Kai Niebert, Ingo Eilks

The media landscape and the public debate are full of reports about the threats caused by unsustainable lifestyles by large parts of the global society today. Climate is changing, water is polluted more and more, natural resources are progressively exploited, inequalities are increasing. It is under constant debate whether and how far humans can continue affecting our planet until these developments lead to irreversible changes in the environment and human life. Regardless of exactly how these changes come to place and what they cause in the end, the political answer is the demand for more sustainability. Sustainable development asks for a way of life that does not permanently damage our planet, so that future generations can still live on earth and meet their needs without being too restricted by both today's contamination of the environment and consumption of resources. It is clearly suggested that this task applies to all school subjects, including chemistry. The aim of this article is to provide an overview of selected concepts in the context of sustainability and refers them to education in general, and chemistry teaching in particular.

▶ Sustainability, Education for Sustainable Development, Chemistry Education ◀

Recebido em 13/01/2022, aceito em 29/03/2022

Sustainability: From the intersection to the cake model

Sustainability is a concept under constant development. Its history has already been described many times (e.g. in Caradonna, 2014). In German-speaking countries, the concept of sustainability originally is traced back to forestry in the early 18th century, where the aim was to avoid timber shortages as a consequence of deforestation. The idea of preservation and stability of natural resources through a consumption of resources that can regenerate themselves at the same time has remained a core concept of sustainability until today, for example in the sense of replacing fossil fuels by renewable energies.

Today, however, sustainability is understood more broadly and has grown into a global regulatory idea that has found its way into politics, business, and education (Rauch, 2018). Sustainability has been refocused because mankind started realizing potential limits to growth that go beyond the mere provision with raw materials. For the first time, this reached a broad public in 1972 through the publication *The Limits to Growth*, which suggested that the carrying capacity of the earth has limits, e.g. in terms of the growing world population (Meadows *et al.*, 1972). Today, the most well-known definition of sustainable development comes from the Brundtland report *Our common future* from 1987 (WCED, 1987). This report calls for a development that meets the needs of today without restricting future generations to meet their needs. Since the 1990s, discussion has generally been shaped by the Agenda 21 by three equally important pillars of sustainability: ecological, economic and social sustainability (UNCED, 1992).

In the course of time there have been repeated suggestions to integrate further dimensions of sustainability, such as cultural or political sustainability, into a multi-dimensional model. However, this has not found broad reception. In the beginning, the three dimensions - ecological, economic, and social sustainability - were often presented as pillars of sustainability or in an intersection model (Figure 1A). The intersections were suggested to show the interdependence of the three dimensions. The aim was to find a balance between the three dimensions. However, it became critically noted that model A in Figure 1 degenerated into a "Mickey Mouse" sustainability in reality (Figure 1B), in which economy determines how society and ecology

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

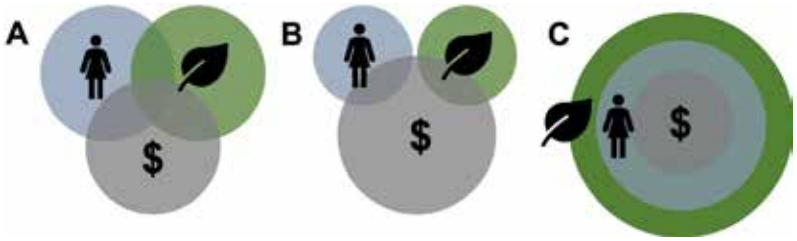


Figure 1. Different views on the interdependence of sustainability dimensions (Niebert, 2018)

develop. Today, it becomes more and more a consensus to understand sustainability operating economy in a way that it must serve the fulfillment of social needs and takes place within a functional and stable natural environment (Griggs *et al.*, 2013, Niebert, 2018). This could be illustrated as in Figure 1C. In concrete terms, it means that a resource-saving approach to the world should be seen as the top priority.

From sustainable development goals to a large social contract

There has already been a set of key moments in politics for more sustainability. In addition to the Brundtland-report of 1987 (WCED, 1987) and the Agenda 21 adopted in Rio de Janeiro in 1992 (UNCED, 1992), such a moment was certainly the resolution of the United Nations, the World Bank and other actors from 2000, in which eight Millennium Development Goals were adopted (UN, 2000). The common intention was expressed to halve hunger and poverty worldwide by 2015. It was also about providing all children with basic education, promoting gender equality and strengthening women's rights, reducing child mortality, improving maternal health, combating HIV/AIDS, malaria and other diseases, to improve the protection of the environment, and to establish a global development partnership. The individual goals were achieved to varying degrees.

In 2015, new goals were issued for a period up to 2030: the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) (UN, 2015). Under the Agenda 2030 - Transforming Our World, 193 countries agreed on a transformation towards sustainability and on the recognition that current problems can only be solved collectively. In doing so, the SDGs focus on sustainability with the three dimensions in balance (Figure 1A). The planet and human dignity are to be protected, prosperity, peace and global partnerships are to be established. The SDGs are set out in 17 goals (Figure 2). Many of the goals are directly or indirectly linked to chemistry. The American Chemical Society (ACS) "has identified seven priority SDGs and five additional SDGs that are foundational to the work of the chemistry community. The chemistry enterprise has a broad reach into technology, the economy, and human health, and there are already many ways chemists are working to support global sustainable development" (ACS, w.y.). The SDGs identified by the ACS are SDGs 2, 3, 6, 7, 9, 12 and 13. It is, however, clear that chemistry has also a big influence on the actual achievement of other SDGs such as 14 – Life below water and 15 – Life on land (see Figure 2).

There were various interpretations for any hierarchy among the SDGs. Such an attempt was made in the so-called wedding cake model by Rockström and Sukhdev (2016). In the model, the SDGs are linked to the three traditional dimensions of sustainability (Figure 3). The base is the biosphere, which can be understood as the ecological base for any sustainability. This base is formed by the SDGs 14, 15, 6 and 13. Embedded in this base is the life of people in society, represented by the SDGs 1-5, 7, 11 and 16. Finally, environmental and societal sustainability frame the SDGs 8-10 and 12, which relate to work, livelihood, economy and consumption. Above that there is SDG 17, the goal of

Figure 2. The Sustainable Development Goals (UN, 2015)

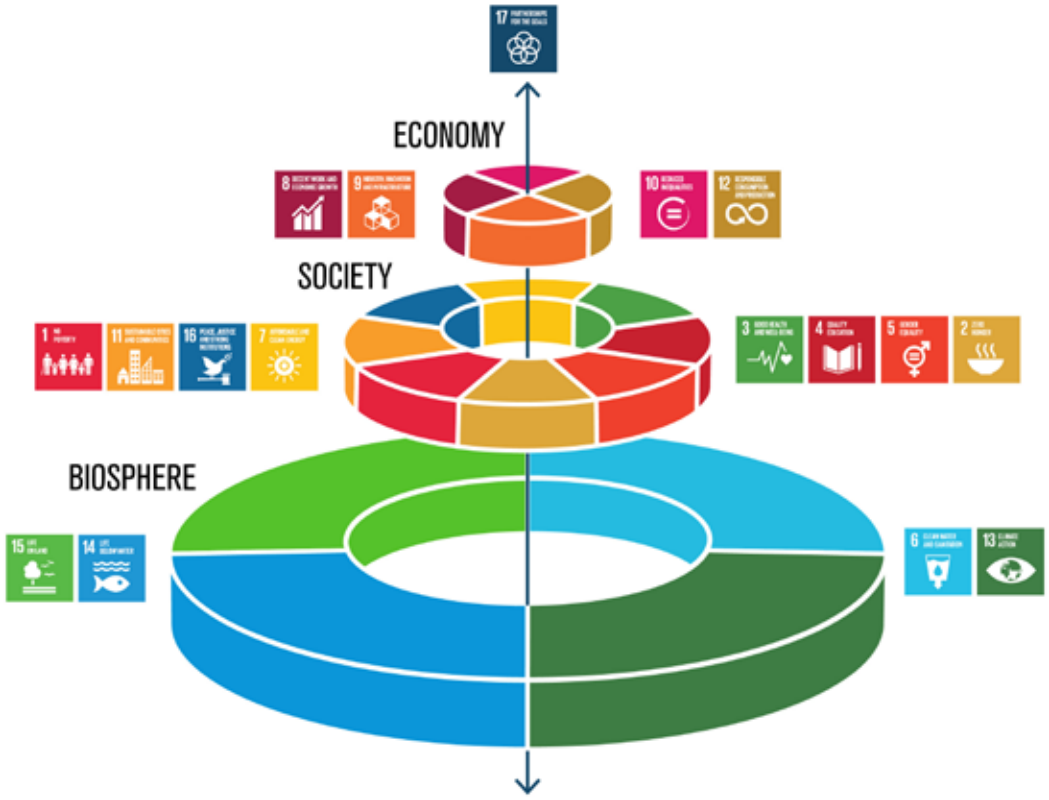


Figure 3: The SDGs operated in different layers (Rockström and Sukhdev, 2016)

global partnerships to achieve all other goals. The wedding cake model supports the idea of sustainability to be operated within ecological limits as given in Figure 1C.

These ecological limits can be more precisely understood by the concept of the planetary boundaries (Steffen *et al.*, 2015). This concept tries to define the safe operating space for human activity in which it can move without irreversibly damaging the planet. Nine planetary boundaries have been defined (Figure 4), such as global warming or ozone depletion. The planetary boundary is crossed at the end of the green area in Figure 4. This represents the "safe" area. When the limit (yellow) is exceeded, risk and uncertainty for irreversible damage to the earth system increase. Moving into the red area, there is a high risk of irreversible damage. Control variables are defined for the exposure limits, such as the carbon dioxide content of the atmosphere. Question marks stand for the (currently) missing key variables to measure the exposure limits.

If one compares calculations for 1990 and 2015 (Figure 4), there is a negative trend, i.e. a worsening of all planetary exposure limits with one exception: ozone depletion. Ozone depletion was partially reversed due to the prohibition of fluorochlorinated hydrocarbons in the Montreal Protocol of 1987 (UNEP, w.y.). The example shows that a strong political will as well as ongoing innovations in chemistry and technology might help to keep the world within its limits. The planetary boundaries represent an example of an ecologically dominated sustainability model. However,

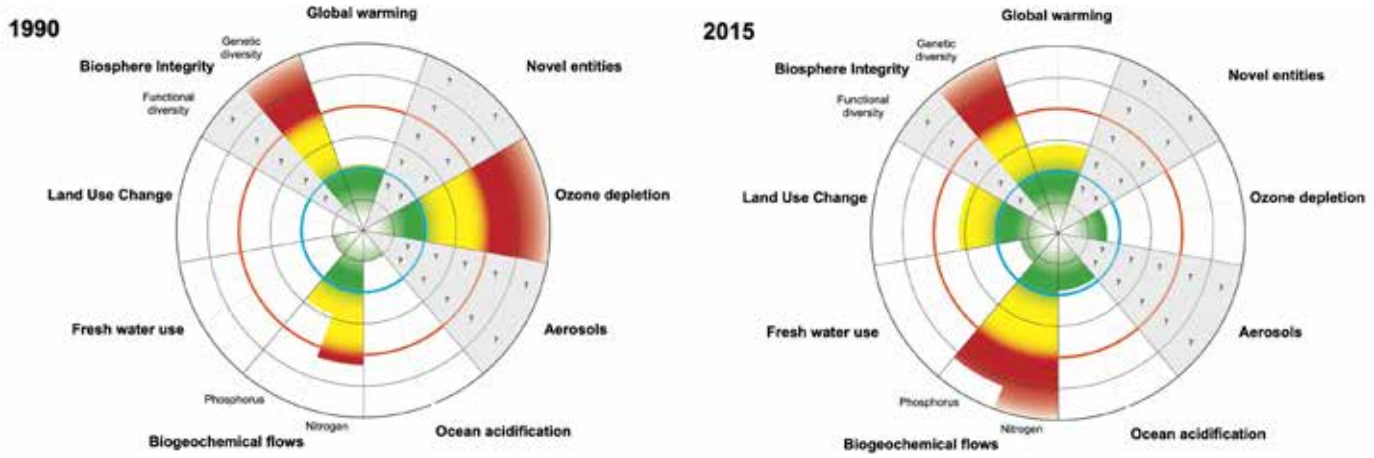


Figure 4: Planetary boundaries 1990 und 2015 (Müller e Niebert, 2017, adapted from Steffen et al., 2015)

there are also approaches that try to expand these ecological boundaries to include social boundaries and here, too, show limits for a tolerable life. This is known as the doughnut model and includes topics such as education, food, water, or energy supply (Raworth, 2017). Furthermore, this idea tries to particularly emphasize social needs in connection to ecological boundaries.

The idea of the planetary boundaries is closely connected to the acknowledgment of mankind taking on the role of the leading protagonist of the earth system. With steadily growing and globalizing economic activities since the beginning of industrialization, it has brought so many new materials into circulation in such a short time; the earth has not experienced in a billion years. Due to the worldwide exchange of goods, various species cross geographical barriers in airplanes or on ships and thus change the course of evolution. Socio-economic factors have also changed in the last few decades, such as the rapid increase in energy consumption and the growth of the urban population (Steffen, Broadgate, Deutsch, Gaffney e Ludwig, 2015). Under these circumstances the Nobel laureates Paul Crutzen and Eugene Stoermer in 2000 proposed a new earth epoch: the Anthropocene – the manmade age. Today, geologists started agreeing that mankind became the greatest geological force on our planet, e.g. acknowledged by the Congress of the International Geographical Society in 2016 (Carrington, 2016). The central question today is no longer whether we live in the Anthropocene, but when this epoch began (Lewis e Maslin, 2015). One proposal is the middle of the 20th century, which would be characterized by the first human-made entry of radioactive substances into sediments as a result of the first nuclear tests.

An idea to tackle this change to a sustainable world and to reduce human impact on the Earth system was suggested in 2011 by the German Advisory Council on Global Change (WBGU, 2011). So far, there have been two great transformations in human history with the Neolithic Revolution (the transition to agriculture and growing livestock) and the Industrial Revolution. In the eye of the WBGU another transformation has to take place. In order to achieve this transformation, the WGBU proposes a global social contract that is designed for a climate-friendly future in a sustainable world economic order: *"It is based on the central concept that individuals and civil societies, states and the global community of states, as well as the economy and science, carry the joint responsibility for the avoidance of dangerous climate change, and the aversion of other threats to humankind as part of the Earth system. […] One key element of such a social contract is the 'proactive state', a state that actively sets priorities for the transformation, at the same time increasing the number of ways in which its citizens can participate, and offering the economy choices when it comes to acting with sustainability in mind. […] The WBGU has developed the concept of a new social contract for the transformation towards sustainability – not so much on paper, but rather in people's consciousness – as an analogy to the emergence of the industrialised societies during the course of the 19th century*" (WBGU, 2011, p. 2).

Sustainability and education in general, and in chemistry in particular

The role of education for sustainable development was already pronounced in the Agenda 21 in 1992 (Chapter 36) (UNCED, 1992). Education for Sustainable Development (ESD) was described and considered necessary to convey concepts, show ways, and stimulate action for more sustainability without falling into indoctrination. In contrast to Education for Sustainability (EfS) the idea of ESD always refers to the framework of the United Nations. In the following years, a whole decade, the UN World Decade of Education for Sustainable Development (2005-2014) was proclaimed with the aim of sharpening the definition and anchoring a sustainable way of thinking in education. This has been reflected in many projects and initiatives, such as the educational projects 21 and Transfer-21 in Germany. However, according to Michelsen (2013), despite the global decade, ESD has still not become "mainstream" in education in Germany, as in many other countries (see e.g. Goes *et al.*, 2018). Further progress has been made by the UNESCO Global Action Program for ESD (GAP; 2015-2019) but is still criticized as being not coherent and not fast enough with respect to different educational domains (Holst *et al.*, 2020).

The GAP was launched as a follow-up to the UN World Decade. The GAP once again aimed to anchor ESD more firmly in education and training. The program's roadmap (UNESCO, 2014) suggests four dimensions: the learning content, which integrates topics of the sustainability debate such as climate change or consumption and production patterns into the curriculum; the pedagogy and the learning environment, which is interactive and focused on research-based, action-oriented and transformative learning; learning outcomes that relate to critical thinking and systems thinking and recognize collaboration as important; and ultimately a social transformation in which the individual is enabled to transform himself and society.

Also, the SDGs include learning about sustainable development (UN, 2015). In SDG 4- Quality education, it is intended to ensure by 2030 that "*all learners acquire knowledge and skills needed to promote sustainable development*" (UN, 2015). For this purpose, the UNESCO describes learning goals (UNESCO, 2017), which should be aimed at for each SDG on three levels (cognitive, socio-emotional, and action-oriented). As a result of these learning objectives, teachers are also seen as important "change agents" who are supposed to actively initiate and guide change.

Table 1 gives a short insight into two examples. SDG 2 - Zero hunger is closely related with chemistry's sustainable provision of fertilizers or pesticides. SDG 13 - Climate action is closely related to our use of fossil energy or energy consumption in the production of metals, concrete or

other raw materials by the chemical industry. With respect to chemistry education, this demands to deal with climate change and to address possibilities for climate action, or to deal with questions of world nutrition, for example in connection with fertilizer provision and recovery. In the means of ESD this needs to include knowledge about the chemistry and technology behind, but also about societal and economic implications (e.g. Feierabend e Eilks, 2010; Zowada *et al.*, 2019)

Regardless of whether it is about recycling, wastewater treatment, achieving higher efficiencies and yields in technical processes, or better protection and higher harvests for agricultural production, science and especially chemistry have a great responsibility for a sustainable future and the achievement of the SDGs (Matlin *et al.*, 2015). To make the role of chemistry visible, it is important to integrate these topics into the classroom while considering different perspectives, including the ideas of green and sustainable chemistry (Zuin *et al.*, 2021). When searching for relevant topics for sustainability issues in chemistry education, the planetary boundary model (fig. 4) can act as a helpful guideline to set priorities. Niebert (2019) has shown that the concepts covered by the planetary boundary framework and the scientific core ideas and crosscutting concepts that are demanded in different school science curricula – at least in Western countries – provide a perfect match.

For the case of chemistry, Burmeister *et al.* (2012) identified, based in a review of the chemistry education literature, four models to combine education for sustainability with chemistry teaching:

- Model 1: Use of the principles of green chemistry in the school science laboratory
- Model 2: Use of topics related to sustainable chemistry as contexts for learning chemistry content and concepts
- Model 3: Consideration of relevant topics including chemistry from the sustainability debate as socio-scientific issues for chemistry education
- Model 4: Application of sustainability strategies as an element of school development

These models show different capacities to contribute to sustainability or to learning about sustainable development (Table 2). Laboratory work based on green chemistry, on the one hand, creates opportunities to directly serve for a more sustainable future by reducing or replacing environmentally hazardous chemicals, but does not necessarily address learning about the change. Other ideas, such as the third model, on the other hand, have no direct physical contribution to sustainability, but by addressing socio-scientific issues (SSIs) it becomes possible to learn about sustainable development and to recognize the role of chemistry in it. SSI-approaches take up authentic, relevant, and debatable topics from society and discuss them in the science classroom. SSIs start learning from the societal problem (current examples would be climate change, microplastics, pesticides use, or fracking). Chemistry lessons become interdisciplinary in order to integrate different perspectives and systems thinking (Marks e Eilks, 2009).

Table 1: Exemplary learning objectives for the SDGs in the case of SDGs 2 and 13 (UNESCO, 2017)

Level	SDG	Content
Cognitive	Zero Hunger	The learner knows about hunger and malnutrition and their main physical and psychological effects on human life, and about specific vulnerable groups.
	Climate Action	The learner understands the greenhouse effect as a natural phenomenon caused by an insulating layer of greenhouse gases.
Socio-emotional	Zero Hunger	The learner is able to communicate on the issues and connections between combating hunger and promoting sustainable agriculture and improved nutrition.
	Climate Action	The learner is able to explain ecosystem dynamics and the environmental, social, economic and ethical impact of climate change.
Action-oriented	Zero Hunger	The learner is able to evaluate and implement actions personally and locally to combat hunger and to promote sustainable agriculture.
	Climate Action	The learner is able to evaluate whether their private and job activities are climate friendly and – where not – to revise them.

Table 2: The potential of the four basic models by Burmeister et al. (2012) in terms of their potential to learn about sustainable development, to learn for sustainable development, or directly contribute to sustainable development by imminently changing social, ecological or economical practices.

Potential for …	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
… learning about sustainable development.	o	++	++	+
… learning for sustainable development.	-	-	++	++
… direct contributing to sustainable development.	o	-	-	+

Reflection of the potential of the four basic models of dealing with ESD in chemistry education (- = low; o = medium; + = high; ++ = very high)

Final considerations

The Global Chemicals Outlook II (GCO II) recently adopted by the United Nations not only discusses how the world has dealt with chemicals so far and how it should do so in the future, Chapter 4 of the GCO II also gives a clear position on education. Green and sustainable chemistry education is suggested as important for all levels of education, from school to university (UNEP, 2019). Many points of contact for chemistry and science classes can be found on the topic of sustainable development (Zuin *et al*., 2021). This becomes clear, for example, in the concept of the planetary boundaries (Steffen *et al.,* 2015). The planetary boundaries and the SDGs suggest issues that can be implemented in chemistry education easily. All the content in our curricula needs to be reflected to provide the young generation with knowledge and the skills to understand the needed changes for transforming the world. SSI-based teaching approaches are needed to allow students understanding the debate about transformation processes and participating in them on a well-founded base. This is also a question of the pedagogy. Pedagogies are needed that prepare for societal participation and action – also in chemistry teaching (Eilks, Sjöström e Mahaffy, 2019). In this light, teaching a structure-to-the--discipline approach might no longer be a proper way of teaching chemistry. Instead, chemistry teaching needs to have a stronger connection to societal debates as well as current sustainability challenges as suggested in the models 3 or 4 from Table 2. Recent examples for this way of teaching chemistry with respect to model 3 may concern, e.g., fracking (Zowada *et al.*, 2018), phosphate recovery (Zowada *et al*., 2019), or alternative pesticides (Zowada *et al.*, 2020). Concerning model 4, a prominent example is the eco schools movement (e.g., Ecoschools, w.y.). And finally, this is also a question of teacher education. Chemistry teacher education has to include learning about sustainable development issues and green and sustainable chemistry (Zuin *et al*., 2021).

Christian Zowada (christian.zowada@uni-bremen.de), University of Bremen, Dep. of Biology and Chemistry, Institute of Science Education, Leobener Str. NW 2, 28334 Bremen, Germany. **Kai Niebert** (kai.niebert@ife.uzh.ch), University of Zürich, Institute for Education, Kantonsschulstr. 3, 8001 Zürich, Switzerland. **Ingo Eilks** (ingo.eilks@uni-bremen.de), University of Bremen, Dep. of Biology and Chemistry, Institute of Science Education, 28334 Bremen, Germany.

Referências

ACS Chemistry and sustainable development goals. Disponível em: https://www.acs.org/content/acs/en/sustainability/chemistry-sustainable-development-goals.html, acesso em out. 2021.

BURMEISTER, M.; RAUCH, F. e EILKS, I. Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 13, p. 59-68, 2012.

CARADONNA, J. L. *Sustainability – A history*. Oxford: University Press, 2016.

CARRINGTON, D. The Anthropocene epoch: Scientists declare dawn of human-influenced age. *The Guardian*, 29 agosto 2016.

CRUTZEN, P. J. e STOERMER, E. F. The "Anthropocene". *IGBP Newsletter,* v. 41, p. 17, 2000.

ECOSCHOOLS Changing together. Disponivel em: https://www.ecoschools.global/changingtogether-about-the-publication, acesso em set. 2021.

EILKS, I.; SJÖSTRÖM, J. e MAHAFFY, P. Science, society, sustainability and the environment. In B. Akpan (ed.) *Science education: Visions of the future*. Abuja, Nigeria: Next Generation Education, p. 321-222, 2019.

GOES, L. F. DE; CHEN, X.; NOGUERA, K. S. C.; FERNANDEZ, C. e EILKS, I. (2018). Evidence of sustainable development education in Brazilian secondary school chemistry textbooks. In I. Eilks, S. Markic e B. Ralle (eds.) *Building bridges across disciplines for transformative education and a sustainable future*. Aachen, Alemanha: Shaker, p. 257-262, 2018.

GRIGGS, D.; STAFFORD-SMITH, M.; GAFFNEY, O.; ROCKSTRÖM, J.; ÖHMAN, M. C.; SHYAMSUNDAR, P.; STEFFEN, W.; GLASER, G.; KANIE, N. e NOBLE, I. Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, v. 495, p. 305-307, 2013.

HOLST, J.; BROCK, A.; SINGER-BRODOWSKI, M. e DE HAAN, G. Monitoring progress of change: Implementation of Education for Sustainable Development (ESD) within documents of the German education system. *Sustainability,* v. 12, n. 10, p. 4306, 2020.

LEWIS, S. L. e MASLIN, M. A. Defining the Anthropocene. *Nature*, v. 519, n. 7542, p. 171–180, 2015.

MARKS, R. e EILKS, I. Promoting scientific literacy using a socio-critical and problem-oriented approach in chemistry education: Concept, examples, experiences. *International Journal of Environmental and Science Education,* v. 4, n. 2, p. 131-145, 2009.

MATLIN, S. A.; MEHTA, G.; HOPF, H. e KRIEF, A. The role of chemistry in inventing a sustainable future. *Nature Chemistry*, v. 7, p. 941-943, 2015.

MEADOWS, D. H.; MEADOWS, D. L.; RANDERS, J.; e BEHRENS, W.W. *The limits to growth*. New York, USA: Universe Books, 1972.

MICHELSEN, G. Bildung für nachhaltige Entwicklung in der Post-Dekade. In: Umweltdachverband (Ed.). *Bildung für nachhaltige Entwicklung – Jahrbuch 2013* Wien, Austria: FORUM Umweltbildung im Umweltdachverband, p. 10-16, 2013.

MÜLLER, M. e NIEBERT, K. Verantwortung im Anthropozän. In: G. Michelsen (ed.). *Die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Wegweiser für eine Politik der Nachhaltigkeit*. Wiesbaden, Alemanha: Hessische Landeszentrale für politische Bildung, p. 55-70, 2017.

NIEBERT, K. Science education in the Anthropocene. In I. Eilks, S. Markic e B. Ralle (eds.) *Building bridges across disciplines for transformative education and a sustainable future*. Aachen, Alemanha: Shaker, p. 61-72, 2018.

NIEBERT, K. The Gymnasium in times of the Anthropocene. In D. Holtsch, M. Oepke e S. Schumann (eds) *Lehren und Lernen auf der Sekundarstufe II*. Bern: hep, p. 175-187, 2019.

RAUCH, F. The Austrian ECOLOG-schools Programme: Participation for Education for Sustainable Development? In Eilks, In I. Eilks, S. Markic e B. Ralle (eds.). *Building bridges*

across disciplines for transformative education and a sustainable future. Aachen, Alemanha: Shaker, p. 153-162, 2018.

RAWORTH, K. What on earth is doughnut?. Disponivel em: https://kateraworth.com/doughnut/, acesso em set. 2021.

ROCKSTRÖM, J. e SUKHDEV, P. (2016). How food connects all the SDGs. Disponivel em: www.stockholmresilience.org/research/research-news/2016-06-14-how-food-connects-all-the-sdgs.html, acesso em set. 2018.

STEFFEN, W.; BROADGATE, W.; DEUTSCH, L.; GAFFNEY, O. e LUDWIG, C. The trajectory of the Anthropocene: The great acceleration. *The Anthropocene Re*view, v. 2, n. 1, p. 81–98, 2015.

STEFFEN, W.; RICHARDSON, K.; ROCKSTRÖM, J.; CORNELL, S. E.; FETZER, I.; BENNETT, I. M.; BIGGS, R.; CARPENTER, S. R.; DE VRIES, W.; DE WIT, C. A.; FOLKE, C.; GERTEN, D.; HEINKE, J.; MACE, G. M.; PERSSON, L. M.; RAMANATHAN, V.; REYERS, B. e SÖRLIN, S. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, v. 347, n. 6223, p. 736-747, 2015.

UN (United Nations, 2000). United Nations Millenium Declaration. Disponivel em: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_55_2.pdf, acesso em set. 2021.

UN (United Nations, 2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. Disponivel em: https://sdgs.un.org/2030agenda, acesso em set. 2021.

UNCED (United Nations Conference on Environment and Development, 1992). *Agenda 21*. Disponivel em: https://www.un.org/Depts/german/gv-70/band1/ar70001.pdf, acesso em set. 2021.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2014). *Roadmap for Implementing the Global Action Programme on Education for Sustainable Development*. Disponivel em: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1674unescoroadmap.pdf, acesso em set. 2021.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2017). *Education for sustainable development goals – Learning objectives*. Disponivel em: https://unesdoc.unesco.org/images/0024/002474/247444e.pdf, acesso em set. 2021.

UNEP (United Nations Environment Program, 2019). *Global Chemicals Outlook II*. Disponivel em: https://www.unep.org/resources/report/global-chemicals-outlook-ii-legacies-innovative-solutions, acesso em set. 2021.

UNEP (United Nations Environment Program, 1987) The Montreal Protocol on substances that deplete the ozone layer. Disponivel em: https://ozone.unep.org/treaties/montreal-protocol, acesso em set. 2021.

WBGU (Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen, 2011). World in transition: A social contract for sustainability. Disponivel em: https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/hauptgutachten/hg2011/pdf/wbgu_jg2011_en.pdf, acesso em set. 2021.

WCED (World Commission on Environment and Development, 1987). *Our common future*. Disponivel em: www.un-documents.net/wced-ocf.htm, acesso em set. 2021.

ZOWADA, C.; FRERICHS, N.; ZUIN, V. G. e EILKS, I. Developing a lesson plan on conventional and green pesticides in chemistry education – A project of participatory action research. *Chemistry Education Research and Practice*, v. 21, p. 141-153, 2020.

ZOWADA, C.; GULACAR, O. e EILKS, I. Incorporating a web-based hydraulic fracturing module in general chemistry as a socio-scientific issue that engages students. *Journal of Chemical Education*, v. 95, p. 553-559, 2018.

ZOWADA, C.; GULACAR, O.; SIOL, A. e EILKS, I. Phosphorus – A "political" element for transdisciplinary chemistry education. *Chemistry Teacher International*, v. 2, n. 1, 20180020, 2019.

ZUIN, V.G.; EILKS, I.; ELSCHAMI, M. e KÜMMERER, K. Education in Green Chemistry and in Sustainable Chemistry: Perspectives towards sustainability. *Green Chemistry*, v. 23, p. 1594-1608, 2021.

Abstract: *Perspectives on education for sustainability in chemistry teaching.* In recent years, increasing global challenges and the term sustainability (or sustainable development) directed our way to think about our common future. It is suggested that learners should encounter this way of thinking as early as possible and the integration of education for sustainability into the classroom is currently demanded more than ever. The aim of this article is to provide an overview about current concepts of sustainability and education for sustainability in general, and for chemistry education in particular. It is suggested that sustainability issues can and should play a central role in chemistry classes.
Keywords: Sustainability, Education for Sustainable Development, Chemistry Education

A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

http://dx.doi.org/doinumber

Projeto 'Preservando as Raízes do Mangue': a aprendizagem de química baseada em projetos e voltada para o desenvolvimento sustentável

Ívina Langsdorff Santana, Luciana Rodrigues do Nascimento, Bruna Marine Damm, Mayara Lobo de Oliveira, Marcos Benedito José Geraldo de Freitas, Paulo Rogerio Garcez de Moura

Relata-se uma prática docente na qual os conteúdos de soluções e velocidade de reação foram trabalhados em um projeto de aprendizagem desenvolvendo um processo sustentável de produção de panelas de barro no bairro de Goiabeiras - Vitória/ES. Para isso, os alunos de uma escola pública de ensino médio alteraram fatores que influenciam a velocidade e eficiência de extração da tinta usada na produção da panela. Eles modificaram a superfície de contato do extrato, a natureza do solvente extrator e a temperatura de extração da tinta, criando um novo processo que usa menos cascas de árvore e em menos tempo, diminuindo o impacto ambiental decorrente da produção de panelas de barro. Além do processo mais sustentável, o projeto também conseguiu: promover um ensino de química alinhado aos problemas locais e voltado para valorização da cultura; e desenvolver competências como criatividade, comunicação, colaboração, responsabilidade socioambiental e capacidade de resolver problemas.

▶ aprendizagem baseada em projetos, sustentabilidade, panela de barro ◀

Recebido em 17/11/2021, aceito em 11/04/2022

Alarmados por uma degradação ambiental que coloca em risco a vida humana, países membros da Organização da Nações Unidas (ONU) se reuniram em 2015 para elaborar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), a fim de balizar planos de desenvolvimento para o bem-estar e a dignidade do ser humano, sem colocar em risco o meio ambiente (Gomes e Ferreira, 2018). Foram definidos 17 ODS e 169 metas em uma ambiciosa agenda (Agenda 2030), que representou um plano de ação global para eliminar a pobreza extrema e a fome, oferecer educação de qualidade para todos, proteger o planeta e promover sociedades pacíficas e inclusivas até 2030 (Belluzzo, 2018). Dentre os ODS traçados pela ONU, destacar-se-á nesse artigo: o ODS 4, que trata da qualidade da educação; e o ODS 11, que trata sobre a sustentabilidade das comunidades (Plataforma Agenda 2030, 2021):

- ODS 4: assegurar a educação inclusiva e equitativa de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos.
- ODS 11: tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.

Dentro do ODS 4, é descrito um conjunto de metas para serem atingidas até 2030, dentre elas a meta 4.7 que pretende:

> "*...garantir que todos os alunos adquiram conhecimentos e habilidades necessárias para promover o desenvolvimento sustentável, inclusive, entre outros, por meio da educação para o desenvolvimento sustentável e estilos de vida sustentáveis, direitos humanos, igualdade de gênero, promoção de uma cultura de paz e não-violência, cidadania global, e valorização da diversidade cultural e da contribuição da cultura para o desenvolvimento sustentável.*"

A Educação Ambiental (EA) teve início na década de 1970, oriunda de eventos que tinham como preocupação as discussões sobre as questões ambientais. O termo ganhou força em 1992, na Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento (Rio-92). No evento, foi assinado o Tratado de Educação Ambiental para Sociedades Sustentáveis e Responsabilidade Global, incentivando movimentos educativos que tinham como

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

compromisso construir um novo modelo de desenvolvimento, orientado para a sustentabilidade (Pitanga, 2016). Nesse sentido, a EA firmou-se no Brasil através de políticas públicas, tanto na promulgação das Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) e dos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), na década de 1990, como na implementação da nova Base Nacional Curricular Comum (BNCC), promulgada em 2017. Ressalta-se que, nesses documentos, a EA não é um componente curricular, embora se incorpore ao currículo através de práticas transversais e integradoras, abordando temas contemporâneos (Branco *et al.,* 2018*)*.

Esses temas contemporâneos e transversais são geralmente relacionados a problemas comunitários ou vivências do cotidiano. Zuin *et al.* (2009), através da educação pela pesquisa, conjugaram a EA com o estudo dos parâmetros físicos da água de um córrego que pertencia à comunidade escolar de São Carlos/SP. Santos *et al.* (2021) utilizaram a química verde para avaliar a degradação de corantes alimentícios, tão comuns em nossa sociedade que consome comidas processadas. Wuillda *et al.* (2017), por sua vez, utilizaram da reciclagem de caixas Tetra Pak® para alinhar o ensino de química com a EA.

Percebe-se que a EA, nos exemplos de projetos mencionados, favorece uma Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS). Os conceitos de EA e EDS são complementares. Enquanto a EA tem uma abordagem voltada à relação entre o homem e o meio natural, no tocante à conservação e preservação dos recursos naturais, a EDS se relaciona com os aspectos socioambientais e políticos da EA, voltados para o combate à pobreza, promoção do bem-estar, e à produção e ao consumo sustentável, baseados nas peculiaridades da cultura local, em prol da formação de comunidades sustentáveis (Branco *et al.* 2011).

Os conceitos de EA e EDS são complementares. Enquanto a EA tem uma abordagem voltada à relação entre o homem e o meio natural, no tocante à conservação e preservação dos recursos naturais, a EDS se relaciona com os aspectos socioambientais e políticos da EA, voltados para o combate à pobreza, promoção do bem-estar, e à produção e ao consumo sustentável [...].

O desenvolvimento de comunidades sustentáveis dialoga com o ODS 11 da ONU. O objetivo tem como cerne a transformação, a construção e a gestão dos espaços urbanos inseridos no modelo de desenvolvimento sustentável. Temas relacionados à urbanização, como mobilidade, gestão de resíduos sólidos e saneamento, estão dentro das metas do objetivo, assim como o planejamento e aumento da resiliência dos assentamentos humanos, levando em conta as necessidades diferenciadas de cada área. Dentro das metas traçadas no ODS 11, destacar-se-á nesse artigo a meta 11.4, que requer "*fortalecer esforços para proteger e salvaguardar o patrimônio cultural e natural do mundo*" (Plataforma Agenda 2030, 2021). Dessa forma, temos então que a comunidade sustentável não é só aquela que se preocupa com o meio ambiente, mas também aquela que assegura a proteção e valorização da cultura além do patrimônio natural.

Ancorado nos ODS 4 e 11, apresenta-se um relato de prática de um projeto de aprendizagem realizado em uma escola de Ensino Médio de Goiabeiras, bairro periférico da cidade de Vitória/ES e que abriga a Associação das Paneleiras de Goiabeiras (APG).

O bairro de Goiabeiras possui uma área de manguezal, onde tradicionalmente se produz a panela de barro, um dos símbolos culturais do Espírito Santo. Toda produção de panelas segue a tradição indígena, com modelagem manual, queima a céu aberto e aplicação de tintura de tanino, extraída da *Rhizophora mangle*, uma árvore conhecida como mangue-vermelho (Borlini e Caranassios, 2007). A manufatura das panelas é, geralmente, um trabalho feminino, passado entre gerações. As mulheres que produzem as panelas são chamadas de paneleiras e possuem uma associação civil (Associação das Paneleiras de Goiabeiras - APG) para angariar recursos para as artesãs e representar seus interesses. Em 2002, a APG conseguiu fazer com que a produção de panelas de barro em Goiabeiras fosse inscrita no Livro de Registro dos Saberes do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) e, assim, as panelas de barro e sua produção no bairro de Goiabeiras se tornaram Patrimônio Cultural Imaterial do Brasil (Souza e Caloti, 2013).

Todo recurso material para produção da panela é proveniente do manguezal. A argila é retirada no Vale do Mulemá, no bairro de Joana D'arc, em Vitória, e as cascas de mangue-vermelho são retiradas dos manguezais de Goiabeiras e arredores (Borlini e Caranassios, 2007). Para fazer a tintura de tanino, as paneleiras compram lascas de cascas de mangue-vermelho dos "casqueiros" - homens da comunidade que fazem coleta dessas cascas. Após a compra, as cascas são quebradas com auxílio de um pilão manual e colocadas de molho em água por 3 dias. A aplicação da tinta ocorre com a panela ainda quente da queima da cerâmica, em uma etapa de produção conhecida como "açoite". A tintura tem a função de impermeabilizar a panela e tingi-la de preto, cor característica da panela de barro capixaba (Souza e Caloti, 2013).

Reconhecendo a importância cultural da produção de panelas de barro e de suas implicações econômicas e ambientais, os alunos de uma escola estadual de Ensino Médio do bairro de Goiabeiras, juntamente com seus professores de Química e de Artes, elaboraram e executaram um projeto de aprendizagem, cuja questão motriz era desenvolver uma rota de produção de panelas de barro mais sustentável.

Para realizar esse projeto, foi utilizada a metodologia ativa de Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), na qual os alunos constroem o conhecimento através de pesquisas e investigações complexas e cuidadosamente planejadas, com objetivos pedagógicos definidos. A ABP vem ganhando espaço devido às novas tecnologias de informação e comunicação que favorecerem o ensino por essa metodologia (Martins *et al.*, 2016).

Diversos autores já discorreram sobre essa metodologia de ensino ao longo dos anos. Os precursores dessa metodologia são Dewey e Kilpatrick no início do século XX. Eles iniciaram o movimento da Escola Nova nos Estados Unidos, que buscava uma renovação no ensino e a oposição ao modelo tradicional de transmissão de conteúdos descontextualizados e sem significado para os alunos. Como alternativa ao modelo tradicional, Dewey teria sistematizado a Pedagogia de Projetos e Kilpatrick seria o responsável pelo seu encaminhamento metodológico e sua popularização na primeira metade do século XX. Para os autores, o conceito de projeto passa pela ideia de que os alunos adquirem experiência e conhecimento pela resolução de problemas práticos, em situações contextualizadas e sociais (Pasqualetto *et al.,* 2017).

Na perspectiva de Dewey, a metodologia por projetos infere que os estudantes terão que pesquisar, discutir, elaborar e, especialmente, discernir entre o que é ou não relevante para construir conhecimento durante o processo (Matos, 2017). O professor deixa de ser aquele que ensina para ser um mediador na (re)construção do conhecimento. Quase um século depois, Hernández (1998) apresentou uma concepção de organização do currículo por meio de projetos, que valoriza a integração das disciplinas ao invés de fragmentá-las. De acordo com o autor "*aprender a pensar criticamente requer dar significado à informação, analisá-la, sintetizá-la, planejar ações, resolver problemas, criar novos materiais ou ideias, e envolver-se mais na tarefa de aprendizagem*." (Hernandez 1998, p. 720).

Nesse relato, o planejamento foi feito baseado na teoria de projetos desenvolvida por Willin Bender (2014). Em seu livro, Bender (2014) descreve algumas etapas importantes dessa metodologia. De acordo com o autor, o projeto deve ter, inicialmente, uma âncora. A âncora é a estratégia inicial usada para motivar e engajar os alunos a participarem das atividades. Âncoras podem ser simples narrativas que descrevam um problema, um vídeo no Youtube, uma reportagem do noticiário local ou qualquer outro meio que possa descrever algo sobre a questão a ser considerada no projeto e que desperte curiosidade. Quanto mais criativa e instigante for a âncora, maior será a motivação e engajamento dos alunos.

Com alunos motivados e engajados, define-se a questão motriz. Tal questão é definida como o problema principal do projeto a ser resolvido, que pode ser dada de antemão pelo professor ou sugerida coletivamente pelos alunos.

O próximo passo envolverá, obrigatoriamente, a voz e a escolha dos alunos: traçar ações a serem executadas e definir cronograma. É importante que essa parte seja feita com os alunos para que eles tenham um sentimento de pertencimento ao projeto.

Na hora de escolher as ações que serão executadas, deve-se ter o cuidado de encaixá-las em dois processos: 1) processo de investigação e pesquisa - quando os alunos adquirem conhecimento prévio e teórico sobre a questão motriz; 2) processo de investigação e inovação - quando os alunos devem construir artefatos e testá-los. Bender (2014) considera artefato os itens criados ao longo do projeto que apresentam possíveis soluções para a questão motriz proposta.

Concomitante a esses processos de investigação, pesquisa e inovação, ocorre o processo de avaliação e *feedback*, baseado em avaliações qualitativas do professor, rubricas de autoavaliação e de avaliação em pares. A avaliação pode ser formativa ou somativa, de acordo com o planejamento e das atividades propostas pelo professor.

Para finalizar o projeto, os alunos precisam apresenta-lo ao público, seja para comunidade escolar, seja em uma feira de ciências ou até mesmo para alunos de uma outra turma. No desenvolvimento da apresentação surgem momentos de reflexão e reavaliação do projeto que ajudam em sua culminância e na concepção crítica do projeto apresentado.

Como a ABP é uma metodologia que favorece o estudo dos conteúdos através da resolução de um problema e é capaz de promover competências como colaboração, comunicação, criticidade e criatividade, ela foi escolhida para ser trabalhada na prática docente relatada nesse artigo, na qual os alunos tiveram que resolver a questão motriz "como deixar a produção de panelas de barro mais sustentável?" em um projeto de aprendizagem.

Metodologia

Metodologia de ensino-aprendizagem

O artigo apresenta um relato de prática pedagógica do projeto "Preservando as Raízes do Mangue", que teve como público-alvo uma turma de 2ª série de Ensino Médio, de 38 alunos, de uma escola pública periférica de Vitória/ES. Para esse estudo, foram utilizados como base de dados o diário de bordo da professora, os vídeos e relatórios escritos pelos alunos.

A âncora é a estratégia inicial usada para motivar e engajar os alunos a participarem das atividades. Âncoras podem ser simples narrativas que descrevam um problema, um vídeo no Youtube, uma reportagem do noticiário local ou qualquer outro meio que possa descrever algo sobre a questão a ser considerada no projeto e que desperte curiosidade. Quanto mais criativa e instigante for a âncora, maior será a motivação e engajamento dos alunos.

O projeto desenvolveu uma série de ações que intencionavam ensinar conteúdos de Química (soluções e velocidade de reação) e desenvolver competências gerais (criatividade, colaboração, comunicação, reponsabilidade socioambiental e capacidade de resolução de problemas). As ações relativas ao projeto ocorreram quinzenalmente nas aulas de Química e Artes, de maio a outubro do ano de 2017.

O projeto de aprendizagem foi feito utilizando a metodologia ativa de ABP descrita por Bender (2014). Um esquema geral do projeto pode ser visto na Figura 1.

Figura 1: Esquema geral de ações do projeto "Preservando as Raízes do Mangue"

Desenho pedagógico do projeto

Como âncora do projeto, a professora de Química desafiou os alunos a participarem de um prêmio educacional, no qual deveriam resolver um problema da comunidade. Para motivá-los, a professora passou alguns vídeos de projetos vencedores dos anos anteriores e os alunos aceitaram o desafio.

Com os alunos motivados, foi feito uma chuva de ideias para listar problemas que afligiam a comunidade e que poderiam ser resolvidos usando os conhecimentos de Química. Dentre os problemas citados pelos alunos, a professora selecionou três com os quais poderia trabalhar o conteúdo de química do segundo trimestre: poluição das águas do mangue; lixo no mangue; e degradação do mangue em decorrência da produção de panelas de barro. A partir de uma votação, decidiu-se escolher a produção de panelas de barro. Dada a definição do problema, foi elaborada a questão motriz do projeto: "Como podemos tornar a produção de panelas de barro mais sustentável?"

Após o ciclo de seminários, os alunos foram levados em uma visita técnica até o galpão da APG, onde fizeram uma oficina de produção de panelas e observaram como se produz a tinta de tanino, usada no tingimento da mesma.

A professora e os alunos então se reuniram em uma roda de conversa quando: traçaram um cronograma para execução do projeto; dividiram as ações a serem realizadas por cada grupo de alunos; escolheram o nome do projeto; e definiram o professor parceiro (Artes).

Para iniciar o desenvolvimento do projeto, no processo de investigação e pesquisa, foi proposto um ciclo de seminários, no qual os alunos apresentavam temas que a professora de Química e o professor de Artes haviam definido. Os temas apresentados foram:

- Panela de Barro Capixaba: história, arte e cultura;
- A cerâmica e suas propriedades;
- A produção de panelas de barro em Goiabeiras;
- O tanino e as tinturas naturais;
- O mangue-vermelho e sua importância para preservação do meio ambiente.

Após o ciclo de seminários, os alunos foram levados em uma visita técnica até o galpão da APG, onde fizeram uma oficina de produção de panelas e observaram como se produz a tinta de tanino, usada no tingimento da mesma. Os alunos colheram informações sobre a degradação do mangue, a produção de panelas e amostras da tinta produzida pelas paneleiras.

Para finalizar a parte das pesquisas e investigações, foram propostas duas atividades no laboratório, avaliadas por meio de relatórios escritos. A primeira foi sobre o Efeito Tyndall. Nessa experiência, os alunos prepararam três misturas: água e amido de milho; água e gelatina; e água e sal. Em seguida, com auxílio de um apontador a *laser*, os alunos incidiram o feixe de luz sobre as misturas e assim diferenciaram quais das misturas eram uma solução, uma emulsão (solução coloidal) ou uma dispersão. O efeito Tyndall é especifico em coloides ou soluções coloidais, e ocorre em função da dispersão da luz por partículas coloidais ou partículas em suspensão (Rodrigues *et al*., 2020). Tal experimento se fez importante porque o livro didático utilizado pelos alunos trazia como exemplo de emulsões as tintas. Como a primeira parte do estudo do conteúdo de soluções passa pela diferenciação das misturas, tal prática do Efeito Tyndall foi primordial para que eles identificassem a tinta de tanino como emulsão.

A segunda atividade foi sobre diluição e a relação da cor das soluções com suas concentrações (Lei de Beer). Para isso, os alunos prepararam uma solução com suco de uva artificial em pó e diluíram esse suco 3 vezes, gerando 4 soluções de concentração e cores diferentes. Era necessário

que os alunos relacionassem a concentração de soluções com a cor porque, para a etapa de testes da tinta mais sustentável, era preciso chegar a uma solução com a concentração de tanino próxima à tinta produzida pelas paneleiras. Para realizar um teste de comparação, os alunos construíram uma escala de cores a partir da tinta original, diluindo a mesma em 3 vezes, para garantir que a tinta extraída por eles não ficaria mais diluída que a tinta das paneleiras. Essa escala de cores pode ser vista na Figura 2(A), onde a tinta ideal é a primeira da esquerda (mais escura).

Dado o conhecimento geral acerca do tema, propiciado pela fase de investigação e pesquisa, iniciou-se o processo de investigação e inovação. Para desenvolver uma tinta de mangue-vermelho que fosse ambientalmente e economicamente sustentável, os alunos tiveram de investigar a extração do tanino e testar alguns fatores que poderiam alterar a velocidade e eficiência de extração da tinta, como a temperatura de extração, a superfície de contato do extrato e a natureza do solvente.

O grupo 1 testou a temperatura de extração. O grupo 2, testou a influência da superfície de contato do extrato. Os demais grupos testaram diferentes tipos de solventes para extração - grupo (3) extração com uma solução de água e vinagre e o grupo (4) extração usando uma solução de água e álcool. A ideia de mudar a natureza do solvente veio dos próprios alunos quando a professora explicava como funcionava a extração. Em um dos slides estava escrito "semelhante dissolve semelhante" e os alunos questionaram se eles poderiam usar solventes orgânicos já que o tanino era uma molécula orgânica. Em especial, foram escolhidos o vinagre e o álcool porque são substâncias orgânicas baratas e de fácil acesso.

Para realizar um teste de comparação, os alunos construíram uma escala de cores a partir da tinta original, diluindo a mesma em 3 vezes, para garantir que a tinta extraída por eles não ficaria mais diluída que a tinta das paneleiras.

Todos os grupos fizeram os testes em casa e trouxeram os resultados para discussão no laboratório com toda a sala. Para escolher o processo mais sustentável, ao final da apresentação dos resultados de cada grupo, foi feito um debate no qual os processos foram avaliados em relação à sustentabilidade dos mesmos.

Para a avaliação do projeto, foram feitos diários de bordo, tanto para os alunos quanto para a professora de Química, que coordenava o projeto. Além dos diários, foram usadas rubricas de avaliação individuais e coletivas para acompanhar o desenvolvimento de competências dos alunos. É preciso reiterar que a avaliação acontecia à medida que as tarefas do cronograma iam sendo executadas, em um *feedback* contínuo. As rubricas que tinham o intuito de avaliar tanto o desempenho individual, quanto coletivo na execução das tarefas, eram feitas com três níveis de avaliação (1, 2 e 3):

1 - Eu cumpri / Nós cumprimos a tarefa muito bem.
2 - Eu consegui /Nós conseguimos cumprir a tarefa, mas poderia(íamos) melhorar.
3 - Não consegui / Não conseguimos cumprir a tarefa.

A última parte do projeto dizia respeito à comunicação do mesmo para a comunidade escolar. A Feira de Ciências da escola foi escolhida como evento divulgador do projeto. Para compor a exposição, os alunos decidiram que haveria um *banner* científico explicativo, um *stand* com a apresentação do processo mais sustentável e um *stand* com a exposição de ilustrações feitas sob orientação do professor de Artes, parceiro no projeto. Além disso, os alunos decidiram que haveria uma exposição virtual, feita através de um blog com figuras, textos e vídeos explicativos.

Resultados e discussão

Ao propor como âncora a participação em um prêmio educacional, a professora imaginou que haveria pouco engajamento devido à baixa autoestima dos alunos daquela sala. De fato, inicialmente os alunos não aceitaram bem o desafio pois muitos deles não se sentiam capazes de realizar um projeto, culpabilizando a limitação de recursos materiais e humanos da escola pública estadual na qual estudavam. Para contornar a baixa autoestima dos alunos, a professora de Química exibiu vídeos de projetos vencedores nos anos anteriores. Ao ver a semelhança das escolas vencedoras com sua escola, os alunos perceberam que era possível realizar um bom projeto, mesmo com as limitações enfrentadas em seu ambiente escolar. O engajamento dos alunos com o desafio mostrou que a estratégia usada funcionou.

Com os alunos engajados, a professora propôs que eles fizessem uma chuva de ideias para escolher um problema a ser resolvido. Ao deixar os alunos definirem o problema, ela deixou claro que eles teriam voz e escolha em todas as etapas do projeto. Contudo, mesmo que a decisão final passasse pelo crivo dos alunos, no tocante à definição do problema, foi preciso conciliar a escolha deles com o currículo definido pela Secretaria Estadual de Educação. Por isso, a professora selecionou três dentre os problemas citados que poderiam ser resolvidos usando os conteúdos de soluções e velocidade de reação. Embora a aprendizagem baseada em projetos possibilite trabalhar um currículo flexível de acordo com a escolha dos alunos, o sistema educacional em vigência no Brasil e no estado do Espírito Santo tem como política o uso de um currículo comum.

Dada a definição do problema, a professora formulou a questão motriz a ser resolvida no projeto juntamente com os alunos: "Como podemos tornar a produção de panelas de barro mais sustentável?". A definição da questão motriz foi importante para que os participantes não perdessem o foco do projeto, que era usar os conhecimentos químicos para tornar a produção de panelas de barro na APG mais sustentável, tanto economicamente quanto ambientalmente. Um cartaz com a questão motriz ficou colado em uma parede da sala de aula até o momento em que os alunos desenvolveram uma solução para a questão.

Para resolver a questão motriz foi preciso executar uma série de tarefas que foram pensadas e planejadas coletivamente. Foram reservadas duas aulas seguidas para o planejamento das ações. Como os alunos tinham pouca ou nenhuma experiência em executar projetos científicos, as discussões sobre quais seriam as ações a serem executadas, em que lugar e em que momento elas seriam realizadas, suscitaram longas discussões entre os alunos. Essas discussões prolongadas foram mais recorrentes no início do projeto, em razão de uma dificuldade de trabalhar em equipe, e foram se tornando mais objetivas e resolutivas ao longo do projeto, à medida que os alunos foram aprendendo a se organizar colaborativamente.

Após as discussões coletivas, a professora e os alunos chegaram a um consenso sobre o cronograma final do projeto, mostrado na Tabela 1. Mesmo que o cronograma em um projeto não seja rígido, nesse projeto, especificamente, o cronograma não sofreu alterações ao longo do desenvolvimento, nem houve atrasos de entregas das atividades concluídas. Isso só foi possível porque o engajamento inicial se transformou em comprometimento dos alunos com a execução das tarefas ao longo do projeto.

Além do cronograma do projeto, também foi escolhido coletivamente um nome para ele: "Preservando as Raízes do Mangue". De acordo com o aluno que sugeriu o nome, o termo "raízes do mangue" teria um duplo sentido. O primeiro é seu significado literal, para remeter à ideia de preservação do meio ambiente. O segundo sentido é metafórico pois, ao preservar o mangue, preservam-se as raízes culturais que estão ligadas ao manguezal, como a produção de panelas de barro. Devido à proximidade do tema da produção de panelas com a arte e cultura, os alunos tiveram ideia de fazer o projeto em parceria com o professor de Artes. Foi decidido que eles fariam uma exposição de arte ao mesmo tempo que expunham sobre o projeto científico na Feira de Ciências. A busca dessa parceria surgiu de forma espontânea, evidenciando que dar voz e possibilidade de escolha aos alunos em um projeto pedagógico desenvolve sua autonomia de tomar decisões e escolher o rumo do próprio projeto.

Além do cronograma do projeto, também foi escolhido coletivamente um nome para ele: "Preservando as Raízes do Mangue". De acordo com o aluno que sugeriu o nome, o termo "raízes do mangue" teria um duplo sentido. O primeiro é seu significado literal, para remeter à ideia de preservação do meio ambiente. O segundo sentido é metafórico pois, ao preservar o mangue, preservam-se as raízes culturais que estão ligadas ao manguezal, como a produção de panelas de barro.

Uma vez concluído o cronograma de atividades, era hora de iniciar o processo de investigação e pesquisa. Essa etapa tinha como intenção construir um conhecimento teórico e prático junto aos alunos para que explorassem melhor o tema da produção de panelas de barro. Inicialmente, foi proposto um ciclo de seminários, com apresentações em sala de aula, sobre tópicos que auxiliariam conhecer acerca da produção de panelas de barro. Cada seminário era avaliado qualitativamente através de uma rubrica coletiva na qual os alunos avaliavam o conteúdo apresentado no trabalho e a participação do grupo na apresentação. Todos os grupos assinalaram que cumpriram bem a tarefa do ciclo de seminários.

A estratégia dos seminários serviu para que os alunos tivessem um conhecimento prévio do tema quando fossem fazer a visita técnica na APG. Tal conhecimento trouxe mais objetividade durante a visita as paneleiras, visto que os alunos já tinham uma noção que a degradação que ocorria no mangue era devida, principalmente, à extração da tinta do mangue-vermelho. As perguntas giraram em torno da receita da produção da tinta; de quanto tempo levava para produzi-la; qual o preço das cascas de árvore de mangue-vermelho e quem as coletava; e sobre as formas de se usar a tinta.

A paneleira que guiou a visita deu uma quantidade de casca de mangue-vermelho suficiente para extrair um balde de 20L de tinta. Ao chegar na escola, a quantidade de cascas foi pesada e constatou-se que as paneleiras usavam em torno

Tabela 1: Cronograma do projeto "Preservando as raízes do mangue" elaborado pelos alunos e professores do projeto.

Ações do projeto	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro
Definição do problema	X					
Definição do cronograma	X					
Ciclo de seminários		X				
Visita técnica			X			
Aulas de laboratório			X	X		
Testes de fatores que alteram a velocidade de extração				X	X	
Definição do processo sustentável					X	
Produção artística do projeto					X	X
Preparação da apresentação do projeto na Feira de Ciências da escola.						X
Apresentação do projeto na Feira de Ciências						X

de 410g de cascas de mangue-vermelho por litro de água para produzir a tinta. Essa informação foi muito importante para extração da tinta ideal no laboratório posteriormente.

Além de colher dados sobre a produção de panelas de barro e da tinta, os alunos tiveram uma vivência de fazer panelas de barro com as próprias mãos através de uma oficina ministrada por uma paneleira com 50 anos de experiência na profissão. A oficina, mostrada na Figura 2(B), aproximou os alunos da comunidade no entorno da escola e possibilitou trabalhar as potencialidades dessa comunidade alinhadas ao currículo formal, construindo uma organização curricular dinâmica, contextualizada e voltada para a valorização da cultura local. Um aluno comentou no relatório que:

> "*Fazendo aula assim eu aprendi química, biologia e muita história e cultura. Gostei muito de fazer uma panela de barro com minhas mão* (sic)."

Após a visita técnica, para finalizar os processos de investigação e pesquisa, os alunos fizeram duas aulas experimentais no laboratório da escola: sobre efeito Tyndall e sobre preparação e diluição de soluções. A primeira aula experimental visava diferenciar misturas em soluções, emulsões e suspensões usando o efeito Tyndall. Os alunos fizeram três misturas: água e sal; água e gelatina e água e amido de milho. Em seguida incidiam um apontador a *laser* e observavam o que ocorria. Em um relatório entregue como instrumento de avaliação da experiência, uma aluna escreveu à seguinte conclusão sobre o experimento:

> "*...quando é suspensão a gente consegue ver o pozinho não dissolvido e a luz do laser não passa. Na emulsão e na solução a gente não ve(sic) pozinho. Para saber qual é uma e qual é a outra a gente passa o laser. Se aparece o laser passando no líquido é emulsão, quando não aparece nada é solução.*"

No segundo experimento, os alunos preparam uma solução a base de suco de uva e diluíram essa solução 3 vezes. Tendo como base a solução ideal de concentração fictícia igual 1, eles construíram soluções diluídas com concentração de 0,75; 0,50; e 0,25. A intenção, além de exercitar cálculo de concentração e diluição, era fazer os alunos perceberem a relação da cor com a concentração, como descreveu uma outra aluna no relatório pedido como avaliação da experiência:

> "*... quanto mais concentrado de suco de uva, mais forte a cor do suco. Quando vai diluindo o suco a cor vai ficando mais fraca...*"

Todos esses conhecimentos adquiridos na etapa de investigação e pesquisa foram cruciais para o desenvolvimento da fase seguinte, de investigação e inovação. Nessa fase, os alunos foram divididos em quatro grupos que testariam a extração da tinta alterando fatores que alteram a velocidade e a eficiência de extração. Para efeito de comparação, a receita da tinta das paneleiras, com 410g de cascas de mangue-vermelho por litro de água foi feita na escola. Essa foi denominada a tinta ideal de concentração fictícia igual a 1. A tinta foi então diluída 3 vezes formando soluções com concentrações de 0,75; 0,50 e 0,25. Tais soluções, que podem ser vistas na Figura 2(A), formaram uma escala de cores pela qual era baseada a classificação da tinta ideal. Esse modo de classificação foi proposto porque, segundo

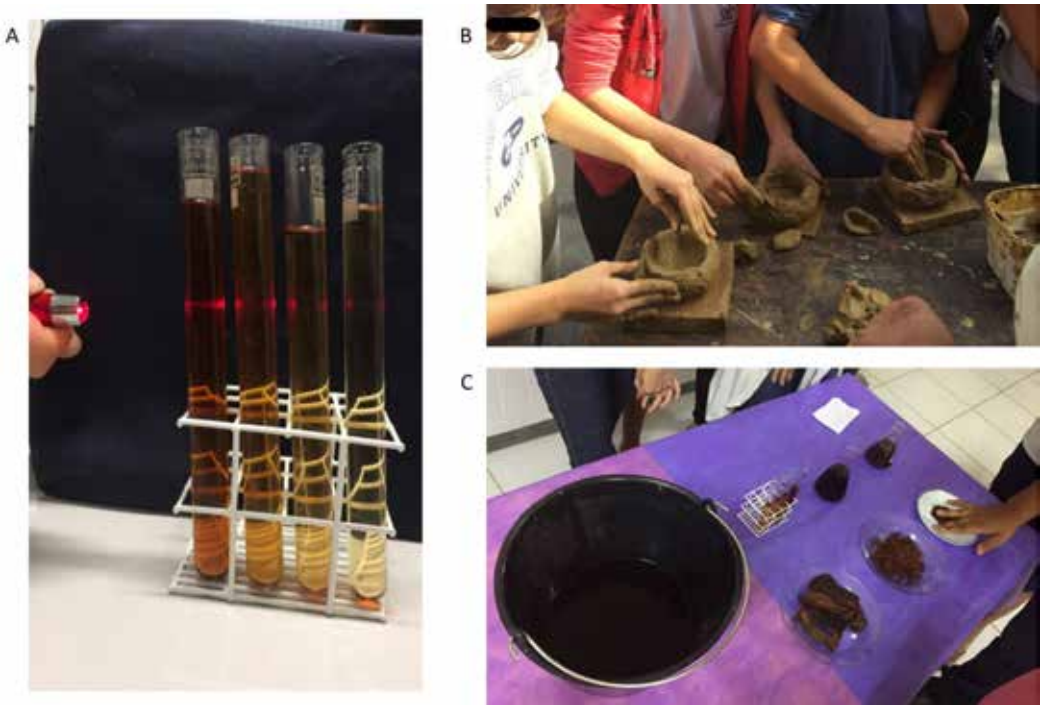


Figura 2: (A) Escala de cores feita a partir da diluição da receita de tinta das paneleiras. (B) Oficina de produção de panelas de barro na APG. (C) Exposição do desenvolvimento do Projeto na Feira de Ciências da Escola.

dados colhidos durante a visita técnica na APG, a tinta não teria efeito negativo no tingimento se ficasse mais concentrada, mas poderia não funcionar bem se ficasse diluída. Por isso foi preciso montar a escala de cores para garantir que a qualidade da tinta no processo sustentável era ideal, ou seja, não ficaria mais diluída que o constatado. Para avaliar a qualidade da tinta, os alunos tiravam foto da escala de cores com a tinta ideal e, através dessa escala, comparavam se a tinta sustentável que eles desenvolveram tinha a mesma coloração da tinta ideal. Ainda na Figura 2 (A), da escala de cores, percebe-se a incidência de um feixe de *laser*. O caminho do *laser* delineado na tinta mostra que a mesma era uma emulsão, fato que corroborava com a pesquisa inicial feita no ciclo de seminários sobre tinturas naturais. Isso também justifica a experiência sobre Efeito Tyndall feita na etapa de investigação e pesquisa, que foi planejada para embasar a classificação da tinta extraída do mangue-vermelho como uma emulsão de tintura natural.

Após definir uma escala de cores para avaliar a qualidade da tinta ideal, os grupos começaram a testar diferentes variáveis que poderiam ser capazes de alterar a velocidade e a eficiência de extração, como: superfície de contato das cascas; temperatura da extração; e a natureza do solvente (solução com vinagre ou álcool). Os grupos testavam esses fatores em casa e traziam as discussões para o laboratório. A limitação de material e estrutura física não possibilitava que os testes acontecessem no laboratório da escola, contudo a execução dessa parte do projeto em casa não prejudicou seu andamento.

Para avaliar a qualidade da tinta, os alunos tiravam foto da escala de cores com a tinta ideal e, através dessa escala, comparavam se a tinta sustentável que eles desenvolveram tinha a mesma coloração da tinta ideal.

A Figura 3(A) mostra a explicação do grupo que alterou a superfície de contato. Como a casca de mangue vermelho não é seca, os alunos conseguiram quebrá-las em pedaços menores e depois bateram num liquidificador até se tornarem bem pequenas. Eles fizeram o teste usando as proporções de 410g/L e de 205 g/L de cascas. Com a quantidade de 410g/L, conseguiram extrair a tinta ideal em 1 dia e com a proporção de 205 g/L de cascas extraíram a tinta ideal em 2 dias.

O grupo que modificou a temperatura fez o teste de extração com água fervendo (aproximadamente 100 ºC) por 3 horas. Ao usar uma proporção de 410 g/L de cascas, a tinta ficou mais concentrada que o ideal. Ao usar uma proporção de 205 g/L de cascas, a coloração da tinta ideal foi atingida em 3 horas.

Para os grupos que testaram a natureza do solvente, só foi usada a proporção de 410g/L de cascas. O primeiro grupo fez a extração utilizando uma solução alcoólica de 50% e observou que a tinta ideal foi extraída em 6 horas. O segundo grupo testou a extração com uma solução com 10% de vinagre comercial e constatou que a extração atingiu a coloração ideal em 5 horas.

Após a apresentação de todos os grupos, os alunos discutiram quais seriam as variáveis que seriam alteradas no processo de extração da tinta para torná-la mais sustentável. As primeiras rotas descartadas foram aquelas que alteraram a natureza do solvente. Os alunos pontuaram dois motivos para não usar essas rotas: 1) A inserção de um solvente deixaria a extração mais cara e geraria resíduos não naturais; 2) O uso de uma solução alcoólica podia ser perigoso visto que o tingimento ocorre ao lado das fogueiras de queima das panelas.

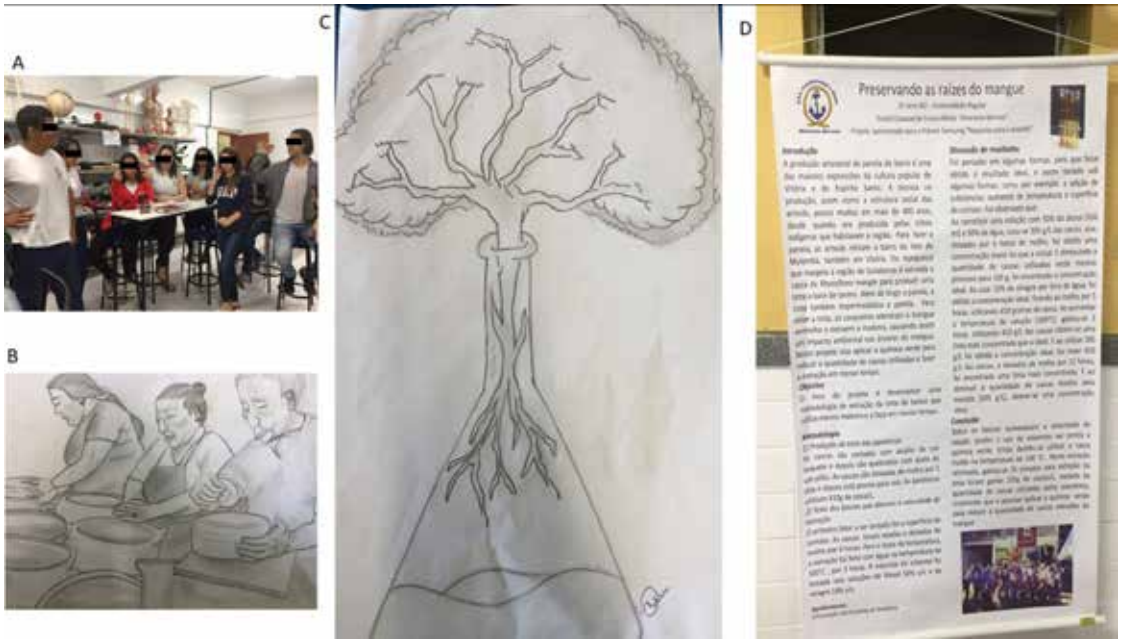


Figura 3: (A) Discussão sobre as variáveis que alteravam a velocidade e a eficiência de extração da tinta no laboratório da escola. (B) e (C) produção artística exposta na Feira de Ciências. (D) Banner explicativo do projeto científico exposto na Feira de Ciências.

Assim sendo, os alunos escolheram modificar superfície de contato e a temperatura para fazer a extração mais sustentável. Dessa forma, foi feito um teste no laboratório da escola modificando esses dois fatores concomitantemente. Utilizando uma proporção de 205 g/L de cascas (metade do que as paneleiras usam), em uma extração na temperatura de fervura da água, eles extraíram a tinta ideal em 30 minutos.

Para esquematizar o protótipo de um novo processo sustentável, os alunos deram a ideia de: providenciar um moedor mecânico simples para as paneleiras moerem as casas de mangue-vermelho para aumentar a superfície de contato; e aproveitar o calor da queima das panelas para fazer a extração da tinta na temperatura de fervura da água. Ao seguir o processo sustentável desenvolvido pelos alunos, as paneleiras conseguiriam extrair a tinta em menos tempo e usando menos cascas de mangue-vermelho, tornando a extração da tinta ambientalmente e economicamente mais sustentável, pois a extração é mais rápida e utiliza menos matéria-prima que, por consequência, degrada menos o mangue e diminui os custos de produção.

Após resolver a questão motriz, os alunos tiveram de apresentar o projeto concluído para comunidade escolar. Eles escolheram como meios de divulgar o projeto: um *banner* científico explicativo, com os dados de todos os testes; um *stand* onde eles mostravam a extração ideal de tinta; um blog com informações sobre o projeto; e uma exposição artística sobre o projeto. Na Figura 2 (C) pode-se ver o *stand* com o processo sustentável de extração da tinta sendo mostrado ao público. Na Figura 3 (D) vê-se o *banner* produzido pelos alunos e na Figura 3 (B) e (C) vê-se os desenhos artísticos produzido por 2 alunos. O desenho da Figura 3 (B), segundo seu autor, foi feito a partir de uma foto de sua avó com as amigas no galpão da APG, e o desenho da Figura 3(C), segundo o outro aluno autor, representa a química cuidando do meio ambiente.

Ao seguir o processo sustentável desenvolvido pelos alunos, as paneleiras conseguiriam extrair a tinta em menos tempo e usando menos cascas de mangue-vermelho, tornando a extração da tinta ambientalmente e economicamente mais sustentável, pois a extração é mais rápida e utiliza menos matéria-prima que, por consequência, degrada menos o mangue e diminui os custos de produção.

O momento de preparação da apresentação dos artefatos propiciou uma reflexão sobre o projeto que culminou em uma roda de conversa avaliativa antes da apresentação oficial. Nessa roda de conversa, os alunos pontuaram que as atividades diferenciadas realizadas no projeto quinzenalmente deixavam as aulas de Química mais interessantes e mais próximas do cotidiano deles. Esse maior interesse se manifestou na avaliação somativa do projeto, resultando em uma melhora nas notas trimestrais dos alunos participantes. Os alunos também relataram que o projeto os empoderou e os fez pensar maneiras de transformar a realidade de outras comunidades. Esse empoderamento e essa vontade de mudar outras realidades mostrou que o projeto conseguiu desenvolver nos alunos responsabilidade socioambiental e a capacidade de resolver problemas. Outro aprendizado muito pontuado pelos alunos foi a organização para trabalhar em grupo. Os alunos relataram também ter melhorado sua capacidade de colaboração e de escuta com os outros colegas.

De maneira geral, na prática aqui relatada, a metodologia de ABP, ao utilizar os problemas da comunidade como questão motriz de um projeto, foi capaz de promover uma educação de qualidade, voltada para sustentabilidade, como define o ODS 4 e, através dessa educação sustentável de qualidade, foi capaz de fortalecer e salvaguardar patrimônios culturais e naturais da cidade de Vitória, como requer o ODS 11. Além de ter trabalhado os conceitos de soluções e velocidade de reação de uma maneira contextualizada e instigante, o projeto ainda desenvolveu competências como criatividade, comunicação, capacidade de resolução de problemas e colaboração na execução de suas etapas.

Conclusão

O estudo trouxe um relato de prática docente de um projeto de aprendizagem realizado em uma Escola Estadual de Ensino Médio do bairro de Goiabeiras, em Vitória/ES, que atingiu os ODS 4 e 11 da ONU, que trata da educação de qualidade e da sustentabilidade das comunidades respectivamente. O projeto, realizado segundo o planejamento descrito por Bender (2014), tinha como questão motriz tornar a produção de panelas de barro em Goiabeiras mais sustentável. Para isso os alunos modificaram variáveis a fim de aumentar a velocidade e a eficiência de extração da tinta de mangue-vermelho, atividade da cadeia de produção de panelas que causava degradação do mangue. Nas extrações de tinta modificadas pelos alunos, foram testados fatores como a superfície de contato, a temperatura de extração e a natureza do solvente. A tinta produzida pelas paneleiras usava 410 g/L de cascas de mangue-vermelho e demorava 3 dias para ser extraída. Os alunos desenvolveram uma rota de extração, utilizando cascas de maior superfície de contato a uma temperatura de aproximadamente 100ºC, capaz de extrair a tinta ideal usando 205 g/L de cascas em 30 minutos. A diminuição do volume de cascas para extração da tinta diminuiu a degradação do mangue e os custos de produção da panela, deixando-a mais sustentável, tanto ambiental quanto economicamente. O projeto de aprendizagem, além de ter desenvolvido rotas mais verdes e sustentáveis para produção de panelas de barro, foi capaz de alinhar o currículo formal com a valorização de saberes e cultura local, e desenvolver nos alunos competências como criatividade, comunicação, colaboração, autonomia, responsabilidade socioambiental e capacidade de resolver problemas.

Ívina Langsdorff Santana (ivina.santana@edu.ufes.br), licenciada e mestre em Química, doutoranda em Química na área de Ensino de Química pela UFES, atualmente é professora da rede estadual de educação do Espírito Santo. Vitória, ES – BR. **Luciana Rodrigues do Nascimento** (luciana.rodrigues.65@edu.ufes.br), licenciada e mestre em Química, doutoranda em Química na área de Ensino de Química pela UFES, atualmente é professora da rede estadual de educação do Espírito Santo. Vitória, ES – BR. **Bruna Marine Damm** (bruna.damm@edu.ufes.br), licenciada em Química e mestranda em Química na área de Ensino de Química pela UFES. Vitória, ES – BR. **Mayara Lobo de Oliveira** (mayloboo@gmail.com), licenciada em Química, mestre em Química na área de Ensino de Química pela UFES. Vitória, ES – BR. **Marcos Benedito José Geraldo de Freitas** (marcos.freitas@ufes.br), bacharel em química e doutor em química na área da físico-química pela UFSCAR, atualmente é professor da UFES. Vitória, ES – BR. **Paulo Rogerio Garcez de Moura** (paulo.moura@ufes.br), licenciado em química e doutor em educação em Ciências pela UFRGS, atualmente é professor da UFES. Vitória, ES – BR.

Referências

BELLUZZO, L. C. B. Competência em informação (CoInfo) e midiática: inter-relação com a Agenda 2030 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) sob a ótica da educação contemporânea. *Revista de Biblioteconomia e Ciência da Informação*, v. 4, n. 1, p. 15-24, 2018.

BENDER, W. N. *Aprendizagem baseada em projetos:* educação diferenciada para o século XXI. 1a. Ed. Porto Alegre: Penso, 2014.

BRANCO, E. P.; ROYER, M. R. e BRANCO, A. B. G. A abordagem da educação ambiental nos PCNs, nas DCNs e na BNCC. *Nuances: estudos sobre Educação*, v. 29, n. 1, p.185-203, 2018.

BRANCO, A. F. V. C.; LINARD, Z. U. S. A. e SOUSA, A. C. B. Educação para o Desenvolvimento Sustentável e Educação Ambiental. *Conexão Ciência e Tecnologia*, v. 5, n. 1, p. 25-31, 2011.

BORLINI, M. C. e CARANASSIOS, A. Caracterização química, mineralógica e física da argila do Vale do Mulembá – ES utilizada na fabricação de panelas de barro. *Jornada do Programa de Capacitação Interna do CETEM*. Rio de Janeiro: CETEM, 2007.

GOMES, M. F. e FERREIRA, L. J. Políticas públicas e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. *Direito e Desenvolvimento*, v. 9, n. 2, p.155-178, 2018.

HERNÁNDEZ, F. *Transgressão e mudança na escola:* os projetos de trabalho. Porto Alegre: Artmed, 1998.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Indicadores Brasileiros para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável*. Disponível em: https://odsbrasil.gov.br/, acesso em mai. 2022.

MARTINS, V. J.; OZAKI, S. K.; RINALDI, C. e DO PRADO, E. W. A Aprendizagem Baseada em Projetos (ABPr) na construção de conceitos químicos na potabilidade da água. *Revista Prática Docente*, v. 1, n. 1, p. 79-90, 2016.

MATOS, M. A metodologia de projetos, a aprendizagem significativa e a educação ambiental na escola. *Ensino, Saúde e Ambiente*, v.2 n.1, p. 22–29, 2017.

PASQUALETTO, T. I.; VEIT, E. A. e ARAÚJO, I. S. Aprendizagem Baseada em Projetos no Ensino de Física: uma Revisão da Literatura. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 2, n. 17, p. 551-577, 2017.

PITANGA, A. F. Crise da modernidade, educação ambiental, educação para o desenvolvimento sustentável e educação em química verde: (re)pensando paradigmas. *Revista Ensaio*, v. 18, n.3, p. 141-159, 2016.

RODRIGUES, M. G.; VIEIRA, T. B. S.; OLIVEIRA, M. L. G.; OLIVEIRA, R. E. G.; SOUZA, R. B. e SOUZA, P. S. A. Classificação, composição e superfícies dos coloides no cotidiano. *Scientia Naturalis*, v. 2, n. 1, p. 443-454, 2020.

SANTOS, K. M. S.; LIMA, L. M., A.; SANTOS, T. S. e PITANGA, A. F. Avaliando métricas em química verde de experimentos adaptados para a degradação do corante amarelo de tartrazina para aulas no ensino médio. *Química Nova na Escola*, v. 43, n. 4, p. 411-417, 2021.

WUILLDA, A. C. J. S.; OLIVEIRA, C. A.; VICENTE, J. S.; GUERRA, A. C. O. e SILVA, F. F. M. Educação ambiental no ensino de química: reciclagem de caixas Tetra Pak® na construção de uma tabela periódica interativa. *Química Nova na Escola,* v. 39, n. 3, p. 268-276, 2017.

ZUIN, V. G.; IORIATTI, M. C. S. e MATHEUS, C. E. O Emprego de parâmetros físicos e químicos para a avaliação da qualidade de águas naturais: uma proposta para a educação química e ambiental na Perspectiva CTSA. *Química Nova na Escola*, v. 31 n. 1, p. 3-8, 2009.

SOUZA, M. e CALOTI, V. A. As paneleiras de goiabeiras e a dinâmica da cultura do barro. *Revista da Faculdade de Letras da Universidade do Porto*, v. 26, pág. 163-185, 2013.

Abstract: *Project 'Preserving mangrove roots': project-based chemistry learning and focused on sustainable development*. It is reported a teaching practice in which the contents of solutions and reaction speed were teached using project-based lerning metodology, developing a sustainable process of production of clay pots in the neighborhood of Goiabeiras - Vitória/ES. For this, students from a public high school changed factors that influence the rate and efficiency of extracting of the paint used in the production of clay pot. They modified the contact surface of the extract, the nature of the solvent and the extraction temperature of the paint, creating a new process that uses fewer tree barks and takes less time, reducing the environmental impact caused by production of clay pots. In addition to sustainable process, the project also promoted a chemistry teaching aligned with local problems and culture; and developed soft skills such as creativity, communication, collaboration, social and environmental responsibility and the ability to solve problems.
Keywords: Project-based learning; Sustainability; Clay pot.

A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160314

Está chovendo microplásticos! E agora?

Aline S. F. Azevedo e Marcelo H. Herbst

Este relato de experiência descreve intervenções presenciais e *online*, a partir de um planejamento adequado ao momento pandêmico, com alunos do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola estadual localizada na Baixada Fluminense, RJ, com o objetivo de explorar o tema gerador Plásticos e Microplásticos no ensino de química orgânica/polímeros. O planejamento teve como apoio as diretrizes da Base Nacional Comum Curricular, o Currículo Mínimo do Estado do Rio de Janeiro, livros didáticos do PNLD 2021 e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030, da UNESCO. Os resultados mostram que a temática, tão presente em nosso cotidiano, era praticamente desconhecida pelos alunos, e servem para reforçar o quanto é necessário discutir e desenvolver o tema na Educação Básica. Além de promover o ensino da Química através da aproximação dos alunos com a ciência e a tecnologia, também foi possível incentivar o pensamento crítico e a reflexão sobre o consumo sustentável e o descarte adequado de resíduos plásticos.

▶ microplásticos, ensino de química, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável ◀

Recebido em 20/11/2021, aceito em 11/04/2022

A busca constante por novos e melhores materiais e tecnologias tem tornado o mundo moderno mais confortável e prático. Nesse contexto, surgiram os materiais poliméricos sintéticos, comumente conhecidos como "plásticos"[1]. Os polímeros sintéticos se configuram como materiais desenvolvidos no esforço de substituir materiais naturais, surgindo no final do século XIX e se tornando *commodities* a partir dos anos 1950 (Miodownik, 2015). Esses materiais inovadores logo ganharam destaque pelas suas propriedades, versatilidade e, principalmente, pelo seu baixo custo final. Dentre algumas propriedades pode-se destacar a sua durabilidade, leveza e resistência. Todas essas características permitiram que a indústria do plástico despontasse e tornasse o seu consumo viável (Piatti, 2005).

Embora a durabilidade dos materiais plásticos tenha sido inicialmente considerada uma característica positiva, atualmente se constitui num sério problema ambiental e social. Polímeros sintéticos são resistentes ao ataque microbiano, dificultando a sua degradação quando dispostos de forma inadequada na natureza, tornando sua persistência bastante longa (Cangemi *et al.*, 2005).

Embora a durabilidade dos materiais plásticos tenha sido inicialmente considerada uma característica positiva, atualmente se constitui num sério problema ambiental e social. Polímeros sintéticos são resistentes ao ataque microbiano, dificultando a sua degradação quando dispostos de forma inadequada na natureza, tornando sua persistência bastante longa (Cangemi *et al.*, 2005). Vale destacar que foi no setor de embalagens que os plásticos se tornaram tão presentes e indispensáveis. Justamente aí está um dos problemas: embalagens plásticas possuem uma vida útil curta, sendo geralmente não reutilizáveis e, em sua grande maioria, descartadas inadequadamente (Geyer *et al.*, 2017).

Estudos mostram que, de todo o material plástico produzido desde 1950 até 2015, apenas 29% ainda se encontra em uso e 71% já foram descartados. Do total descartado nesse período, 77,7% foram descartados incorretamente, ou seja, estão na natureza ou em aterros sanitários, apenas 13% foram incinerados e somente 9% foram reciclados (Geyer *et al.*, 2017).

Ainda que o Brasil não esteja entre os países que mais produzem plásticos, é o quarto país que mais gera lixo plástico no mundo, e um dos que menos recicla: do total gerado, apenas 1,28% é reciclado (Olivatto, 2018; WWF, 2019).

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

O que os olhos não veem - Um problema ambiental recentemente posto em evidência, consequência em parte do descarte incorreto, é a geração de resíduos plásticos de pequenas dimensões, os microplásticos. Em geral, são considerados microplásticos os resíduos plásticos com tamanho de partículas igual ou inferior a 5 milímetros. De acordo com a sua origem, estes podem ser classificados como primários ou secundários. Portanto, quando os materiais já são produzidos em tamanhos micrométricos para compor algum produto ou objeto são chamados de microplásticos primários, enquanto os microplásticos secundários são aqueles oriundos da fragmentação mecânica de plásticos maiores (Olivatto, 2018). A denominação microplásticos surgiu após serem detectadas partículas micrométricas de materiais plásticos em praias britânicas, por uma equipe de ecologistas marinhos do Reino Unido. Desde então, os cientistas têm detectado microplásticos em praticamente todos os biomas, desde as águas mais profundas do oceano, passando pela comida que ingerimos, pela água que bebemos, o ar que respiramos, e na água da chuva que cai sobre as cidades e mesmo em montanhas isoladas (Lim, 2021).

A denominação microplásticos surgiu após serem detectadas partículas micrométricas de materiais plásticos em praias britânicas, por uma equipe de ecologistas marinhos do Reino Unido. Desde então, os cientistas têm detectado microplásticos em praticamente todos os biomas, desde as águas mais profundas do oceano, passando pela comida que ingerimos, pela água que bebemos, o ar que respiramos, e na água da chuva que cai sobre as cidades e mesmo em montanhas isoladas (Lim, 2021).

Algumas das principais fontes de microplásticos no ambiente estão relacionadas com a logística que envolve a distribuição dos *pellets* (pequenas pastilhas de material plástico), ao descarte incorreto de resíduos plásticos, ao uso de cosméticos e produtos de higiene que contenham microplásticos em sua composição, à lavagem de roupas confeccionadas com tecidos sintéticos, à pesca clandestina e ao uso de tintas látex e acrílicas. Quando no meio ambiente, os microplásticos podem se inserir nas cadeias alimentares de diversos seres vivos, trazendo riscos à vida de inúmeros animais e alterando a biota, e podem gerar riscos à saúde humana, além de retardarem o crescimento de plantas e gerarem poluição química e biológica. É importante notar que, apesar de os plásticos, independentemente do tamanho, serem considerados materiais inertes e atóxicos, os microplásticos podem incorporar partículas tóxicas, como os chamados poluentes orgânicos persistentes (POPs), metais pesados, entre outras (ECYCLE, [s/d]; Jones, 2019).

Como solucionar esse problema? - A coleta seletiva e a reciclagem dos resíduos plásticos podem contribuir para minimizar os impactos ambientais. Todavia, alternativas também já estão sendo discutidas e implementadas para auxiliar nesse processo, como a produção de materiais plásticos biodegradáveis (Oakes, 2020), oxidegradáveis, bioplásticos (Ciclo vivo, 2018) e a aplicação da logística reversa (Assumpção, 2020).

Uma proposta educativa seria a prática dos 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar), uma política de gestão de resíduos baseada, primeiramente, na redução de resíduos em geral, inclusive resíduos plásticos. Uma vez consumidos, avaliar a possibilidade de reutilização desses resíduos e, por último, reciclar quando inevitavelmente esses materiais precisam ser descartados (Piatti, 2005).

Diante da necessidade de se refletir, discutir e agir sobre a relação entre os seres humanos e o meio em que estão inseridos, a Organização das Nações Unidas (ONU), através da UNESCO (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura), tem buscado maneiras que possam contribuir para o desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, em 2015, a ONU elaborou um plano de ação global, a Agenda 2030, contendo dezessete Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) com a intenção de alertar para uma urgente mudança comportamental dos cidadãos, tendo a colaboração de vários países (Agenda 2030, 2018). A UNESCO elegeu, em 2019, o ano de 2022 como sendo o Ano Internacional das Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável, com o intuito de mobilizar os envolvidos com as ciências básicas, bem como os líderes econômicos e políticos, sobre a importância dos ODS e a sua divulgação em massa para a população (IYBSSD, [s/d]).

Baseado no exposto, surge a necessidade de promover ações educativas que viabilizem maior discussão do tema Plásticos e Microplásticos no ambiente escolar, permitindo aos alunos um possível engajamento futuro frente ao consumo sustentável e à tomada de decisões frente à sociedade em que estão inseridos. Quando explorado no Ensino de Química de forma planejada e integrada com outras disciplinas, fica evidente a contribuição desse tema para a discussão crítica dos ODS, mais especificamente, do 12º – Consumo e Produção Responsáveis. O tema também permeia outros ODS, como o 11º e o 14º (Agenda 2030, 2018). Diante dessa inquietação com relação ao consumo não sustentável de plásticos, e de como a abordagem de polímeros no Ensino de Química é comumente realizada, o presente trabalho tem como objetivo principal apresentar a importância do tema gerador Plásticos e Microplásticos no Ensino de Química para o Ensino Médio, tendo como apoio a Base Nacional Comum Curricular, o Currículo Mínimo do Estado do Rio de Janeiro, os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e a metodologia dos Três Momentos Pedagógicos.

Fundamentação Teórica: BNCC, Novo Ensino Médio (NEM) e mudanças nos livros didáticos

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) normatiza e define as aprendizagens essenciais, as quais são responsáveis por desenvolver as dez competências gerais que foram determinadas por esse documento. A BNCC propõe a não

fragmentação disciplinar do conhecimento, estimula a aplicabilidade do conhecimento no cotidiano, incentiva dar sentido ao aprendizado e sugere o protagonismo estudantil em seu processo de ensino-aprendizagem e de seu projeto de vida. Uma profunda e desafiadora mudança pela qual o Novo Ensino Médio (NEM) está passando é a (re)elaboração de novos currículos e a flexibilização dos mesmos, os chamados percursos formativos (Brasil, 2018).

Tendo em vista as mudanças propostas pela BNCC, os livros didáticos (LD) e, consequentemente, o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), sofreram alterações. Uma notável mudança foi a elaboração dos LD por áreas de conhecimento: a disciplina de Química passou a integrar a área de conhecimento de Ciências da Natureza e suas Tecnologias (CNT), juntamente com as disciplinas de Física e Biologia (BNCC, 2020). Além das obras por área de conhecimento e as específicas, outras obras irão compor o material que será disponibilizado pelo PNLD, como as obras chamadas de Projeto de Vida, Projetos Integradores e as Obras Literárias. Os Projetos Integradores para a área de CNT foram pensados para atender a quatro temas obrigatórios, os quais possuem objetivos específicos, sendo eles: STEAM (Ciência, Tecnologia, Engenharia, Arte e Matemática), Midiaeducação, Mediação de Conflitos e Protagonismo Juvenil (BNCC, 2020).

Polímeros no Ensino Médio – No estado do Rio de Janeiro (RJ), as escolas estaduais, a partir do Currículo Mínimo elaborado pela Secretaria Estadual de Educação em 2012, trabalham o conteúdo de polímeros no 4º bimestre do 3º ano do Ensino Médio, como mostra o Quadro 1 (Currículo..., 2012), quando os alunos já terão tido contato com a Química Orgânica no bimestre anterior. O documento também determina que a temática sobre os plásticos seja abordada após o conteúdo de polímeros. Portanto, este trabalho foi apoiado no documento vigente no RJ durante o ano de 2021, ou seja, no Currículo Mínimo. Porém, ele também foi pensado para atender às demandas do novo currículo (ainda não divulgado pela SEEDUC-RJ), de acordo com as diretrizes da BNCC e dos novos livros didáticos.

Embora o Currículo Mínimo seja alterado em breve para se alinhar à BNCC e ao Novo Ensino Médio, é importante a visualização desse currículo que fez parte do planejamento de Química durante quase uma década, em particular o ensino de polímeros que deve ser abordado segundo as Orientações Curriculares para o Ensino Médio, que recomendam:

> *... que as propostas pedagógicas das escolas sejam organizadas com participação imprescindível das áreas de estudo, em torno da abordagem de aspectos sociocientíficos associados a temas sociais, preferencialmente relacionados a temáticas ambientais, de forma articulada a conteúdos/conceitos disciplinares, em uma abordagem tanto mais significativa quanto mais for legitimada na vivência social dos estudantes, o que significa a estruturação de um conhecimento disciplinar de Química dinamicamente articulado com os demais componentes curriculares da área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, bem como as das demais áreas de estudo* (Brasil, 2006, p. 121 e 122).

Quadro 1: Currículo mínimo do estado do Rio de Janeiro (Química - 4º Bimestre do 3º ano do Ensino Médio). Reproduzido a partir de Currículo... (2012).

4º Bimestre	
Eixo Temático	**Química Orgânica - Biomoléculas e Polímeros**
Habilidades e Competências	- Compreender que os polímeros são formados por repetições de monômeros, identificando a sua presença nos plásticos e em biomoléculas (*i.e.*: carboidratos, proteínas e ácidos nucléicos).
	- Problematizar o uso dos plásticos em nosso dia-a-dia, utilizando campos temáticos, tais como poluição, reciclagem, armazenamento, incineração.
	- Reconhecer a importância da Química para a inovação científica e tecnológica nas sociedades modernas, enfatizando suas contribuições nos campos da Biotecnologia, Saúde Humana, Nanotecnologia, desenvolvimento de novos materiais e novas matrizes energéticas.

Os Três Momentos Pedagógicos (3 MP) são uma proposta didático-pedagógica apoiada na concepção da educação freireana, e se caracteriza em elaborar três momentos com objetivos específicos, sendo eles: a problematização inicial, a organização do conhecimento e a aplicação do conhecimento.

Vale ressaltar que as Orientações Curriculares estão alinhadas com os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, os quais pressupõem que os conhecimentos de Química devem ser articulados de forma a auxiliar o aluno a ter uma visão de mundo mais ampliada e menos fragmentada (Brasil, 2000).

Os Três Momentos Pedagógicos

Os Três Momentos Pedagógicos (3 MP) são uma proposta didático-pedagógica apoiada na concepção da educação freireana, e se caracteriza em elaborar três momentos com objetivos específicos, sendo eles: a problematização inicial, a organização do conhecimento e a aplicação do conhecimento. Todas as etapas são propostas com base em temas geradores que envolvam situações do cotidiano do público-alvo que será atingido pelos 3 MP (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2011).

O primeiro momento acontece com o professor problematizando assuntos reais vivenciados pela comunidade

escolar, visando estimular os alunos a se posicionarem sobre o tema através de sua participação efetiva nas discussões, propiciando um distanciamento crítico de suas concepções ao perceberem que não detêm conhecimentos suficientes para o desenvolvimento da discussão proposta. O segundo momento é destinado ao aprendizado da temática que se pretende desenvolver. Portanto, o professor irá planejar formas de conduzir o aluno à compreensão de conhecimentos pertinentes a problematização inicial e ao tema escolhido. O terceiro momento é aquele em que o conhecimento adquirido será sistematicamente abordado para verificar a compreensão dos assuntos iniciais problematizados e questionados. Assim, entende-se que os alunos serão capazes de analisar, interpretar e intervir em situações cotidianas empregando os conhecimentos adquiridos (Delizoicov, Angotti e Pernambuco, 2011).

Metodologia/Desenvolvimento

O presente trabalho possui aspecto qualitativo e se constitui num relato de experiência da autora - professora do Ensino Médio na rede pública do estado do Rio de Janeiro, e integra seu projeto de dissertação de mestrado no PROFQUI, em andamento.

Apesar de o tema "Plásticos" já fazer parte do currículo formal do Rio de Janeiro, ele foi escolhido como tema gerador deste trabalho para destacar a importância dos plásticos, seu uso e descarte adequados e, sobretudo, dos microplásticos. Além disso, o tema apresenta grande relevância social, sendo fundamental mobilizar a comunidade escolar na reflexão sobre o seu papel enquanto cidadãos. Portanto, considerando o Currículo Mínimo do estado do RJ, a implementação da BNCC (Base Nacional Comum Curricular) a partir de 2022 e a escolha dos livros didáticos que poderão auxiliar o desenvolvimento cognitivo no período escolar, escolheu-se o tema gerador Plásticos e microplásticos. Fez-se então um levantamento sobre a utilização dessa temática nos volumes chamados "Projetos Integradores" dos livros de Ciências da Natureza e suas Tecnologias aprovados pelo MEC (Ministério da Educação) escolhidos pelo corpo docente de Ciências de uma das escolas em que a autora deste relato trabalha. Outra etapa importante desse trabalho foi a elaboração de um planejamento adequado, apoiado nos Três Momentos Pedagógicos, para ser aplicado aos alunos do 3º ano do Ensino Médio. No ano letivo de 2021, a escola possuía duas turmas de terceiro ano, das quais uma se enquadrava no Ensino Regular e a outra no Ensino Integral. Considerando o momento de pandemia de covid-19, todos os discentes puderam optar pelo ensino presencial ou remoto. Entretanto, o planejamento e a aplicação das intervenções consideraram apenas os alunos que estavam frequentando a escola presencialmente. Esse planejamento foi elaborado e executado na perspectiva de perceber o quanto esse assunto era conhecido pelos alunos, tendo em vista a relevância do tema escolhido. Além disso, a temática proporcionou a imersão no conteúdo da disciplina – Polímeros – de maneira mais contextualizada.

Apesar de o tema "Plásticos" já fazer parte do currículo formal do Rio de Janeiro, ele foi escolhido como tema gerador deste trabalho para destacar a importância dos plásticos, seu uso e descarte adequados e, sobretudo, dos microplásticos.

Para tanto, fizeram parte desse planejamento a problematização inicial, a qual consistiu numa enquete para verificação do conhecimento prévio dos alunos, a organização do conhecimento, através de uma aula expositiva e, por fim, a aplicação do conhecimento, através de nova enquete e de uma roda de conversa sobre a temática.

Inicialmente, os alunos foram esclarecidos sobre as motivações da professora, e lhes foi explicado o que seria feito. Foi assegurado aos alunos a participação voluntária e o anonimato, sendo acordado que a participação não seria contabilizada como avaliação. Foi informado também aos alunos participantes que as respostas obtidas poderiam ser utilizadas neste relato de experiência, que integra a proposta de dissertação de mestrado da autora. A seguir, foi solicitado aos alunos participantes que respondessem a uma enquete virtual no formato remoto, utilizando o *link* disponibilizado no Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) *Classroom* e no aplicativo de mensagens *Whatsapp*, para que fosse possível analisar o seu entendimento sobre Plásticos e Microplásticos. As questões dessa enquete foram adaptadas de Janoušková *et al*. (2020), que realizaram uma pesquisa transversal entre graduandos de sete universidades da República Tcheca sobre o tema dos microplásticos. Esse momento é importante para que o conhecimento previamente existente possa ser considerado nas etapas seguintes. Além disso, o tema explorado foi problematizado através de indagações e provocações, para que os alunos pudessem se sentir distanciados criticamente de suas concepções pelo reconhecimento da insuficiência de conhecimentos específicos.

A partir das respostas obtidas, o segundo momento foi projetado visando a organização do conhecimento, de acordo com os 3 MP's. Uma aula expositiva presencial, utilizando recurso de multimídia (*slides*), foi elaborada e aplicada para explorar o tema, desde a matéria-prima da maioria dos plásticos até as possibilidades de reduzir o consumo e descartar adequadamente, considerando o resultado obtido na etapa anterior. Além disso, foi sugerido que os alunos assistissem, fora do tempo da aula, a um curto vídeo sobre as etapas da reciclagem dos plásticos.

O terceiro momento foi elaborado visando perceber uma possível compreensão de pontos importantes sobre o tema pelos alunos, contando com duas etapas. Na primeira etapa do terceiro momento aplicou-se, novamente, uma enquete virtual no formato remoto contendo questões que remetiam ao que foi visto por eles durante os momentos anteriores. Além da enquete, um episódio do *podcast* "Moléculas", de autoria do professor Cedric Stephan Graebin, do

Departamento de Química Orgânica do IQ-UFRRJ, foi enviado aos alunos para contribuir na construção desse conhecimento (Microplásticos, 2019). A segunda etapa do terceiro momento surgiu como necessidade de proporcionar um momento de maior liberdade de expressão e troca de conhecimentos. Dessa forma, a roda de conversa forneceu condições para que os alunos falassem mais livremente a respeito do tema. Para embasar a roda de conversa, uma sequência de *slides* com algumas sugestões sobre o tema abordado foi apresentada.

Resultados e Discussão

Análise das obras "Projetos Integradores" do PNLD 2021

Como colocado anteriormente, a BNCC (Brasil, 2018) orienta que os livros didáticos passem por mudanças estruturais significativas. Para escolher o novo material didático, os professores de cada unidade escolar da rede pública do RJ foram responsáveis por eleger duas opções de obras chamadas de ''Áreas do Conhecimento" e mais duas opções dentre as que foram chamadas de "Projetos Integradores". Diferentemente das propostas de livros didáticos de anos anteriores, nas obras definidas por Área do Conhecimento estão os conteúdos teóricos de Ciências (Química, Física e Biologia) que devem ser desenvolvidos ao longo do Ensino Médio, de acordo com a BNCC. Portanto, o corpo docente da escola estadual da qual a autora deste relato de experiência faz parte, escolheu como primeira opção de obra de Projetos Integradores o livro "De Olho no Futuro", de autoria de Vivian Lavander Mendonça (Editora Ática), e como segunda opção a obra intitulada "+ Ação na Escola e na Comunidade" sob os cuidados da editora responsável Valquíria Baddini Tronolone (Editora FTD). Foi possível, então, fazer o levantamento dos assuntos abordados nessas obras e verificar a abrangência da temática Plásticos e Microplásticos. De acordo com a análise, ficou evidente que o tema Plásticos foi contemplado de forma direta em ambas as obras escolhidas pelo corpo docente de Ciências da Natureza da escola. Sendo o primeiro projeto de ambas as obras, os plásticos têm posição de destaque e são motivos de preocupação. Os livros propõem, de uma forma proativa, mobilizar e engajar os alunos na problemática por trás do consumo desses materiais.

As turmas do terceiro ano do Ensino Médio foram escolhidas por contemplarem o conteúdo de polímeros e plásticos em seu currículo. Como já mencionado na metodologia, havia duas turmas de terceiro ano do Ensino Médio, e todos os alunos que optaram pelo formato presencial foram convidados a participar das etapas de intervenção.

Os três momentos de intervenção pedagógica

Os momentos de intervenção pedagógica foram elaborados levando-se em consideração o contexto atual da educação perante a pandemia de covid-19. As turmas do terceiro ano do Ensino Médio foram escolhidas por contemplarem o conteúdo de polímeros e plásticos em seu currículo. Como já mencionado na metodologia, havia duas turmas de terceiro ano do Ensino Médio, e todos os alunos que optaram pelo formato presencial foram convidados a participar das etapas de intervenção. Em todas as etapas houve uma detalhada explicação sobre todo o procedimento, sendo informado que se tratava de intervenções vinculadas ao projeto de dissertação de mestrado da professora, e que a participação não era obrigatória.

1º momento: Verificação dos conhecimentos prévios dos alunos

Para que houvesse coerência na elaboração e aplicação da etapa posterior, o *link* de uma enquete virtual foi enviado aos alunos via Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) e aplicativo de mensagens, para que respondessem ao solicitado, de forma voluntária e anônima. Ao todo, 19 alunos responderam à enquete composta por 8 perguntas, permitindo uma reflexão sobre os resultados e o planejamento da próxima etapa. Foi pedido ainda que as respostas fossem autênticas e que não fossem feitas pesquisas para elaborá-las, de modo que elas fossem baseadas no conhecimento que foi construído ao longo do tempo a partir das diversas fontes do seu dia a dia.

A partir dos resultados colhidos nessa enquete, observou-se a necessidade de enfatizar a temática Plásticos e Microplásticos no ensino de Química, visto que o assunto é pouco conhecido pelos alunos. Para ilustrar o quanto esse conhecimento está distante do cotidiano dos alunos, a seguir apresentamos os resultados agregados. Na pergunta objetiva "Você sabe a principal diferença entre os plásticos e os microplásticos?", as respostas obtidas chamaram bastante atenção, pois, dos 19 alunos participantes, 15 (79%) não souberam diferenciar um material chamado de plástico de outro material chamado de microplástico. Apenas 1 (5%) aluno sabia essa diferença. A opção "talvez" foi inserida para possibilitar a escolha por alunos inseguros de seus conhecimentos. Entretanto, apenas 3 (16%) alunos optaram pelo "talvez", permitindo verificar que se faz importante a abordagem do tema no ambiente escolar.

A outra pergunta objetiva feita na enquete, "Você sabe do que são feitos/formados os plásticos?", as respostas reafirmam o quanto se torna relevante uma mudança de postura dentro das escolas de Educação Básica, pois 74% dos participantes da enquete responderam não saber que a matéria-prima necessária para a produção desse material tão presente em seu cotidiano é uma fração – a nafta – de um recurso natural não renovável, o petróleo.

É notório, a partir da leitura das respostas obtidas, o quão necessárias são as discussões a respeito da temática e o quanto o ambiente escolar tem potencial de catalisar a curiosidade e um possível engajamento dos alunos sobre assuntos do cotidiano. Com as respostas reunidas e analisadas, o passo seguinte foi a montagem de um roteiro da apresentação para ser exibida em uma aula expositiva.

2º Momento: Elaboração do conhecimento através de aula expositiva

De acordo com os resultados obtidos na etapa anterior, preparou-se um conjunto de *slides* contendo diversas informações sobre a temática Plásticos e Microplásticos para ser apresentado em uma aula expositiva. Para esse momento, todos os alunos foram agrupados em uma sala da escola que dispunha de recursos de multimídia, totalizando 22 participantes. Para a exposição do tema utilizou-se dois tempos de aula de 50 minutos cada e iniciou-se com imagens e perguntas de problematização, para instigar a curiosidade e motivar os alunos. Diante desse contexto, diversos tópicos foram abordados sobre os plásticos, como a matéria-prima, escala da produção mundial, usos, formas de descarte, consumo no Brasil, tipos de plásticos, impactos ambientais, ciclo de vida na natureza, e microplásticos, com ênfase na sua geração e nos seus impactos ambientais. Entretanto, vale destacar que em momento algum a professora defendeu a ideia de eliminar a utilização dos materiais plásticos do cotidiano. Inclusive, durante a exposição, a professora destacou as diferentes utilizações desses materiais, dadas suas características únicas.

A aula transcorreu sem muita participação dos alunos, apesar das várias provocações feitas pela professora. Porém, vale destacar a fala de uma aluna participante no decorrer da intervenção, quando ela se sentiu à vontade para se manifestar: "*Professora, nós vamos morrer mesmo. Então, para que todo esse movimento e cuidado?*" Essa fala, que denota uma postura negativa e descompromissada, foi imediatamente questionada pelos demais alunos, e a aluna tentou então amenizar o que tinha dito. De qualquer modo, essa fala deu origem a um primeiro debate entre os alunos.

3º Momento: A aplicação do conhecimento

Esse momento foi pensado para que fosse possível analisar o alcance da etapa anterior. Para isso, uma nova enquete virtual foi elaborada e enviada, também de forma remota, aos alunos através de *link* no aplicativo de mensagens e via Ambiente Virtual de Aprendizagem, solicitando que apenas aqueles que participaram da etapa anterior, ou seja, os alunos presentes no dia da aula expositiva, respondessem, voluntariamente, às questões propostas. Juntamente com a enquete, foi enviado um segundo *link* que dava acesso a um episódio do podcast "Moléculas" (Microplásticos, 2019) para contribuir para a construção desse conhecimento. Novamente, foi destacada a importância da originalidade das respostas, sendo assegurado o anonimato.

Nesta segunda enquete, pode-se destacar a participação de 14 alunos e analisar os resultados obtidos. A primeira questão se referia, novamente, à matéria-prima dos plásticos, objetivamente, com a possibilidade de responder sim ou não: "Você sabe qual é a matéria-prima necessária para se produzir os plásticos?". A maioria dos alunos (92,9% - 13 alunos) respondeu afirmativamente.

Para aferir a resposta dada na pergunta anterior, foi feita uma segunda pergunta com resposta livre (discursiva): "Em caso afirmativo, escreva qual seria, baseado em seu conhecimento. " Dos 13 alunos que responderam corretamente qual seria a matéria-prima do plástico, 12 escreveram ser o petróleo e 1 aluno foi ainda mais específico, dizendo ser um derivado do petróleo.

Com relação aos microplásticos, foi repetida a mesma pergunta da primeira enquete: "Você sabe qual é a diferença entre os plásticos e os microplásticos? " Dos 14 alunos respondentes, 10 (71,4%) afirmaram saber distinguir o plástico do microplástico, 1 aluno disse não saber a diferença e outros 3 optaram pela resposta "talvez". Entretanto, dos 3 alunos que responderam que talvez soubessem diferenciar plástico de microplásticos, 2 deles conseguiram descrever essa diferença na resposta à pergunta posterior, que dizia: "Em caso afirmativo na pergunta 4, descreva qual(is) seria(m) essa(s) diferença(s), de acordo com o seu conhecimento." Suas respostas foram: "*Os microplásticos são plásticos bem pequenos que atrasam* (sic) *o meio ambiente*" e "*Microplásticos e plásticos são diferentes microplásticos são plásticos pequenos já plásticos são maiores*" (sic).

Para abordar o assunto sobre o consumo não sustentável e descarte inadequado, foi solicitado que eles respondessem livremente a seguinte pergunta: "Existe alguma alternativa para minimizar os problemas causados pelo consumo/descarte inadequado dos plásticos? Explique com suas palavras." As respostas foram adequadas ao contexto, seguindo a proposta dos 3 R's[2]. Os 13 alunos sugeriram alternativas que corroboram para que tal prática seja aplicada. No Quadro 2, as respostas coletadas foram transcritas e classificadas conforme sua adequação a cada um dos 3 R's.

Para encerrar a enquete, foi realizada uma pergunta de livre resposta: "Esse espaço será destinado para você fazer considerações/complementações sobre o tema, então, complete a frase: "Na aula sobre plásticos e microplásticos eu aprendi..." Podemos citar algumas respostas que permeiam por tópicos que foram mencionados na aula expositiva. Na resposta transcrita abaixo destaca-se o tempo de decomposição, um tópico abordado durante a aula.

"Que o plástico é muito maléfico ao meio ambiente e pode demorar até 5 séculos para se decompor e dentro desse período podendo ferir e até matar dezenas de animais, principalmente animais marinhos..." (Aluno A).

Em várias outras respostas, como as mencionadas abaixo, os alunos comentaram sobre o consumo exagerado e a importância de reciclar os resíduos gerados:

"Que os plásticos estão sendo usados exageradamente, por isso devemos reciclar" (Aluno B).

"Que os plásticos e micro plásticos fazem muito mal para o meio ambiente, com isso é necessário fazer a reciclagem e o descarte correto"(Aluno C).

"Eu aprendi a origem do plástico, a grande quantidade de uso no mundo e a pequena porcentagem de reciclagem, no Brasil é apenas 9%"(Aluno D).

Assim, obtivemos respostas que demonstram mobilização de conhecimentos dentro da temática apresentada a eles. Ao todo foram 15 perguntas que fizeram parte dessa enquete remota.

Quadro 2: Respostas dos alunos a uma das perguntas feitas na segunda enquete virtual e classificação tentativa segundo os 3 R's.

Respostas Coletadas	Reduzir	Reutilizar	Reciclar
A reciclagem dos plásticos já utilizados e o crescimento do uso de materiais biodegradáveis			X
Na real é só reciclar mesmo			X
Sim, realizar o descarte correto			X
Carregar sacola renovável, evitar embalagem excessiva de alimentos, caneca pessoal.	X		
Sim. Agora temos as opções de usar canudos de papel e metal	X		
Utilizarmos ao máximo objetos não descartáveis. Os copos, por exemplo.	X		
Optar por sacolas de pano	X		
E só cada pessoa separar os lixos em cada lixeira tipo plásticos com plásticos, resto de comida			X
Reciclagem			X
Reciclando, reutilizando e usando refis	X	X	X
Usar produtos feitos com outros materiais	X		
Reutilizando ele, exemplo as sacolas plásticas, trocar elas pela bolsa maior, os potinhos de manteiga pra colocar comidas dentro	X	X	
Conscientizar as pessoas sobre os impactos do plástico, reduzir a produção e/ou encontrar outros materiais biodegradáveis que sirvam como plástico e a reciclagem.	X		X

Fonte: autores.

Para complementar o terceiro momento, uma roda de conversa foi idealizada. Nessa etapa, a proposta era estimular o debate entre os alunos, no qual eles atuariam de forma mais participativa/colaborativa no seu processo de aprendizagem, visto que nesse momento já poderia existir maior interesse pelo tema. Assim, a professora iria atuar como mediadora daquele momento, atendendo às diferentes demandas momentâneas que pudessem aparecer, como organização das falas, disputas entre os participantes e, quando necessário, dar contribuições informativas durante a participação dos alunos. Para agregar a essa etapa, a professora (autora deste relato) fez uma pequena exposição, no próprio ambiente de discussão, com diversos materiais plásticos que foram descartados em ambiente doméstico. Dentre eles, pelo menos um resíduo de cada tipo de plástico (PET, PEBD, PVC, PEAD, PP, PS e outros) para que eles pudessem verificar a existência da simbologia e diferenciar visualmente as características físicas aparentes. Para direcionar essa etapa, uma sequência de *slides* foi elaborada e exibida aos alunos, sabendo-se da disponibilidade dos recursos de multimídia necessários. Essa apresentação continha, basicamente, perguntas provocativas e reflexivas, as quais, de acordo com a proposta, seriam respondidas, dialogadas ou debatidas entre os participantes: Do que o plástico é feito? A Era do Plástico – você concorda? Seria possível eliminar o plástico da nossa vida? O que fazer? Momento reflexão. Os 3 R's. As ilhas de plásticos. Biodegradáveis x Bioplásticos – você sabe a diferença?

Para complementar o terceiro momento, uma roda de conversa foi idealizada. Nessa etapa, a proposta era estimular o debate entre os alunos, no qual eles atuariam de forma mais participativa/colaborativa no seu processo de aprendizagem, visto que nesse momento já poderia existir maior interesse pelo tema.

Para essa etapa, optou-se por não juntar as duas turmas participantes. A roda de conversa, então, foi pensada para que os alunos permanecessem em sua turma de origem, possibilitando que eles ficassem mais confiantes e à vontade diante de um grupo que faz parte da sua rotina diária, possibilitando um momento descontraído e construtivo. Houve a participação de 19 alunos nesta etapa, sendo 11 alunos da turma de 3º ano integral, e 8 alunos do 3º ano regular. Respeitou-se também o tempo de aula de cada turma, ou seja, a roda de conversa teve duração de 50 minutos em cada turma[3].

Contudo, mesmo diante do exposto acima, e frente à expectativa que existia para o momento, os alunos de ambas as turmas se posicionaram muito pouco e a roda de conversa não aconteceu como o esperado, se aproximando de um bate-papo num formato mais expositivo. Durante esse período, por várias vezes a professora (autora deste relato) questionou os alunos, tentando aproximá-los e fazê-los participar. Entretanto, obteve uma participação tímida dos alunos, mesmo durante a apresentação do *slide* "Ilhas de Plásticos", no qual foi exibido um curto vídeo sobre essa realidade. Embora os alunos tenham apresentado resistência em participar, a etapa foi bastante enriquecedora, pois o tema

Plásticos e Microplásticos foi reforçado e a sustentabilidade foi evidenciada durante toda a intervenção.

Vale destacar que, posteriormente às intervenções, ainda no 3º bimestre, os tópicos necessários ao entendimento sobre o conteúdo de polímeros foram discutidos, como algumas características e propriedades do átomo de carbono bem como seus compostos e as cadeias carbônicas. Foram abordados, também, os diferentes tipos de fórmulas usadas para representar os compostos orgânicos e o reconhecimento de algumas funções da química orgânica. Nas aulas referentes ao 4º bimestre, foi introduzido o conceito de Polímeros, relacionando-o com a temática proposta neste trabalho. Logo, a ideia foi, a partir de um exemplo do cotidiano, como o descarte inadequado de garrafas PET, explicar os tópicos referentes à identificação das unidades de repetição (monômeros), a diferença entre os termoplásticos e os termorrígidos e as reações de polimerização, bem como mostrar a diferença entre os polímeros sintéticos e os naturais (biopolímeros ou biomoléculas). Esse conhecimento foi enriquecido com as intervenções planejadas e executadas nesse relato, que contextualizou o conteúdo disciplinar obrigatório.

Conclusão

De acordo com o que foi apresentado neste relato, o tema Plásticos e Microplásticos, além de estar em consonância com os documentos oficiais que regem a Educação Básica, atende também aos ODS propostos pela Agenda 2030 e possui relevância para a sociedade atual e para as futuras gerações. Entendemos que a participação ativa dos alunos nos diferentes momentos pedagógicos relatados neste trabalho pode e deve ser estimulada, e que em outro momento, no qual as tensões advindas do isolamento social e dos meses de ensino remoto já estiverem dissipadas, a intervenção relatada poderá gerar resultados ainda mais robustos. A análise dos resultados desta pesquisa nos permitiu verificar que, mesmo nas condições adversas da pandemia de covid-19, mediante um planejamento adequado e consistente, foi possível discutir e aprofundar o tema, despertando reflexões nos alunos para um possível engajamento posterior, além de contribuir para a contextualização do conteúdo de Polímeros. Portanto, este relato de experiência se enquadra nos projetos pedagógicos que envolvem temas ambientais e sociais relevantes, ou, em outras palavras, que envolvem o princípio da sustentabilidade, mostrando ser possível uma maior mobilização dessa temática no ambiente escolar.

Notas

[1]Ao longo do texto utilizamos os termos polímeros, polímeros sintéticos, materiais poliméricos, plásticos, plásticos sintéticos e materiais plásticos como sinônimos.

[2]Sabemos que existem novas leituras e nomenclaturas sobre os R's, porém, no planejamento adotado para este relato, optamos pela simplicidade e mantivemos a classificação inicial, mais conhecida: Reduzir-Reutilizar-Reciclar.

[3]Vale ressaltar que cada turma teria dois tempos de 50 minutos na disciplina de Química, entretanto, diante da pandemia da covid-19 e da bandeira sanitária do município no qual a escola está inserida, os tempos de aulas presenciais foram reduzidos. Por isso, a unidade escolar organizou os tempos disciplinares e a disciplina de Química passou a dispor, presencialmente, de apenas um tempo de 50 minutos.

Agradecimentos

À direção da escola por todo apoio durante a intervenção escolar e aos alunos voluntários deste projeto. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Aline Soares Fonseca de Azevedo (hugoealine2009@gmail.com), licenciada em Química, professora da SEEDUC-RJ e mestranda no PROFQUI pela UFRRJ. Seropédica, RJ – BR. **Marcelo Hawrylak Herbst** (herbst@ufrrj.br), bacharel em Química e doutor em Ciências, professor do Departamento de Química Fundamental do IQ-UFRRJ e do PROFQUI. Seropédica, RJ – BR.

Referências

AGENDA 2030. Plataforma Agenda 2030. *Acelerando as transformações para a Agenda 2030 no Brasil.* 2018. Disponível em: http://www.agenda2030.org.br/, acesso em set. 2021.

ASSUMPÇÃO, L. *Logística Reversa Aplicada*. UOL, 2020. Disponível em: https://www.uol.com.br/ecoa/colunas/lia-assumpcao/2020/10/04/logistica-reversa-aplicada.htm, acesso em out. 2020.

BNCC [BNCC Ensino Médio]. Edital do PNLD para o Ensino Médio. *Youtube*, 2020. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=2JkU2JEiIkg&t=3947s, acesso em nov. 2020.

BRASIL. *Base Nacional Comum Curricular* - BNCC. Brasília: MEC, 2018. p. 549-562. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf, acesso em dez. 2020.

_____. Ministério da Educação – Secretaria de Educação Básica. *Orientações Curriculares para o Ensino Médio*: Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, volume 2. Brasília: MEC/SEMTEC, 2006. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/book_volume_02_internet.pdf, acesso em jul. 2021.

_____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCN Parâmetros Curriculares Nacionais:* Ensino Médio. Brasília: MEC/SEMTEC, 2000. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf, acesso em dez. 2020.

CANGEMI, J. M.; SANTOS, A. M. e CLARO NETO, S. Biodegradação: uma alternativa para minimizar os impactos decorrentes dos resíduos plásticos. *Química Nova na Escola*, n. 22, p. 17-25, 2005.

CICLO VIVO. *A diferença entre bioplástico, plástico oxidegradável e biodegradável*. 2018. Disponível em: https://

ciclovivo.com.br/planeta/desenvolvimento/tipos-de-plastico/, acesso em jun. 2021.

CURRÍCULO MÍNIMO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2012. Disponível em: https://www.passeidireto.com/arquivo/54037940/curriculo-minimo-de-quimica-rj, acesso em dez. 2020.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. e PERNAMBUCO, M. M. *Ensino de Ciências*: fundamentos e métodos. 4a. ed. São Paulo: Cortez, 2011.

ECYCLE. *Microplástico: principal poluente dos oceanos*. [s/d]. Disponível em: https://www.ecycle.com.br/microplastico/, acesso em ago. 2021.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R. e LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, v. 3, n. 7, p. e1700782, 2017. Disponível em: https://www.science.org/doi/pdf/10.1126/sciadv.1700782, acesso em out. 2021.

JANOUŠKOVÁ, S.; TEPLÝ, P.; FATKA, D.; TEPLÁ, M.; CAJTHAML, T. e HÁK, T. Microplastics – how and what do university students know about the emerging environmental sustainability issue? *Sustainability*, v. 12, n. 21, p. 9220, 2020.

JONES, F. A ameaça dos microplásticos. *Revista Pesquisa Fapesp*, 2019. Disponível em: https://revistapesquisa.fapesp.br/a-ameaca-dos-microplasticos/, acesso em set. 2021.

LIM, X. Microplastics are everywhere – but are they harmful? *Nature,* v. 593, p. 22-25, 2021. Disponível em: https://www.nature.com/articles/d41586-021-01143-3, acesso em out. 2021.

MENDONÇA, V. L. *De olho no futuro*. Projetos Integradores: Ciências da Natureza e suas Tecnologias. São Paulo: Ática, 2020.

MICROPLÁSTICOS. [Locução de]: Cedric Stephan Graebin. *Podcast Moléculas*. Rio de Janeiro, UFRRJ, novembro, 2019. Disponível em: http://www.ladmolqm.com.br/moleculas/?p=144, acesso em set. 2021.

MIODOWNIK, M. *De que são feitas as coisas* – 10 materiais que constroem o nosso mundo. São Paulo: Blücher, 2015.

OAKES, K. O problema pouco conhecido do plástico biodegradável. *BBC News*, 2020. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/vert-fut-52926914, acesso em dez. 2020.

OLIVATTO, G. P.; CARREIRA, R.; TORNISIELO, V. L. e MONTAGNER, C. C. Microplásticos: Contaminantes de Preocupação Global no Antropoceno. *Revista Virtual de Química*, v. 10, n. 6, p. 1968-1989, 2018. Disponível em: http://static.sites.sbq.org.br/rvq.sbq.org.br/pdf/v10n6a16.pdf, acesso em nov. 2021.

PIATTI, T. M. *Plásticos:* características, usos, produção e impactos ambientais. Maceió: EDUFAL, 2005.

TRONOLONE, V. B. (org.). + *Ação – na escola e na comunidade.* Projetos Integradores: Ciências da Natureza e suas Tecnologias. São Paulo: FTD, 2020.

WWF BRASIL. *Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico.* 2019. Disponível em: https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico, acesso em ago. 2021.

IYBSSD 2022. *International Year of Basic Sciences for Sustainable Development*, [s.d.]. Disponível em: https://www.iybssd2022.org/en/home/, acesso em set. 2021.

Para Saber Mais

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) fazem parte de uma ação global, chamada de Agenda 2030, promovida pela Organização das Nações Unidas através da Unesco. Visite: http://www.agenda2030.org.br/sobre/ e https://sdgs.un.org/goals.

Abstract: *It's raining microplastics! And now?*. This paper describes in-person and online interventions, designed for the pandemic moment, with third-year high school students from a state school in the Baixada Fluminense, RJ, with the objective of exploring the generator theme Plastics and Microplastics in the teaching of organic chemistry/polymers. The design was based on the guidelines of the Common National Curriculum Base, the curriculum of the State of Rio de Janeiro, PNLD 2021 textbooks and the Sustainable Development Goals of the UNESCO Agenda 2030. Results show that the subject, so present in our daily lives, was practically unknown by the students, and serve to reinforce is the necessity to discuss and develop this theme in elementary and secondary education. In addition to promote Chemistry teaching by bringing students closer to science and technology, it was also possible to promote critical reasoning and reflections about sustainable consumption and proper disposal of plastic waste.
Keywords: microplastics, chemistry teaching, sustainable development goals

A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160315

O uso do AVA na construção de experiências formativas em uma perspectiva socioambiental crítica

Fábio F. Souza, Caroindes J. C. Gomes e Vânia G. Z. Zeidler

Neste artigo descrevemos o desenvolvimento, o uso e a avaliação de um ambiente virtual de aprendizagem para complementar as aulas presenciais de duas disciplinas, oferecidas em um curso de Licenciatura em Química. Fundamentamos a discussão nos escritos de Walter Benjamin, investigando as potencialidades e limitações da plataforma *Moodle* para a construção de conhecimentos químicos em uma perspectiva socioambiental crítica. Por meio da análise de conteúdo, estudamos as postagens nos fóruns e as questões respondidas pelos discentes para avaliar a ferramenta. Observamos que os recursos utilizados podem propiciar práticas emancipatórias, desde que não sejam concebidos distantes do contexto histórico e social dos estudantes, uma vez que não estimulam a reflexão, o engajamento discente e a construção dialógica quando usados com um fim em si mesmos.

▶ ambiente virtual de aprendizagem, experiências formativas, socioambiental ◀

Recebido em 07/11/2021, aceito em 13/04/2022

Em *Experiência e pobreza*, ensaio de 1933, Walter Benjamin (1892-1940) expressa o seu descontentamento com o sentido atribuído à experiência nos tempos modernos, que reverbera uma nova forma de miséria que se sobrepõe às pessoas e é fruto de um despontar de avanços científicos e retrocessos, do domínio sobre a natureza e da prisão em um mundo inventado pela soberba humana (Calou, 2018).

Considerando a atual conjuntura histórica e social, a miséria continua se efetivando de formas materiais e imateriais em troca de um "progresso" e "civilidade". Ainda (re) existimos a pandemia do coronavírus, enquanto que os sinais socioambientais das próximas crises são eminentes e revelam a necessária transformação das realidades. A pobreza não se objetivou apenas como desamparo e escassez de garantias fundamentais, mas também como sinônimo da presunção dos sujeitos em relação a si próprios e ao ambiente, reafirmando que outras existências e possibilidades são essenciais, especialmente aquelas que não estabeleçam a contradição entre economia e vida.

A pobreza não se objetivou apenas como desamparo e escassez de garantias fundamentais, mas também como sinônimo da presunção dos sujeitos em relação a si próprios e ao ambiente, reafirmando que outras existências e possibilidades são essenciais, especialmente aquelas que não estabeleçam a contradição entre economia e vida.

Em complemento a tais perspectivas, por meio das Ciências Básicas (incluindo a Química) podemos compreender os impactos das nossas ações no planeta, bem como os conhecimentos e os meios para limitá-los ou reduzi-los. Mudanças climáticas, esgotamento de recursos, extinção de ecossistemas, bem como o acesso à água potável, à energia e à alimentação são alguns exemplos que requerem avanços tecnológicos benignos e seguros, inovações e a formação de profissionais (IYBSSD, 2021).

Concentrando nossa atenção às questões formativas, a demanda sobre qual formação desejamos (e como a faremos) foi redimensionada durante a pandemia. A crise sanitária transformou os tempos e espaços das salas de aulas em ambientes virtuais de aprendizagem (AVA) e oportunizou novas incorporações e desafios – além dos já enfrentados.

Ao refletirmos o cenário educacional brasileiro, os condicionantes são inúmeros e perpassam desde a disponibilidade de recursos (tecnologias, materiais escolares, nutrição, entre outros) e a formação de professores e professoras, até mesmo espaços minimamente adequados para os estudos.

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

Sem menosprezar tais obstáculos, nosso objetivo é dialogar sobre as potencialidades e limitações do ambiente virtual, partindo de experiências formativas que ocorreram na profissionalização docente em Química de uma universidade pública federal em 2012, investigando as interações na plataforma *Moodle* e a possibilidade, a partir delas, para construir conhecimentos químicos em uma perspectiva socioambiental crítica.

À vista disso, passado, presente e futuro dialogam no decorrer deste texto, apresentando as atividades realizadas em duas disciplinas a fim de melhor contextualizar as práticas educativas atuais e refletir prognósticos para o porvir. No próximo tópico, abordamos os pressupostos epistemológicos do trabalho, especialmente relacionado à formação docente em Química. Delineamos a pesquisa caracterizando o desenvolvimento do estudo e seus desdobramentos, incluindo a avaliação dos estudantes acerca da utilização do ambiente virtual. Finalmente, tecemos as considerações e mais algumas reflexões que reverberaram durante e após esta pesquisa.

Experiência e a formação docente em Química: para além dos laboratórios e salas de aula presenciais

O conceito de experiência (*Erfahrung*) é central na obra de Walter Benjamin para a compreensão histórica e social que demarcam o aumento da produtividade técnica capitalista, expressando a preocupação do autor com as decorrências da modernidade.

Lima e Baptista (2013) afirmam que, de acordo com Benjamin, a sociedade moderna caracteriza-se pelo declínio do passado coletivo e pobreza em conhecimentos acumulados, onde nenhuma experiência conecta-se efetivamente à realidade devido à inexistência de uma materialidade que a defina. A *Erfahrung* – apreendida como uma tradição que transcende o individual e o tempo presente e pressupõe estar consciente com as inter-relações que perpassam a realidade, transforma-se na experiência moderna: a vivência (*Erlebnis*).

> *"Erfahrung" é o conhecimento obtido através de uma experiência que se acumula, que se prolonga, que se desdobra, como numa viagem (e viajar, em alemão, é fahren); o sujeito integrado numa comunidade dispõe de critérios que lhe permitem ir sedimentando as coisas, com o tempo. "Erlebnis" é a vivência do indivíduo privado, isolado; é a impressão forte, que precisa ser assimilada às pressas, que produz efeitos imediatos* (Konder, 1999, p. 83).

Benjamin (2000) discorre que as experiências são conservadas na memória, ao passo que a consciência possibilita ações frente aos estímulos externos: a vivência[1]. No entanto, as mudanças aceleradas propiciam a predominância da consciência, mantendo-a em estado de alerta para que possa receber tais impulsos. Dessa forma, "torna-se condição de sobrevivência interromper os choques, torná-los inativos, elaborá-los na consciência, sem deles guardar qualquer traço" (Freitas, 2014, p. 75).

Essa sobrevivência mecânica e instrumental às construções e determinações sociais também depreende, segundo Benjamin, em uma formação estética que introduz o espectador e espectadora constantemente em estado de alerta perante os estímulos (Freitas, 2014).

Para Freitas (2014), a análise de Benjamin conjectura a substituição da experiência pela vivência dentro de uma realidade fragmentada, em que as narrativas únicas se convertem em múltiplas narrativas que não se interconectam. Essa (falsa) "experiência não consiste precisamente com acontecimentos fixados com exatidão na lembrança, e sim em dados acumulados, frequentemente de forma inconsciente, que afluem à memória" (Benjamin, 2000, p. 34).

Não ocorre um reavivar autêntico, mas uma galvanização que possibilita ocultar as falsas experiências e sua pobreza como uma tendência coletiva da modernidade. Nesse sentido, o comportamento dos sujeitos consiste na reação aos diversos estímulos de forma autômata e padronizada, materializando o controle e desnaturalização de suas existências (Benjamin, 1986; 2000).

> [...] *eles almejam libertar-se de toda experiência, aspiram a um mundo em que eles possam fazer valer tão pura e claramente a sua pobreza, externa e interna, que disso resulte algo decente. Nem sempre eles são ignorantes ou inexperientes. Muitas vezes podemos afirmar o contrário: "devoram" tudo isso, a "cultura" e o "homem" e estão supersaturados e exaustos* (Benjamin, 1986, p. 197-198).

Essa sobrevivência mecânica e instrumental às construções e determinações sociais também depreende, segundo Benjamin, em uma formação estética que introduz o espectador e espectadora constantemente em estado de alerta perante os estímulos (Freitas, 2014). À época, a crítica de Benjamin às telas centrava-se na atenção exigida nos cinemas para que o filme pudesse ser "absorvido", haja vista a velocidade com que os sons e imagens chegavam aos olhos.

No entanto, a atual sociedade das telas – marcada por sua onipresença em todas as esferas da vida pública e privada[2] como sendo a própria extensão das pessoas – favorece a intensificação desse processo. A rapidez e sobreposição das informações e pseudoconhecimentos possibilitam que suas divulgações sejam superficiais e descontextualizadas, não havendo tempo suficiente para a reflexão de seus conteúdos. As ligações entre passado, presente e futuro são abandonadas em função do aqui e do agora, que se perpetua até o surgimento (instantâneo) de um novo elemento.

As notícias veiculadas pelos meios de comunicação, o apelo ao consumo desenfreado, as relações estabelecidas e tantos outros processos sociais se efetivam no ritmo das máquinas. A conquista da modernidade objetiva o tempo e o

carece de história, despojando os sujeitos de sua experiência e os impedindo de agir livremente (Benjamin, 2000). Essa carência os coisifica e dificulta a transformação das realidades, uma vez que propicia ações, comportamentos, discursos e certezas que apenas contribuem para a manutenção do mesmo *modus operandi*.

Para a construção da memória é imprescindível a experiência, a possibilidade de compartilhar momentos, de poder narrar e ouvir narrativas de histórias nas quais somos participantes ativos. Impossível pensarmos em uma formação coerente com as demandas atuais baseada na vivência que não se efetiva como experiência, no aprendizado não partilhado, ou mesmo em práticas fragmentadas e desconexas.

Nesse sentido, defendemos que a escola (em todos os seus níveis e modalidades de ensino) propicie experiências que permitam o diálogo entre os pares e a criação de memórias coletivas para além de técnicas e procedimentos, significando a vida cotidiana de forma democrática, plural e sustentável. (Re) pensarmos a formação docente em Química em perspectivas epistêmicas e metodológicas que integrem tais pressupostos – ao contrário de práticas reprodutivistas "ambientalmente corretas" e que não ocorrem em locais e tempos definidos – oportuniza processos educativos emancipatórios "que solicitam a participação efetiva do indivíduo, que pensa e sente, para a construção do bem coletivo" (Zuin, 2011, p. 78).

De acordo com Zuin *et al*. (2020), a junção de conhecimentos químicos, educacionais e as questões de sustentabilidade possibilita apreendermos alternativas que garantam a democracia e o bem-viver dos ambientes físicos e humanos, principalmente considerando a importância dos países emergentes no aprimoramento e legitimidade de políticas sobre resíduos, produtos e processos *verdes* e *sustentáveis*. Complementamos a necessidade de incorporarmos valores, percepções e práticas (individuais e coletivas) solidárias e responsáveis e que considerem o pensamento sistêmico.

Para a construção da memória é imprescindível a experiência, a possibilidade de compartilhar momentos, de poder narrar e ouvir narrativas de histórias nas quais somos participantes ativos.

Como parte dessas iniciativas, podemos destacar a Educação em Química Verde e Sustentável, que propicia questionarmos as controvérsias e os conhecimentos químicos à luz de uma práxis pedagógica que não preconiza somente o pós-processo ou alternativas para mitigar o que já está posto, mas provoca o envolvimento e a percepção dos processos em sua totalidade (Zuin, 2011; Borreda e Peña, 2016; Zuin *et al*., 2020; Zuin e Gomes, 2020).

Somando-se a isso, a emergência das tecnologias de informação e comunicação (TIC) redimensionou a sala de aula, que agora ocupa outros espaços e transcende os limites físicos e temporais, sendo impossível pensarmos em linhas que possam limitá-la geográfica e temporalmente. Esse novo lugar também requer estruturações no que se refere à maneira como ocorrem as práticas educativas e na compreensão do ensinar e aprender, mudando paradigmas e rompendo percepções socialmente sedimentadas. Trata-se de desmistificar a cultura inserida por processos tradicionais e proporcionar estratégias mais dinâmicas, colaborativas e interativas.

Rocha e Azzari (2018) discorrem sobre a necessidade de pedagogias emergentes que correspondam aos desafios do atual contexto e se fundamentem em uma nova mentalidade ou *ethos*, possibilitando formas alternativas de conceber as práticas pedagógicas complexas e plurais da atualidade. Isso significa considerar as mudanças sociais que surgiram com as TIC, sobretudo no modo como o conhecimento e a informação podem ser produzidos e compartilhados, nas interações estabelecidas e no rompimento das fronteiras espaçotemporais.

Delineamento da pesquisa

Do ponto de vista metodológico, adotamos a abordagem qualitativa por compreendermos as particularidades locais e temporais como parte das investigações e análises, incluindo as práticas, as percepções e as subjetividades dos envolvidos e envolvidas (Lüdke e André, 1986). A coleta dos dados baseou-se no entendimento sobre estudos de caso (Yin, 2001), propiciando olhar para os fenômenos dentro de seu próprio contexto, a saber: as disciplinas *Experimentação para o Ensino de Química I* e *II*, oferecidas no curso de Licenciatura em Química de uma universidade pública federal no período noturno, respectivamente no primeiro e segundo semestres de 2012[3].

No primeiro semestre participaram 28 estudantes, divididos em dois grupos: segunda-feira, contendo 16 discentes; e quinta-feira, com 12. Devido à reprovação em disciplinas obrigatórias, alguns estudantes não puderam se matricular no segundo semestre, sendo ofertada apenas uma turma com 12 pessoas.

O ambiente virtual de aprendizagem foi utilizado para subsidiar as aulas presenciais, possuindo materiais e informações pertinentes, ferramentas para a elaboração de textos (individuais e coletivos) e fóruns, bem como propiciando a interação e o diálogo entre os participantes (professora, pesquisador[4] e estudantes).

Inicialmente, houve explicações sobre o funcionamento do *Moodle*, seus recursos e atividades disponíveis, realizando o uso do fórum durante uma aula presencial a fim de ambientar os estudantes à ferramenta. Além disso, constatamos que quase a totalidade dos licenciandos e licenciandas ainda não havia utilizado a plataforma de maneira efetiva, empregando-a apenas como repositório de materiais. No Quadro 1 apresentamos a dinâmica das atividades desenvolvidas nos fóruns de forma assíncrona.

Como observado no Quadro 1, as atividades foram feitas ao longo da semana (com diferentes durações[5]) e antecediam a leitura e a discussão de textos trabalhados nas

Quadro 1: Descrição dos fóruns realizados nas disciplinas.

Fórum	Duração	Material de apoio	Descrição das atividades
1	5 dias	Links de vídeos Artigo *Experimentar sem medo de errar* (Silva *et al*., 2010)	Postagem de vídeos sobre experimentação e justificativa pelo motivo da escolha
2	1 dia	Artigo *Da génese ao ensino de Química Verde* (Machado, 2011)	Discussão sobre os aspectos de convergência ou divergência em relação aos textos trabalhados até o momento Influência dos textos nas propostas experimentais que seriam elaboradas posteriormente
3	7 dias	-----	*1ª fase*: Proposição de um experimento
			2ª fase: Visitação da "*feira de ciências virtual*" Comentário acerca dos experimentos postados
4	5 dias	Artigo *Estilos de pensamento de professores italianos sobre a Química Verde na Educação Química escolar* (Marques, 2012)	Discussão sobre o texto, ressaltando as experiências abordadas.

Fonte: Elaborado pelo autor e autoras (2021).

aulas presenciais, que versavam sobre experimentação na Educação em Ciências (especialmente na Química), Química Verde (QV) e sustentabilidade. Com exceção do terceiro fórum (*feira virtual de ciências*), os demais possuíam materiais para fundamentar o diálogo e as elaborações. Ademais, os três primeiros ocorreram em *Experimentação para o Ensino de Química I* e, o quarto, em *Experimentação para o Ensino de Química II*.

Para além das observações dos ambientes formativos (presencial e virtual) – que possibilitaram apreender a dinâmica das interações e o próprio contexto (Yin, 2001) –, utilizamos os fóruns como instrumento para a coleta de dados, assim como questões que propiciaram aos discentes avaliar o uso do ambiente virtual durante as aulas. Os estudantes responderam um questionário (de forma eletrônica) e, a partir desse *feedback* inicial, um novo fórum foi realizado para complementar nossas percepções sobre as experiências proporcionadas pelo *Moodle*. Ao final de *Experimentação para o Ensino de Química II*, eles e elas foram novamente indagados sobre o assunto. O estudo das respostas (fóruns e questionários) ocorreu por meio da análise de conteúdo (Lüdke e André, 1986), sendo submetidas à leitura detalhada para a categorização e interpretação.

As experiências formativas oportunizadas pelos fóruns

Conforme mencionado anteriormente, os textos produzidos pelos estudantes nos quatro fóruns foram estudados e possibilitaram a emergência de duas categorias: *experiência* e *vivência*. Detalhamos nossa compreensão sobre elas e suas respectivas subcategorias no Quadro 2.

Dessa forma, observamos 318 postagens nos quatro fóruns, com exceção de publicações repetidas, dúvidas ou textos deletados e refeitos pela própria pessoa (que eram

Quadro 2: Categorias e subcategorias que emergiram das respostas nos quatro fóruns.

Categoria	Subcategoria	Descrição
Vivência	Indiferença e aparência de participação	Postagens ao final do fórum ou repetindo as anteriores e indiferença à interação com os colegas
	Participação restrita ao solicitado	Respostas conforme o enunciado, mas sem contextualizá-las com as demais
Experiência	Construção coletiva de conhecimentos	Conceitos ou saberes que se consolidam ao longo do fórum pela participação efetiva e busca de interação
	Percepção crítica	Mudança de posição e resistência à aceitação de conteúdos mobilizadores e/ou provocativos dos textos delimitados coletivamente

Fonte: Elaborado pelo autor e autoras (2021).

contabilizados pela plataforma).

O conjunto classificado na subcategoria *indiferença e aparência de participação* obteve 37 *posts*, onde os estudantes deixavam para fazê-los na última hora – o que inviabilizava as respostas dos colegas –, ou apenas modificavam a frase para reproduzir o mesmo raciocínio. Dessa forma, ao invés de construir experiências significativas com os demais, estavam alheios à participação; conforme verificado nos trechos a seguir:

> *Parabéns, meninas! Muito bom mesmo este experimento! Achei muito interessante e cheguei a duvidar se funcionaria mesmo como uma cola. É um experimento fácil e super-acessível. Bem legal mesmo! (Licenciando J)*

> *Olá Meninas,*
> *Parabéns pelo experimento sugerido, achei muito legal mesmo!! Além dos conceitos químicos envolvidos o experimento tem uma aplicação. Muito legal mesmo. (Licenciando L)*

Os textos demonstram que os comentários realizados pelos dois licenciandos somente conferem a aparência do envolvimento no fórum, não possuindo conteúdo pertinente à discussão; além do fato de serem praticamente idênticos e demonstrarem que, possivelmente, o Licenciando L não tenha lido a primeira postagem ou somente a reproduziu acreditando ser uma maneira interessante de participar.

[...] um dos objetivos fundamentais da ferramenta – propiciar experiências formativas dialógicas e colaborativas – transforma-se em estruturas mecânicas, desvinculadas de qualquer aprendizagem e que pouco (ou nada) podem contribuir. Pensarmos a formação docente (ou qualquer outra) nessa perspectiva significa reproduzir o que está posto, sem reflexão e tampouco condições para modificá-lo (Zuin, 2011).

Isto posto, um dos objetivos fundamentais da ferramenta – propiciar experiências formativas dialógicas e colaborativas – transforma-se em estruturas mecânicas, desvinculadas de qualquer aprendizagem e que pouco (ou nada) podem contribuir. Pensarmos a formação docente (ou qualquer outra) nessa perspectiva significa reproduzir o que está posto, sem reflexão e tampouco condições para modificá-lo (Zuin, 2011).

Diferentemente dessa subcategoria, na *participação restrita ao solicitado* há efetivo envolvimento do estudante, que muitas vezes demonstra esforço em postar algo condizente ao proposto. No entanto, de acordo com os referenciais adotados nesta pesquisa, não poderíamos afirmar que esse trabalho constitua como *experiência*, uma vez que se encontra isolado do trabalho coletivo e/ou do próprio contexto.

Apesar disso, surgiram respostas com potencial de permitir experiências mais aprofundadas em muitas publicações classificadas nessa subcategoria, como pode ser observado:

> *Boa noite a todos;*
> *Respondendo a primeira parte das perguntas elaboradas, o que tenho a dizer é: Bom, pensando em um modelo que seria ideal para futuros professores incorporarem novos saberes derivados da QV, seria uma formação mas [sic] sólida nesse quesito, mostrando práticas que consigam incorporar tal conceito, de uma forma consciente e que os alunos entendam seu objetivo. Debates, conceitos de sustentabilidade são quesitos importantes na formação de professores com bases na QV.*
> *O conceito de sustentabilidade não é adequadamente difundido nas escolas, é apenas dito, mas não abordado profundamente, dessa forma, a difusão de sustentabilidade nas escolas, é feita de forma meramente panfletária. Como abordado mais acima, os professores de química atuais não são capacitados para tal demanda, dando um exemplo de como isso poderia ser feito, deve-se procurar maneiras de elucidar e mostrar aos alunos de forma crítica e construtiva o que é realmente sustentabilidade, além disso, elaborar debates, colocar ideias e amadurecer esse conceito nos alunos. Como futuro professor de química, ainda não me sinto seguro em abordar tal tema, é preciso um maior entendimento e debate para que essa ideia amadureça e mais do que isso, que eu possa entender e procurar formas simples de conseguir explicar e fazer alunos entenderem tal tema. Os processos pelo quais estou passando, ajudam a entender cada vez mais esse conceito de sustentabilidade e química verde, mas como foi dito, ainda é preciso desenvolver um amadurecimento para conseguir explicar de maneira clara, tal conceito aos alunos. Grande abraço a todos. (Licenciando P)*

O texto aborda a questão sugerida, possibilitando que o licenciando discuta a adequação de seu processo formativo para trabalhar questões sobre a Química Verde e a sustentabilidade, bem como tais conteúdos estão sendo discutidos atualmente nas escolas e na prática docente. No entanto, o estudante não ultrapassa o requerido pelo enunciado e também não há diálogo com os demais participantes do fórum. As postagens identificadas nessa subcategoria totalizaram 112.

Delineando as respostas compreendidas como *experiência*, verificamos 125 *posts* relacionados à classificação *construção coletiva de saberes*. Dentre essas publicações, reproduzimos adiante duas delas (feitas em sequência).

> *C., para trabalharmos esse conceito com os alunos, não precisamos focar somente na experimentação, podemos realizar trabalhos interdisciplinares, pen-*

sando em reciclagem, reutilização e redução (os 3 Rs), ideias simples, como a separação do lixo, o descarte correto deste e qual a sua destinação final. Trabalhar com vídeos também ajuda muito, tem um vídeo antigo, mas muito interessante que trabalha bem os contextos do descarte do lixo, chama-se "Ilha das Flores", onde é possível após sua exibição, fazer uma discussão muito produtiva com os alunos sobre a QV. Já que é uma das nossas responsabilidades trabalhar a QV com os alunos, devemos sempre procurar maneiras diferentes de abordagem do assunto. (Licencianda B)

Eu também acredito que os professores exercem grande influência nessa questão [sic] sobre os alunos, principalmente porque é papel deles orientar sobre o descarte correto, quais produtos podem ser jogados na pia, e quais tratados. Eu me lembro que assisti esse vídeo "ilha das flores" no colegial, mas o título não tem nada a ver com o que realmente se passa, sendo a miséria tópico central. Apesar das cenas serem marcantes, gostei do conteúdo apresentado. (Licencianda L)

As licenciandas mencionam o documentário *Ilha das Flores* e discutem a incorporação do descarte, da reciclagem e da reutilização adequada dos reagentes na experimentação, assim como o importante papel do professor ou professora como agente transformador. Observamos que a elaboração da síntese conceitual vai surgindo ao longo do diálogo, com a sugestão do vídeo, a rememoração do Ensino Médio, a percepção de que o descarte faz parte da atividade e que o docente pode aproveitar esse momento para discutir atitudes mais sustentáveis.

Interessante destacarmos que a percepção sobre a QV e a sustentabilidade em ambos os trechos não são – em nossa interpretação – holísticas, uma vez que os comentários perpassam aspectos "gerais" como o lixo e a reciclagem. A Licencianda L cita a miséria como o tema central do documentário, mas não a relaciona com as questões socioambientais. Embora não podemos afirmar que essa percepção não seja apreendida pelas estudantes, as análises e interpretações que fizemos sugerem que isso não ocorre; caso contrário, também poderia ser pontuada no diálogo. Impossível concebermos o ambiente separado das relações políticas, econômicas, sociais, éticas e valorativas que o compõem, incluindo o ser e estar (dignamente) humanos (Zuin, 2011; Borreda e Peña, 2016; Zuin *et al.*, 2020; Zuin e Gomes, 2020).

Interessante destacarmos que a percepção sobre a QV e a sustentabilidade em ambos os trechos não são – em nossa interpretação – holísticas, uma vez que os comentários perpassam aspectos "gerais" como o lixo e a reciclagem.

No decorrer dos fóruns, também verificamos a construção dos conhecimentos por meio da interação entre os discentes:

Vocês me impressionaram com esse experimento, muito bom mesmo, como disse minha parceira J., nunca imaginei provando aos meus amigos que existe ferro no cereal, foi experimento que mais gostei, pela inovação e originalidade. (Licenciando P)

Muito bom o experimento, foi justamente o que eu estava procurando, pois estou trabalhando Forças Intermoleculares com uma turma, e com certeza vou utilizá-lo com os alunos! (Licenciando B)

Os licenciandos enaltecem um experimento proposto pelo colega, mas além do elogio, a troca de experiências propiciou o aprendizado voltado à futura carreira docente, assim como a aplicação imediata para o segundo licenciando com uma turma na qual leciona. Importante enfatizar que, mais do que a troca de informações de um único experimento, a interação possibilitou abrir caminhos para a reflexão acerca do papel do saber construído coletivamente – fundamental à docência. O Licenciando P salienta a importância do debate e da exposição de diversos pontos de vista:

[...] *Essa foi minha análise, galera; se discordar de algo, coloquem seus pontos de vista, debatam, assim poderemos crescer nossa interpretação não só nesse texto, mas também nos outros. (Licenciando P)*

O estudante demonstra compreender o importante papel do diálogo para a construção e a síntese de ideias mais elaboradas. O potencial para a aprendizagem cooperativa é verificado, como destaca uma licencianda ao considerar os argumentos dos colegas para embasar suas percepções e os relacionar com algumas experiências do Ensino Médio:

Primeiramente, C., li seu comentário, reli algumas partes e fez com que tudo o que li tivesse um jeito diferente e mais separado para entender melhor, na verdade não tem muito o que descordar [sic] de você, afinal, é praticamente um resumo do artigo que ficou muito bom por sinal, mas em relação ao comentário da D., concordo e achei muito interessante, porque admiro muito essa prática por já ter tido um professor que por acaso era de química que ressaltava muito a reciclagem e a redução de resíduos, sempre mostrando o que poderia ser aproveitado e reaproveitado, ganhando sempre o interesse da turma, porque é um assunto que cada vez mais questiona as pessoas, a própria natureza está pedindo para que isso seja feito, e é na sala de aula um lugar onde podemos levar mais conhecimentos aqueles que estão em busca e que muitas vezes só não fem [sic] esse papel tão importante por falta de conhecimento. (Licencianda N)

Haguenauer *et al.* (2009) discorrem que nem sempre o ambiente virtual de aprendizagem pode ser considerado como colaborativo. Alguns, somente disponibilizam materiais ou servem de suporte para atividades automatizadas, como a escolha de opções e correções. No entanto, é possível a construção de AVA voltados à aprendizagem junto aos pares, com recursos que permitam a interação entre os participantes. Utilizamos a plataforma *Moodle* para permitir essa construção dialógica – observada em diversas postagens –, especialmente naquelas em que os discentes tiveram a oportunidade de rever suas posições em relação aos textos e experimentos propostos. Sobre isso, classificamos 44 publicações na subcategoria *percepção crítica*, conforme o exemplo seguinte:

> *Realmente o aluno P. me fez parar para repensar o experimento; analisando melhor o experimento pude perceber que ele tem uma baixa utilidade pra [sic] explicar fenômenos, tem o fato da mudança de cor que serve pra explicarmos o por que [sic] aparece o precipitado (reações com precipitado), explicarmos por que volta a cor transparente (há a formação de um complexo solúvel em* água *quando há o excesso de amônia), há a presença do reagente de Tollens, mas não é algo que é matéria de ensino médio (apesar de ser um tema legal para se pesquisar) e também pode ser utilizado para mostrarmos que existem reações que só ocorrem quando o sistema é aquecido, mas o P. realmente está certo, não vejo uma utilidade didática muito grande. (Licenciando R)*

Por meio de um colega, o Licenciando R percebe que o experimento não era adequado e repensa sua proposição. O fórum foi incorporado pelos estudantes não apenas como um local para expor suas opiniões ou mesmo tirar dúvidas, mas como um ambiente que permite a interação com sujeitos que possuem os mesmos interesses e anseios, o que favorece rever percepções e atitudes.

Ademais, verificamos posicionamentos críticos que denotam a compreensão sistêmica das diferentes instâncias que atuam e são responsáveis pelas construções e determinações históricas e sociais, questionando, inclusive, a neutralidade e a certeza absoluta nos conhecimentos científicos:

> *Segue abaixo minha opinião sobre o texto lido. Devo ressaltar que minha angústia principal foi sobre o populismo – que entendi assim – sobre a química verde e uma responsabilidade ambiental ilusória que parece dominar o mundo. Tirando essa contradição que é evidenciada em nosso dia a dia, o texto tem grande valor principalmente em apresentar de forma tão sucinta os princípios da química verde [...]. Ou seja, vemos que o intuito político-econômico está longe de ser para melhoria e preservação do meio ambiente e que muitas vezes as ações de "química verde" são consequências de maior lucro e rendimento do que a própria preocupação com o meio ambiente e o futuro do planeta. (Licenciando C, grifos nossos)*

A adoção da Química Verde pelo setor produtivo também é refletida por alguns discentes, assim como o papel e a autonomia do pesquisador ou pesquisadora:

> *O que eu acho complicado B., é que nosso papel como químicos acadêmicos fica muito dependente da boa vontade da química industrial, pois é ela que determina a velocidade da implantação da QV, isso de acordo com seus interesses. Todos os avanços no campo da QV derivaram da necessidade da indústria se reorganizar ou reafirmar tendo exemplo o acidente de Bhopal ou as câmaras de chumbo. Trazendo a conversa para um nível mais informal, eu diria que a química industrial é quem diz como a banda toca. (Licenciando E, grifos nossos)*

> *Concordo com isso, tivemos mesmo que esperar o avanço da Química Industrial, e vamos então, trabalhando com o que temos; mas será que não podemos pesquisar e ir atrás das nossas próprias soluções? (claro que ainda limitados pelo avanço da Química Industrial) Será que não podemos tentar ir substituindo reagentes, como é a intenção das nossas propostas experimentais? Claro que vamos ter que ir nos adaptando, mas quem sabe através dessas atitudes não incentivamos um avanço na Química Industrial? (Licenciando B, grifos nossos).*

De acordo com Zuin (2011), a abordagem de comportamentos considerados *verdes* – por meio de técnicas ambientalmente corretas – possui pouca efetividade quando comparada a processos formativos críticos e emancipatórios, que favorecem a compreensão da realidade e as relações valorativas e de poder.

De acordo com Zuin (2011), a abordagem de comportamentos considerados *verdes* – por meio de técnicas ambientalmente corretas – possui pouca efetividade quando comparada a processos formativos críticos e emancipatórios, que favorecem a compreensão da realidade e as relações valorativas e de poder. Ao mencionar o papel da indústria, os discentes demonstram compreender tais relações e podem, a partir disso, buscar soluções possíveis – como é pontuado ao final do discurso da Licenciando B. A resistência se materializa onde as estruturas e determinações são desveladas e todos e todas têm (igualmente) voz ativa.

A avaliação do ambiente virtual de aprendizagem

A fim de verificarmos a percepção dos estudantes sobre o uso do ambiente virtual, utilizamos um questionário

contendo sete questões (Quadro 3) acerca das possibilidades e desafios ocasionados pela ferramenta.

Quadro 3: Questões sobre o uso do ambiente virtual.

1. Qual dos fóruns você considera mais importante para a sua aprendizagem e a de seus colegas? Qual o menos relevante? Explique.
2. No caso de uma futura prática docente e partindo do pressuposto da possibilidade de utilização do *Moodle*, você o utilizaria ou preferiria não o utilizar? Por quê?
3. Você considera importante a discussão em grupo ou acredita que por meio de leituras individuais chegaria aos mesmos resultados? Por quê?
4. Em que medida o uso de ambientes virtuais contribuiu para experienciar os conteúdos abordados na disciplina?
5. Que aspectos devemos dar continuidade em futuros cursos no *Moodle*? Quais atividades ou elementos devemos modificar?
6. O curso criado no *Moodle* contribuiu para a sua aprendizagem acerca de questões relacionadas à Química Verde e à sustentabilidade? Por quê?
7. Você gostaria que outras disciplinas utilizassem o *Moodle*? De que maneira?

Fonte: Elaborado pelo autor e autoras (2021).

Em relação à primeira pergunta, seis estudantes consideraram a *feira de ciências virtual* como sendo o fórum mais significativo, destacando a grande interatividade proporcionada pela atividade. Uma discente também citou a discussão do artigo *Da génese ao ensino da química verde* (Machado, 2011), devido à sua abrangência e correlação com textos anteriores. O menos relevante, por sua vez, foi o fórum *Estilos de pensamento de professores italianos sobre a Química Verde na educação química escolar* (Marques, 2012), visto a baixa interatividade da turma.

Em nossa interpretação, os futuros professores e professoras demonstraram valorizar a construção coletiva dos conhecimentos, uma vez que a interação com os colegas foi fator predominante na classificação quanto à relevância dos fóruns.

O possível uso da plataforma *Moodle* em suas aulas (questão 2) possibilitou respostas afirmativas praticamente unânimes[6], ressaltando a liberdade de expressão e a estrutura não hierarquizada proporcionada pelo ambiente virtual.

Quando questionados sobre a pertinência das discussões em grupo (na terceira questão), os estudantes enfatizaram o aprendizado construído coletivamente, sobretudo para a correção de entendimentos errados, a complementaridade por meio de diversas visões – muitas vezes divergentes – e o pensamento crítico. O ponto negativo, segundo um licenciando, é a perda de objetivo ocorrida em alguns momentos. Nenhum estudante afirmou que alcançaria os mesmos resultados individualmente, demonstrando novamente a valorização do diálogo.

Sobre a quarta questão, os discentes destacaram a oportunidade de conhecer o trabalho desenvolvido pelos demais colegas, aprofundar discussões, desenvolver a argumentação, abordar outras ferramentas pedagógicas no ensino de Química, bem como proporcionar a experimentação científica, facilitar o aprendizado, motivar, realizar as atividades e estudos com mais calma e abordar novas fontes de pesquisa[7].

Com relação à quinta questão, eles e elas dissertaram que seria interessante a continuidade de atividades virtuais que permitam a discussão dos temas. Alguns mencionaram mais uma vez o fórum *feira de ciências virtual* por propiciar o compartilhamento de fotos, vídeos, textos e o debate amplo. Uma licencianda destaca a oportunidade de manifestação dos colegas tímidos – que se sentem mais confortáveis para dialogar nos fóruns.

Além disso, houve sugestões sobre o prazo para a realização dos comentários, a dinâmica de interação e a atribuição de notas. O aumento do tempo relacionou-se à possibilidade de que as postagens fossem feitas ao longo das leituras, enquanto que os argumentos defendendo a diminuição do prazo versavam sobre a maior objetividade e foco das discussões. Já em relação à forma como os fóruns foram conduzidos, a alternativa pontuada era que os estudantes postassem nos primeiros dias o exigido no enunciado e, posteriormente, seria estipulado um período para os comentários e a inserção de mais textos sobre o assunto. É importante mencionar que em todas as respostas o diálogo com os colegas foi positivamente pontuado, além da percepção sobre os aspectos pedagógicos da ferramenta.

Na sexta questão, todos os estudantes afirmaram que as aulas contribuíram significativamente, sendo que um dos licenciandos ressaltou que, dentre as disciplinas da Licenciatura, esta possibilitou a maior abordagem sobre assuntos relacionados à Química Verde. Somente dois estudantes – embora um deles reconheça a validade dos textos e discussões – não conseguiram associar o aprendizado com a utilização do *Moodle*.

Sobre o uso do AVA em outras disciplinas (questão seis), os discentes afirmaram positivamente e sugeriram a utilização de fóruns, a criatividade na concepção das atividades e a troca de materiais e ideias. Como mencionado, as respostas obtidas nessas sete questões subsidiaram a criação de um novo fórum (contendo três perguntas – Quadro 4); desta vez, destinado à complementar as percepções dos estudantes acerca do AVA.

Quadro 4: Fórum sobre o uso do ambiente virtual.

1. Você gostaria que tivéssemos atribuído notas (por exemplo, de 0 a 10) às atividades virtuais? Por quê?
2. Quando se sentiu motivada (o) a participar do fórum e quando se sentiu desmotivada (o)? Por quê?
3. Você se surpreendeu com as postagens de algum colega?

Fonte: Elaborado pelo autor e autoras (2021).

Sobre a primeira questão, somente um licenciando foi favorável à ideia. Os demais discorreram que prejudicaria a liberdade das respostas, concordando com a fixação de

regras, mas sem uma avaliação formal. De acordo com os relatos, as disciplinas na Licenciatura seguem, majoritariamente, uma perspectiva pedagógica em que os discentes são avaliados constantemente por meio de provas escritas.

Na segunda pergunta, a compreensão do texto e a participação ativa nas discussões ocasionaram ânimo às atividades, assim como durante as semanas em que não estavam sobrecarregados e sobrecarregadas com tarefas e avaliações das demais disciplinas. Em contrapartida, sentiam-se desmotivados quando as condições acima não estavam presentes: textos de difícil compreensão[8], pouco envolvimento dos colegas e muitas demandas.

No que se refere à terceira questão, todas as respostas enfatizavam as publicações dos colegas como formas de aprendizado, utilizando a palavra "surpresa" com diferentes significados, que valorizavam o conteúdo e o seu papel para a construção colaborativa e dialógica.

Ao final de *Experimentação para o Ensino de Química II*, os estudantes realizaram uma autoavaliação das disciplinas, sendo que uma das perguntas abordava especificamente o uso do AVA, sobretudo como contribuição (ou não) para a formação docente em Química e suas potencialidades e limitações.

Todos e todas afirmaram que a discussão no ambiente virtual é importante para a profissionalização docente, pois propicia o debate de ideias embasadas em pesquisas prévias, de forma coletiva e sem a limitação do tempo. Também citaram a possibilidade de apresentar experimentos de forma segura, a melhoria na escrita, a liberdade de expressão, a aprendizagem de novos recursos pedagógicos e a possibilidade de estender o debate para além dos limites da sala de aula.

No que se refere às limitações, relataram que a falta de discussão diminui as potencialidades geradas pela ferramenta, além de textos ou temas que podem desestimular as discussões. Outra limitação seria a utilização somente do *Moodle* sem os encontros presenciais. Uma licencianda responde que o uso de tais ferramentas poderia gerar entraves em relação aos contatos físicos, uma vez que nos comunicamos também por meio de gestos e expressões que vão além das palavras.

A percepção de que o ambiente virtual retira a autoridade docente também foi destacada em algumas respostas, justificando a horizontalidade oportunizada pelas atividades como algo negativo. É importante ter em vista que os estudantes estão acostumados com aulas caracterizadas, por eles próprios, como tradicionais, nas quais o docente e o conteúdo (inflexível) são o foco dos processos de ensino e aprendizagem. Entretanto, o diálogo igualitário entre os diferentes sujeitos que coabitam os espaços educativos (e sociais em geral) propiciam a livre manifestação, o respeito à opinião contrária e, sobretudo, a cidadania crítica como uma das premissas da educação.

A percepção de que o ambiente virtual retira a autoridade docente também foi destacada em algumas respostas, justificando a horizontalidade oportunizada pelas atividades como algo negativo. É importante ter em vista que os estudantes estão acostumados com aulas caracterizadas, por eles próprios, como tradicionais, nas quais o docente e o conteúdo (inflexível) são o foco dos processos de ensino e aprendizagem.

Considerações e (mais algumas) reflexões

Com base nos escritos de Benjamin (1986; 2000), dentre as 318 postagens realizadas ao longo dos fóruns, classificamos 37 como *indiferença e aparência de participação*, 112 como *participação restrita ao solicitado*, 125 foram categorizadas em *construção coletiva de conhecimentos* e 44 como *percepção crítica*. Nesse sentido, observamos 149 publicações caracterizadas por *vivência* e 169 por *experiência*. De acordo com a categorização, a atividade que obteve maior número de postagens potencializadoras de experiências foi o fórum *feira de ciências virtual* e, a menor, o fórum referente ao artigo *Estilos de pensamento de professores italianos sobre a Química Verde na educação química escolar* (Marques, 2012). Entre os motivos que colaboraram para a participação ou não nas atividades estão a criatividade da tarefa, o efetivo entendimento do texto utilizado e, principalmente, a sobrecarga em algumas semanas devido às demais disciplinas cursadas.

Conforme salientamos, o ambiente *Moodle* somente era utilizado como repositório de materiais, sendo a primeira vez em que os licenciandos e licenciandas tiveram contato com as possibilidades de criação de práticas pedagógicas no AVA. De acordo com as respostas nos questionários, essa experiência formativa foi positivamente avaliada, uma vez que os discentes gostariam que outras disciplinas utilizassem ambientes virtuais, bem como afirmaram que usariam tal ferramenta em suas atuações futuras, principalmente em momentos em que as plataformas virtuais são fundamentais para o desenvolvimento de aulas de Química, incluindo as laboratoriais.

Observamos que os AVA podem subsidiar discussões acerca das problemáticas socioambientais, da Química Verde, da sustentabilidade e outras questões relevantes para a profissionalização docente. No entanto, o uso das TIC não garante a construção de experiências formativas, de forma que as ferramentas não podem ser concebidas distantes do contexto histórico e social. O ambiente virtual, por si próprio, não estimula o debate, sendo necessário o engajamento discente, a atenção do professor ou professora às reais demandas e o estímulo à construção dialógica e colaborativa.

O ponto inicial para um modelo pedagógico coerente é pensar o estudante como o elemento central, ativo e construtor de seu próprio conhecimento juntamente com seus pares. Processos educativos que promovam a colaboração, a interação e o multiletramento são características importantes nesses espaços educativos e, sobretudo, em nossa conjuntura.

Outro pressuposto fundamental ao novo paradigma é a ressignificação da docência, pois ainda caminhamos para estabelecer conexões plausíveis entre os conteúdos escolares e as TIC, estando distantes da percepção de que o aprender e o ensinar são reestruturados por esses recursos.

Compreender os desafios e as possibilidades que possam surgir dessa convergência significa, também, interconectar as múltiplas narrativas da realidade; desvelá-las e, por conseguinte, pensar (re) existências. Trata-se de preservarmos nosso patrimônio (histórico, social e ambiental) e não "empenhá-lo por um centésimo de seu valor, para receber em troca a moeda miúda do 'atual" (Benjamin, 2000).

Em 2017, a matriz curricular da Licenciatura em Química, à qual nos referimos neste trabalho, foi reformulada, incorporando-se à disciplina *Tecnologias da Informação e Comunicação aplicadas* à *Educação Química*. De forma geral, temos observado que as práticas permitem experienciar as ferramentas digitais de maneira crítica e contextualizada com as controvérsias. Além disso, estar em um curso de profissionalização docente que possibilite experiências formativas com a coerência teórica e metodológica condizente com as demandas educacionais contemporâneas assegura a valorização docente, expectativas e percepções mais atentas ao ser professor e professora. Acreditamos na possibilidade dessas construções emancipatórias a partir da reflexão, da criticidade e do protagonismo ético, democrático e sustentável nas atividades pedagógicas, considerando o passado como matéria lida a contrapelo para a construção do presente e futuro, esperamos, mais socioambientalmente saudável e sustentável.

Notas

[1]Benjamin se fundamenta na relação entre memória e consciência proposta no ensaio *Além do princípio do prazer*, escrito por Freud (Benjamin, 2000).

[2]Interessante refletirmos como a divisão entre a vida pública e privada também se desconstrói e torna-se cada vez mais difícil identificar seus limites, principalmente com a proeminência das redes sociais.

[3]O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos.

[4]Importante mencionarmos que o autor deste texto acompanhou presencial e virtualmente as aulas, já que à época realizava estágio supervisionado de capacitação docente (PESCD).

[5]Vale ressaltar que a duração das atividades era variável de acordo com as demandas dos estudantes ao longo da semana, considerando o tempo de execução de cada tarefa e os objetivos das disciplinas.

[6]Apenas um licenciando não utilizaria o *Moodle*. Aparentemente, ele compreendeu que a questão se referia na substituição das aulas presenciais pelas ministradas na plataforma; segundo ele: "*Eu não o utilizaria no momento, pois acredito que as aulas presenciais são mais produtivas pessoalmente. Acredito que o Moodle possa possibilitar uma complementação positiva* às *aulas lecionadas, porém não as substituiria*".

[7]Os estudantes não discorreram diretamente sobre a aquisição da experiência – o que já esperávamos, visto que o conceito não foi trabalhado durante as aulas. No entanto, observamos em suas respostas que o AVA permite maior flexibilidade para a leitura e reflexão, oportunizando pausas e, por conseguinte, respostas mais significativas nas postagens dos colegas. Freitas (2014) afirma que, na percepção de Benjamin, tempo, memória e ócio são elementos fundamentais para a experiência.

[8]Alguns textos apresentavam linguagem "mais complexa", embora sejam característicos do estilo acadêmico e próprios da formação docente, com ênfase à área da Química.

Agradecimentos

O autor e autoras agradecem ao CNPq e à CAPES pelo auxílio na pesquisa.

Fábio Fontana de Souza (ffontanas@gmail.com), doutor em Educação pela Universidade Federal de São Carlos e Agente de Educação Patrimonial – Fundação Pró-Memória São Carlos. São Carlos, SP – BR. **Caroindes Julia Corrêa Gomes** (caroindes@gmail.com), licenciada e mestre em Química pela Universidade Federal de São Carlos. Atualmente é doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Educação na Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP – BR. **Vânia Gomes Zuin Zeidler** (vaniaz@ufscar.br), doutora em Educação e pós-doutora em Química pela Universidade de São Paulo e pelo Centro de Pesquisas Ambientais – Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung/UFZ –Alemanha. Atualmente é professora na Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP – BR.

Referências

BENJAMIN, W. Experiência e pobreza. In: BENJAMIN, W. *Documentos de cultura, documentos de barbárie*: escritos escolhidos. São Paulo: Cultrix, 1986. p. 195-198.

BENJAMIN, W. Sobre alguns temas em Baudelaire. In: BENJAMIN, W. *A modernidade e os modernos*. Rio de Janeiro: Tempo Brasileiro, 2000. p. 33-71.

BORREDA, L. M. e PEÑA, A. V. Química verde y sostenibilidad en la educación en ciencias en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 34, n. 2, p. 25-42, 2016.

CALOU, A. L. Considerações sobre "Experiência e pobreza" de Walter Benjamin. *Problemata: Revista Internacional de Filosofia*, v. 9, n. 1, p. 96-106, 2018.

FREITAS, T. M. G. Erfahrung e Erlebnis em Walter Benjamin. *Revista Garrafa*, n. 33, p. 72-87, 2014.

HAGUENAUER, C. J.; MUSSI, M. V. F. e CORDEIRO, F. Ambientes virtuais de aprendizagem: definições e singularidades. *Revista Educaonline*, v. 3, p. 1-24, 2009.

INTERNATIONAL Year of Basic Sciences FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Disponível em: https://www.iybssd2022.org/en/home/, acesso em out. 2021.

KONDER, L. *Walter Benjamin*: o marxismo da melancolia, 3. ed. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

LIMA, J. G. e BAPTISTA, L. A. Itinerário do conceito de experiência na obra de Walter Benjamin. *Princípios: Revista de Filosofia*, v. 20, n. 33, p. 449-484, 2013.

LÜDKE, M. e ANDRÉ, M. E. D. A. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas***.** São Paulo: EPU, 1986.

MACHADO, A. A. S. C. Da génese ao ensino da química verde. *Química Nova*, v. 34, n. 3, p. 535-543, 2011.

MARQUES, A. M. Estilos de pensamento de professores italianos sobre a Química Verde na educação química escolar. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 11, n. 2, p. 316-340, 2012.

ROCHA, C. H. e AZZARI, E. F. Pedagogias emergentes. In: MILL, D. (Org.). *Dicionário crítico de educação e tecnologias e de educação a distância*. Campinas: Papirus, 2018. p. 491-495.

SILVA, R. R; MACHADO P. F. L. e TUNES E. Experimentar sem medo de errar. In: SANTOS, W. L. P e MALDANER, O. A. (Orgs). *Ensino de Química em foco*. Ijuí: Unijuí, 2010. p. 231-261.

YIN, R. K. *Estudo de caso*: planejamento e método. Tradução de Daniel Grassi. 2a. ed. PortoAlegre: Bookman, 2001.

ZUIN, V. G. *A inserção da dimensão ambiental na formação de professores de Química*. Campinas: Átomo, 2011.

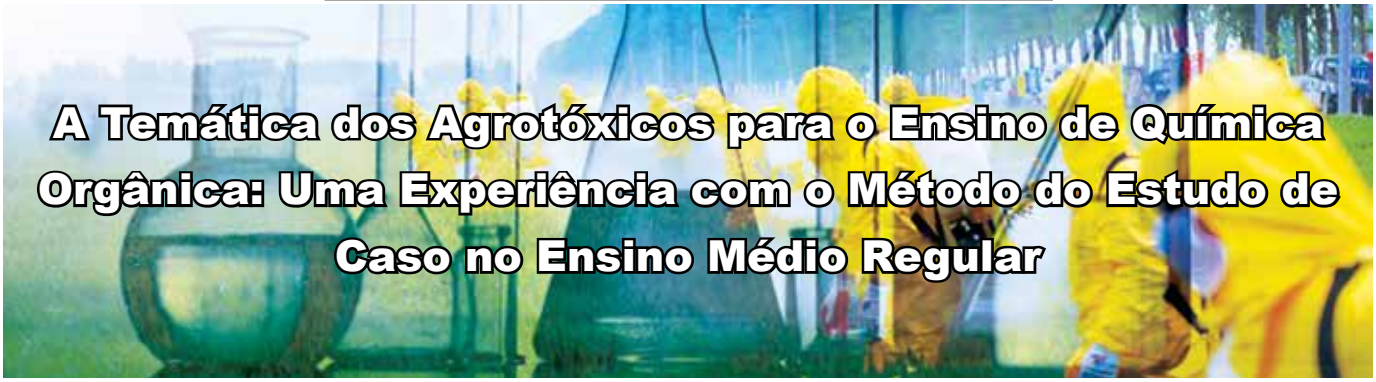
ZUIN, V. G. e GOMES, C. J. C. Sustainability and Green Chemistry Education: innovative and contextualized experiences from the undergraduate chemistry courses at the Federal University of São Carlos, Brazil. *ACS Symposium Series*, v. 1344, p. 97-110, 2020.

ZUIN, V. G.; STAHL, A. M.; ZANOTTI, K. e SEGATTO, M. L. Green and sustainable chemistry in Latin America: which type of research is going on? And for what? *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, v. 25, p. 100379, 2020.

Abstract: *Use of the VLE in the construction of formative experiences in a critical socio-environmental perspective.* In this article, it is described the development, use, and evaluation of a virtual learning environment to complement two presential classes on a Chemistry Teacher Training course. The discussion was based on Walter Benjamin's writings, investigating the potentialities and limitations of the Moodle platform to construct chemical knowledge in a critical socio-environmental perspective. Through the content analysis, the posts on forums and the tool assessment were studied. It was found that the use of these sources prompted emancipatory praxis, but that cannot be conceived far from the historical and social student's context, since the virtual environment does not stimulate the discussion, the student's engagement, and dialogic construction when used for an end in itself.
Keywords: virtual learning environment, formative experiences, socio-environmental.

A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

http://dx.doi.org/10.21577/0104-8899.20160316



A Temática dos Agrotóxicos para o Ensino de Química Orgânica: Uma Experiência com o Método do Estudo de Caso no Ensino Médio Regular

Laurine C. P. da Silva, Verônica J. V. da Silva, Thaís N. Lopes e André M. dos Santos

O ensino de Química tem papel fundamental em ampliar os horizontes do aluno para interpretar e intervir de forma ética e sustentável na realidade a seu redor. Nesse sentido, práticas de sala de aula que tornem o aluno mais crítico e reflexivo são necessárias. Este trabalho relata uma experiência com uso do Método do Estudo de Caso (EC) com o tema agrotóxicos, evidenciando a relação da Química com a sociedade e o ambiente, contribuindo para que o ensino de Química seja potencialmente significativo. Os resultados mostraram que os estudantes passaram a conceituar corretamente agrotóxicos, refletiram quanto a sua aplicação e alternativas sustentáveis ao seu uso. Esse contexto foi utilizado para o aprendizado sobre compostos orgânicos - estrutura e propriedades físico-químicas. A partir disso, treinaram habilidades de argumentação, trabalho em equipe, resolução de problemas e posicionamento crítico sobre o uso de agrotóxicos e alternativas como alimentos orgânicos e biopesticidas.

▶ contaminação ambiental, química orgânica, ensino de química ◀

Recebido em 10/03/2022, aceito em 19/04/2022

"A Química pode ser um instrumento de formação humana que amplia os horizontes culturais e a autonomia no exercício da cidadania, se o conhecimento químico for promovido como um dos meios de interpretar o mundo e intervir na realidade" (Brasil, 2002, p. 87). Portanto, o conhecimento químico é fundamental para entender as substâncias e a sua relação com o ambiente, desenvolvimento tecnológico aos muitos aspectos da vida em sociedade.

Segundo a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que normatiza aprendizagens essenciais a serem desenvolvidas no ensino médio, é necessário aos alunos mobilizar conceitos relacionados à estrutura e propriedades dos compostos orgânicos e agrotóxicos, além de "avaliar os benefícios e os riscos à saúde e ao ambiente, considerando a composição, a toxicidade e a reatividade de diferentes materiais e produtos, como também o nível de exposição a eles, posicionando-se criticamente e propondo soluções" (Brasil, 2018, p. 557).

A discussão sob diferentes pontos de vista de questões sociocientíficas atuais, articulada aos conteúdos químicos, propicia que os alunos compreendam o seu entorno e construam coletivamente respostas baseadas em valores mais justos, sustentáveis e éticos (Brasil, 2006). Porém, essa prática no ensino de Química ainda não é privilegiada, já que se observa o predomínio de uma relação focada na transmissão do conhecimento de posse do professor, recepção e reprodução pelos alunos (Brasil, 2006, p. 105).

A discussão sob diferentes pontos de vista de questões sociocientíficas atuais, articulada aos conteúdos químicos, propicia que os alunos compreendam o seu entorno e construam coletivamente respostas baseadas em valores mais justos, sustentáveis e éticos (Brasil, 2006).

Na década de 1960, David Ausubel propôs a Teoria da Aprendizagem Significativa, na qual define aprendizagem mecânica como a que valoriza a memorização sem compreensão. Em sua perspectiva cognitiva, Ausubel diz que "o fator singular mais importante que influencia a aprendizagem é o que o aprendiz já conhece" (Ausubel *et al.*, 1980, p. 137). Dessa maneira, a aprendizagem significativa é a que promove a incorporação de significados, compreensão e capacidade de transformar o conhecimento para aplicar em situações novas, habilidade necessária ao homem para ser criativo, resolver problemas e se adaptar.

Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença de Atribuição Creative Commons

No processo de aprendizagem significativa, a interação do conhecimento prévio acessado (subsunçor) com o novo conhecimento ocorre em uma dinâmica tal que, ao dar estabilização e maior clareza aos conceitos antigos, estes acabam contribuindo para que as novas aprendizagens ganhem significado. Esse subsunçor pode ser um construto pessoal, uma proposição, uma representação social, um modelo mental, uma ideia ou um conceito. E para que seja possível a passagem da aprendizagem mecânica para a significativa, o ensino deve ser potencialmente significativo, isto é, conter as condições tais como existência de subsunçores, predisposição e protagonismo do aluno, materiais e estratégias adequadas, mediação do professor e consideração do contexto socioeconômico do aluno (Moreira, 2011).

Nessa perspectiva, para facilitar a interação subsunçor-conhecimento novo pode-se fazer uso da contextualização, uma proposta com total aderência à BNCC, ao indicar que o professor busque "contextualizar os conteúdos dos componentes curriculares, identificando estratégias para (...) conectá-los e torná-los significativos, com base na realidade do lugar e do tempo nos quais as aprendizagens estão situadas" (Brasil, 2018, p. 16).

A escolha dos agrotóxicos como temática da abordagem contextualizada torna-se adequada, primeiro pelo seu expressivo consumo e riscos e por permitir associação com uma vasta opção de conteúdos, estudos de impactos no ambiente, alternativas sustentáveis e por ser um tema recorrente na grande mídia.

Wartha *et al*. (2013) analisaram livros didáticos e artigos sobre ensino de Química contextualizado, e definiram que contextualizar algo é enraizar o conhecimento por meio da incorporação em situações vivenciadas tornando a aprendizagem mais significativa, retirando o papel passivo do aluno neste processo. Afirmaram ainda que utilizar o cotidiano não é apenas apresentar exemplos, e sim, ir além do conceitual, problematizar e provocar reflexões acerca de implicações sociais, ambientais e políticas. Dessa forma, ensinar química seria como "abrir as janelas da sala de aula para o mundo, promovendo relação entre o que se aprende e o que é preciso para a vida" (Chassot *et al*., 1993 apud Silva, 2018).

A escolha dos agrotóxicos como temática da abordagem contextualizada torna-se adequada, primeiro pelo seu expressivo consumo e riscos e por permitir associação com uma vasta opção de conteúdos, estudos de impactos no ambiente, alternativas sustentáveis e por ser um tema recorrente na grande mídia. Além disso, o Brasil figura como o maior consumidor de agrotóxicos do mundo devido ao fato de ter sua economia fortemente baseada em produtos agrícolas, tendo como os mais vendidos: glifosato, 2,4-D, metamidofós, atrazina, carbendazim, paraquate e acefato. Alguns desses compõem a lista da Rede Internacional de Ação contra Pesticidas (*Pesticide Action Network*-PAN) na classe dos altamente perigosos, ou ainda, têm seu desuso recomendado pelo Parlamento Europeu, como o glifosato (Sampaio *et al*., 2020).

Os agrotóxicos são um dos principais causadores de danos ambientais, já que contaminam o solo e, consequentemente, lençóis freáticos, rios e lagos. Seu uso recorrente leva a um empobrecimento do solo, que irá necessitar de mais fertilizantes e levam a pragas mais resistentes, segundo o princípio da seleção natural (Ribeiro *et al*., 2021).

Os impactos na saúde também são amplos, atingindo expressivamente trabalhadores rurais, comunidades no entorno e consumidores em todo o território (Ribeiro *et al*., 2019). Por isso, a conscientização é extremamente importante, já que a exposição aos agrotóxicos conduz a intoxicações agudas e crônicas; podendo contribuir para casos de câncer; doenças neurológicas, como a doença de Parkinson; hepáticas, renais, respiratórias, imunológicas e endócrinas, distúrbios psiquiátricos e alterações mutagênicas (Murakami *et al*., 2017).

Ausubel cita como facilitadores da aprendizagem significativa as atividades colaborativas, presenciais ou virtuais, nas quais, em pequenos grupos, os estudantes trocam significados e colocam o professor na posição de mediador (Moreira, 2003). Assim, ao discutir em grupo os efeitos dos agrotóxicos na saúde e meio ambiente, os estudantes podem desenvolver habilidades de investigação, raciocínio e análise, reunindo informações sobre vantagens, desvantagens e alternativas sustentáveis, como a agricultura orgânica e o controle natural de pragas (Ribeiro *et al*., 2019).

A utilização dos agrotóxicos como tema também contribui para o desenvolvimento da competência essencial preconizada pela BNCC:

> "*Argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global, com posicionamento ético em relação ao cuidado de si mesmo, dos outros e do planeta*" (Brasil, 2018, p. 9).

Dentre as possíveis metodologias que atendam aos princípios até aqui apresentados, temos o Estudo de Caso (EC) que é uma variante do Aprendizado Baseado em Problemas - em inglês, *Problem Based Learning* (PBL). Nessa metodologia, os alunos entram em contato com problemas reais ou simulados para investigar aspectos científicos e sociais, por meio de narrativas de dilemas a serem analisados criticamente e resolvidos, chamadas de Casos (Sá e Queiroz, 2010).

Cada Caso deve permitir identificar, definir e avaliar informações necessárias à resolução adequada ao problema. O método tem enfoque na reunião de argumentos consistentes para debate posterior e chegada a uma conclusão (Mattar *et al*., 2018). Uma variante do método EC, sob o formato de pequenos grupos, ocorre quando, durante as discussões, cada grupo representa o ponto de vista de um personagem

envolvido no problema analisado e argumenta a fim de defender os interesses de tais personagens. Assim, o debate acontece em um cenário de júri, permitindo o estudo sob diferentes aspectos. No fim, os grupos decidem em conjunto quais foram os melhores argumentos e chegam à solução para o Caso (Faria e Freitas-Reis, 2016)

De outro modo, as dificuldades inerentes ao ensino de Química somadas às estratégias de ensino que não promovem raciocínio, reflexão crítica e autonomia do aluno, resultam em um ensino cada vez menos eficiente. O aluno não percebe a importância socioeconômica da Química e nem consegue julgar criticamente diversas questões ao seu redor, como a dos agrotóxicos, por exemplo. Para o enfrentamento desses desafios, espera-se que o Método do Estudo de Caso contextualizado com o tema agrotóxicos promova discussões sobre a sociedade, sustentabilidade e saúde e leve a maior qualidade, dinamismo e efetividade no processo de ensino-aprendizagem. É desejável também que amplie a visão do aluno tornando-o capaz de compreender conceitos, se posicionar, fazer associações e reflexões críticas sobre o mundo.

Nessa perspectiva, o professor tem papel fundamental na conscientização dos alunos sobre a necessidade de práticas sustentáveis (Ribeiro *et al*., 2021). Sendo definidas pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas como ações que visem "[...] satisfazer as necessidades das gerações presentes, levando em consideração as necessidades das gerações futuras" (Comissão, 1991).

A agricultura sustentável, incluída nas discussões do Caso, tem desenvolvimento pautado no manejo adequado dos recursos naturais evitando a degradação ambiental como no controle biológico e no uso de biopesticidas. Difundindo assim a ideia da necessidade de harmonia entre os pilares da sustentabilidade: fatores econômicos, sociais e ambientais (Bellen, 2005).

A agricultura sustentável, incluída nas discussões do Caso, tem desenvolvimento pautado no manejo adequado dos recursos naturais evitando a degradação ambiental como no controle biológico e no uso de biopesticidas.

Portanto, este artigo pretende apresentar um relato de experiência de uma proposta educativa contextualizada com tema agrotóxicos por meio do Método do Estudo de Caso (EC), cujo objetivo foi tornar mais evidente para o aluno a relação da Química com a sociedade e o meio ambiente e propiciar discussões que levem a um posicionamento crítico sobre o tema.

Aspectos metodológicos

A aplicação das atividades se deu em colégio da rede estadual do Rio de Janeiro situado no município de Seropédica. Tanto a instituição escolar, quanto todos os participantes concordaram em participar do estudo, assinando, respectivamente, o Termo de Anuência e Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), ambos autorizados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da UFRRJ (Protocolo N° 036/2020, Processo N° 23083.028963/2019-19).

O estudo foi realizado em turma do 3° Ano do Ensino Médio Regular, com 26 participantes efetivos e carga horária de Química de 2h-aula semanais (1h 40 min), sendo o conteúdo de Química Orgânica previsto no currículo para esta fase.

A criação da proposta pedagógica deste relato de experiência iniciou-se com uma revisão bibliográfica sobre o tema, seguida do desenvolvimento de planos de aula, estabelecendo-se 6 h aulas para o ciclo completo do trabalho, ou seja, 3 semanas. Logo após, foram realizadas as intervenções em sala de aula.

A intervenção iniciou com levantamento prévio dos conhecimentos da turma sobre agrotóxicos, utilizando-se de um questionário semiestruturado. Após a aplicação do Estudo de Caso (EC) o mesmo questionário foi aplicado para possibilitar a comparação de resultados, acrescentando-se apenas algumas questões visando avaliar a aceitação da metodologia.

Os conteúdos discutidos em aula foram: fórmulas estruturais, propriedades físico-químicas dos compostos orgânicos, classificação das cadeias carbônicas e do carbono.

As atividades desenvolvidas foram: (1) Aplicação do Método do Estudo de Caso, (2) Montagem de moléculas, (3) Dinâmica de verdadeiro ou falso e (4) Exercícios de fixação *online*. O Quadro 1 a seguir mostra tais atividades organizadas em etapas.

Sá e Queiroz (2010) ressaltam que o Caso deve ser relevante, atual, curto, criando empatia pelos personagens, provocando conflito e tomada de decisão, tendo utilidade pedagógica e possibilidade de generalizações. Com base nesses critérios e inspirada na história real relatada na revista Superinteressante (Garattoni e Lacerda, 2018), o Caso da "História de Carlos Mendes" foi criado pela autora e apresentado na forma dos slides reunidos na Figura 1.

Após as intervenções, a análise do presente estudo se deu de forma quantitativa e qualitativa de acordo com as impressões sobre as dinâmicas em sala, dos "diários do caso" de cada grupo e os questionários inicial e final.

Resultados e discussão

Para início da análise e discussão dos dados, foram coletadas informações dos estudantes em dados da secretaria da escola. Foi observado que a turma possuía estudantes com idade média de 17 e 18 anos. Para fins de comparação, todas as porcentagens aqui representadas estão em relação ao total de 26 participantes assíduos, uma vez que os alunos faltosos foram desconsiderados na análise, pois não participaram de todas as etapas da intervenção pedagógica.

Nesta proposta, o tema "agrotóxicos" foi utilizado para abordar conceitos químicos através do Método do Estudo de Caso (EC). Considerando a necessidade de que o tema

Quadro 1: Apresentação das etapas de organização das atividades desenvolvidas em sala de aula, com estudantes do 3° Ano do Ensino Médio Regular, com 26 participantes efetivos e carga horária de Química de 2h-aula semanais.

Etapa	Duração	Atividades
1	40 min	Apresentação do tema Agrotóxicos por meio das notícias: • "Brasil tem 40 mil casos de intoxicação por agrotóxicos em uma década" (Globoplay, 2019). • "Governo aprova registro de mais 51 agrotóxicos, totalizando 262 no ano" (G1, 2019). • "Dois lados da moeda: Agrotóxico" (Jovem Pan News, 2016). • "Anvisa reclassifica mais de 1.900 agrotóxicos e retira 600 produtos dos rótulos de maior risco" (Tooge, 2019).
2	15 min	Exposição da definição legal dos agrotóxicos e seus tipos com base na Lei Federal nº 7.802/89. Diálogo para exposição do conhecimento prévio e opiniões dos alunos.
3	30 min	Apresentação em *slides* contendo: • estruturas químicas dos principais agrotóxicos usados no Brasil - características, aplicações e implicações; • conceitos químicos: classificação do carbono e das cadeias carbônicas, polaridade, interações intermoleculares e solubilidade.
4	5 min	Entrega de resumo dos conceitos químicos em papel com *link* de atividade de fixação em formulário Google contendo questões objetivas.
5	20 min	Análise em conjunto de exemplos de estruturas de agrotóxicos quanto às classificações e conceitos estudados.
6	30 min	Atividade feita pelos alunos: • montagem das moléculas dos agrotóxicos usando bolinhas de isopor pintadas de cores diferentes para cada elemento químico e palitos; • construção da fórmula molecular dessas moléculas.
7	40 min	Método do Estudo de Caso (EC) • apresentação da história do personagem Carlos Mendes (vide Figura 1). • divisão dos estudantes em grupos, sendo cada um representante de um ponto de vista sobre o caso (Trabalhadores agrícolas; Empresas do ramo agrícola; Órgão que regulamenta e fiscaliza agrotóxicos; Profissionais da área da saúde; e Agricultura sustentável). • orientações para reunião de argumentos e resolução do caso. • entrega do "diário do caso" contendo questões norteadoras para cada grupo.
8	30 min	Dinâmica usando apresentação de *slides* animada com dez perguntas de verdadeiro ou falso. Os alunos respondem utilizando plaquinhas com frente contendo um V, em verde, e verso contendo um F, em vermelho. Ao longo da dinâmica, o professor verifica visualmente e comenta as questões retomando o conteúdo. Ao final, os alunos fazem uma autoavaliação na escala sugerida: 1 a 3 acertos (ruim); 4 a 6 (bom); 7 a 9 (muito bom) e 10 (excelente).
9	1 h	Apresentação oral das ideias, argumentos e informações pesquisadas. Discussões dos diferentes pontos de vista e entrega dos "diários de caso".

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

escolhido para o EC seja relevante e esteja integrado à realidade do estudante para que o método seja atrativo e eficiente, torna-se necessário fazer aqui uma breve correlação do tema com o município de Seropédica-RJ, onde o estudo foi realizado.

O município é caracterizado historicamente por produção agrícola com cerca de 75,5% dos estabelecimentos classificados como agricultura familiar com destaque para produção de alimentos orgânicos (Vianna, 2020). Em contrapartida, uma análise recente detectou altas concentrações do inseticida clorpirifós na alface comercializada na cidade, um organofosforado altamente tóxico, evidenciando o uso indiscriminado de agrotóxicos e falta de fiscalização, necessitando conscientização quanto ao uso de tais substâncias na região (Alves *et al*., 2020).

Toda a sequência de atividades antes da apresentação do Caso procurou promover aprendizado sobre fórmulas estruturais, propriedades físico-químicas dos compostos orgânicos como polaridade, solubilidade e pontos de fusão e ebulição, classificação das cadeias carbônicas e do carbono, articulados ao tópico uso de agrotóxicos, dando ênfase nas estruturas químicas dos mais utilizados, perigos e propostas alternativas ao uso destas substâncias.

Na etapa do EC, as informações sobre os compostos orgânicos e agrotóxicos apresentadas anteriormente serviram de base para a resolução do Caso em que também foram desenvolvidos: argumentação, trabalho em equipe, liderança e criticidade.

A aplicação de um questionário inicial permitiu consultar e estimular os alunos a expressarem seus saberes, corretos ou não, que servirão como âncora para o novo conhecimento que irá se formar. Isto é, permite revelar conhecimentos

Figura 1: *Slide* utilizado em sala de aula contendo o Caso "A história de Carlos Mendes".

prévios já arraigados na estrutura cognitiva do aluno, que são chamados de subsunçores por Ausubel, e que servirão como base em todo o processo da aprendizagem significativa (Giffoni *et al*., 2020). Já a aplicação do mesmo questionário posteriormente às atividades, permite inferir se houve evolução com a incorporação de novos conceitos.

A análise das respostas às perguntas aplicadas antes e depois das intervenções, será apresentada detalhadamente a seguir.

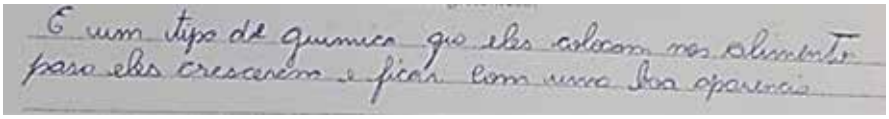
Sobre a Pergunta 1: "Você sabe o que são agrotóxicos?", que tinha intenção de verificar o conhecimento prévio dos alunos sobre a temática, foi observado que antes do EC, 20 (77%) responderam que sim. O número expressivo de respostas afirmativas, corrobora com o argumento de que os participantes possuíam contato com esse tema no seu cotidiano, porém, não o conheciam a fundo já que na Pergunta 1.1: "Se respondeu sim, o que você entende sobre agrotóxicos?", dos que responderam "sim" na Pergunta 1, 11 (42%) conseguiram explicar o conceito de forma correta, sendo que o restante explicou de forma incompleta ou errada.

Observou-se que as explicações se apresentaram mais embasadas e conectadas aos problemas de saúde acarretados pela exposição a essas substâncias, um olhar sobre a temática que foi influenciado pelas discussões do Caso já que um dos grupos pesquisou sob a ótica dos profissionais da saúde.

Após o EC, foi realizada uma nova avaliação utilizando-se mesmas perguntas, visando verificar o quantitativo de alunos que passou a compreender o conceito de agrotóxicos corretamente. Na Pergunta 1, 25 (96%) responderam que sim, e os que responderam sim na pergunta anterior na Pergunta 1.1, 16 (62%) souberam explicar com a conceituação correta. Observou-se que as explicações se apresentaram mais embasadas e conectadas aos problemas de saúde acarretados pela exposição a essas substâncias, um olhar sobre a temática que foi influenciado pelas discussões do Caso já que um dos grupos pesquisou sob a ótica dos profissionais da saúde. Portanto, houve uma melhora no entendimento sobre o assunto em 20%. Algumas respostas foram selecionadas para ilustrar essa diferença no Quadro 2.

Os resultados concordaram com o de Alvarenga e Carmo (2016), que ao aplicar atividades dinâmicas e Estudo de Caso perceberam "[...] uma notável diferença entre os comentários anteriormente e posteriormente ditos, sendo que anteriormente os alunos apresentaram dúvidas, alguns estavam um pouco interessados, outros desinteressados [...],

Quadro 2: Exemplos de respostas mais recorrentes, não necessariamente dos mesmos alunos, à Pergunta 1.1: "Se respondeu sim, o que você entende sobre agrotóxicos?", utilizada como estratégia avaliativa da eficiência do Estudo de Caso (EC).

Antes do EC

"alimentos agrotóxicos são alimentos cultivados por industrias que usam procedimentos legais e ilegais para a produção dos alimentos"
"uma substância que serve para "matar" pragas nos alimentos durante a época de plantio e dar um aspecto melhor para as colheitas."
"produtos que jogam nos alimentos para os bichos não comerem os alimentos"
Depois do EC
"remédio para matar as pragas e conservar os alimentos"
"material usado para matar fungos e bactérias"
"são produtos utilizados para aumentar ou embelezar os alimentos, ou, para reduzir a quantidade de pragas nas plantações"

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

mas se sentiram motivados e curiosos quanto à dinâmica [...] expressando-se em falas, bem como em melhorias na habilidade oral e escrita" (Alvarenga e Carmo, 2016, p. 10).

Também é possível inferir no Quadro 2 que os alunos possuíam subsunçores sobre o tema quando mencionam sobre matar pragas e melhorar a aparência dos alimentos. E também que novos conhecimentos surgiram quando mencionam inseticidas, fungos e bactérias e remédio para pragas, corroborando com a Teoria de Ausubel e que estratégias como o EC contextualizado permitem dar sentido aos novos conceitos, ao facilitar a ancoragem nos antigos.

Durante a apresentação das reportagens sobre os agrotóxicos, houve um diálogo sobre os temas tratados revelando o que os estudantes conheciam sobre o assunto. Assim como Simões e Alves (2017), que relataram a fala indignada de um aluno, também foi percebido nessa intervenção pedagógica o surgimento de perguntas e indignação sobre o uso, danos à saúde e fiscalização. Surgiram questionamentos sobre a mudança ocorrida na classificação dos agrotóxicos justamente na semana da aula e exibida nas mídias (em extremamente, altamente, moderadamente e pouco tóxico). A fim de ilustrar essa questão, foi destacado a seguir um comentário feito por um aluno que demarcou o início da percepção sobre essa problemática: "*agrotóxico então prejudica a saúde do consumidor mas, porém ajuda um pouco o produtor porque se o produtor não usar o agrotóxico a produção do produtor diminui e se o produtor não conseguir produzir como que vai ter alimento para botar na mesa das pessoas?*".

Durante a apresentação das reportagens sobre os agrotóxicos, houve um diálogo sobre os temas tratados revelando o que os estudantes conheciam sobre o assunto. Assim como Simões e Alves (2017), que relataram a fala indignada de um aluno, também foi percebido nessa intervenção pedagógica o surgimento de perguntas e indignação sobre o uso, danos à saúde e fiscalização.

Figura 2: Gráfico com os dados das respostas da Pergunta 1.2: "Se respondeu sim na Pergunta 1, o quanto você apoia o uso de agrotóxicos considerando uma escala de 1 a 5, onde 1 é totalmente contra e 5 é totalmente a favor?" sendo a porcentagem de alunos na vertical e a nota atribuída por eles na horizontal antes e depois da aplicação do Estudo de Caso (EC).

As respostas da Pergunta 1.2: "Se respondeu sim na Pergunta 1, o quanto você apoia o uso de agrotóxicos considerando uma escala de 1 a 5, onde 1 é totalmente contra e 5 é totalmente a favor?" estão mostradas na Figura 2. Tal questão tinha a intenção de avaliar se os alunos possuíam algum posicionamento a favor ou contra agrotóxicos. A partir da análise do gráfico, pode-se perceber que antes do EC os alunos não tinham uma visão clara sobre o apoio ou não ao uso de agrotóxicos, marcado por 31% das respostas no nível intermediário.

Porém, também se percebeu com maiores frequências de resposta os níveis 1 e 2, ou seja, contra, demonstrando que os

estudantes percebiam os agrotóxicos como algo prejudicial. Observando as respostas posteriores à intervenção pedagógica, nota-se que o número de respostas mais favoráveis ao uso de agrotóxicos diminuiu em contraponto ao número de respostas "totalmente contra" o uso, que cresceu para 46%.

Outra questão a se notar no gráfico é a de que a resposta intermediária permanece alta, demonstrando que os estudantes percebem as implicações negativas que também ocorreriam na produção de alimentos se não houvesse uso de tais substâncias. Até porque no vídeo "Dois lados da moeda: Agrotóxico" (Jovem Pan News, 2016) e nas discussões que sucederam foram apontados diversos olhares sobre o assunto: a favor, contra, consequências para o ambiente e para saúde humana, necessidade do uso para produção de alimentos, etc.

Levando em consideração os que responderam sim na Pergunta 1, a Pergunta 1.3 ("Quanto à resposta anterior, justifique seu posicionamento") teve a intenção de verificar se no apoio ou não ao uso de agrotóxicos havia justificativa embasada em argumentos sólidos ou opiniões, ou se por desconhecimento seguiam para uma orientação aleatória. Quanto às respostas foi verificado que antes do EC apenas 2 (8%) deixaram em branco. Dos que responderam, foram observadas algumas confusões sobre o termo "produto natural" e percebido um desconhecimento sobre malefícios atribuídos aos agrotóxicos. Por outro lado, após o EC, 21 alunos (81%) responderam corretamente, sendo possível perceber a preocupação com a demanda de alimentos, exposição dos agricultores e uso de alternativas.

> O uso de métodos avaliativos diferenciados ultrapassa a simples avaliação escrita, uma vez que torna as aulas mais divertidas e interativas, capazes de conquistar a atenção, motivar a frequência às aulas e a participação dos alunos.

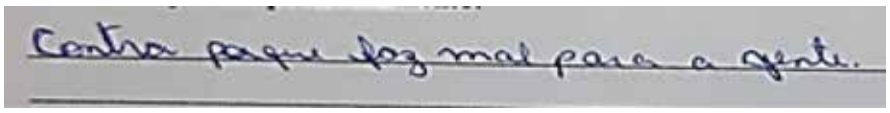
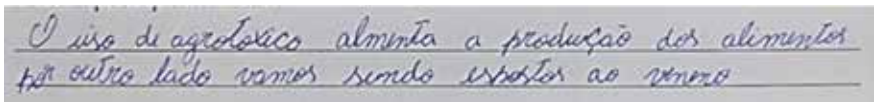
As respostas também corroboraram com a conclusão anterior de que as discussões contribuíram para a formação de opinião dos estudantes quanto às vantagens e desvantagens do uso de agrotóxicos na produção de alimentos. Além disso, é evidente a melhora na compreensão do tema. O Quadro 3 ilustra essas percepções da turma.

Quanto ao estudo sobre as estruturas orgânicas com a montagem das moléculas e dinâmica de Verdadeiro ou Falso, notou-se que contribuíram para a motivação e interesse dos alunos. A turma, porém, apresentou pouca participação nos exercícios disponibilizados no *Google Forms*, e teve uma média de 2 acertos, das 3 questões.

O uso de métodos avaliativos diferenciados ultrapassa a simples avaliação escrita, uma vez que torna as aulas mais divertidas e interativas, capazes de conquistar a atenção, motivar a frequência às aulas e a participação dos alunos. Simões e Alves (2017) também aplicaram um jogo com plaquinha de verdadeiro ou falso e outro de amarelinha com perguntas e observaram a contribuição nas notas da disciplina, já que nenhum estudante obteve conceito insatisfatório nas avaliações. Sendo tais avaliações abordando conceitos da Química Orgânica usadas também em outras turmas não participantes do EC.

A Figura 3 mostra a realização da atividade da montagem das moléculas dos agrotóxicos mais usados no Brasil utilizando-se bolinhas de isopor e palitos de dente, com posterior construção da fórmula molecular. Já a Figura 4 mostra um exemplo de questão aplicada na realização da atividade de Verdadeiro ou Falso usando o programa *PowerPoint* com

Quadro 3: Exemplos de respostas mais recorrentes, não necessariamente dos mesmos alunos, à Pergunta 1.3: "Quanto à resposta anterior, justifique seu posicionamento", referente ao apoio ao uso de agrotóxicos, utilizada como estratégia avaliativa da eficiência do Estudo de Caso (EC).

Antes do EC

"por não saber o que são agrotóxicos, optei pela alternativa que não é bom"
"por um lado é bom porque mata as pragas e o outro é ruim porque os produtos não vem 100% natural"
"não entendo muito de agrotóxicos, mas penso que é bom para o ser humano"
Depois do EC

"sem o uso de agrotóxico a demanda de vegetais cada vez maior, faltaria para o consumidor, mesmo sendo ruim ele não é totalmente o vilão"
"acho bom por manter o alimento inteiro e saudável e ruim por fazer mal a natureza"
"porque faz mal para a saúde e acaba prejudicando os agricultores"

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Figura 3: Realização da atividade em grupo de montagem de moléculas, com bolinhas de isopor e palitos de madeira, dos agrotóxicos mais usados no Brasil.

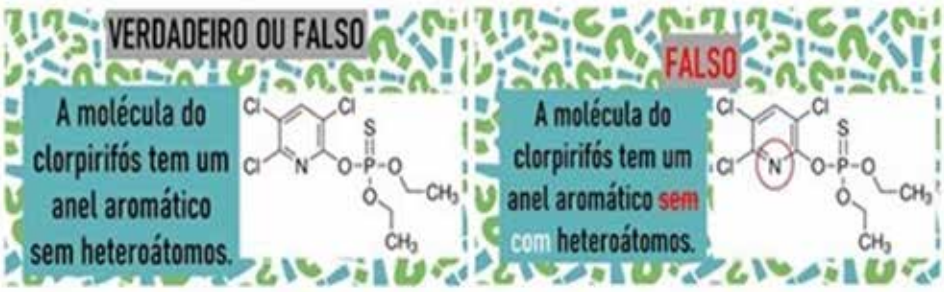


Figura 4: Exemplos de *slides* contendo perguntas da dinâmica de Verdadeiro ou Falso utilizados em sala de aula para que os alunos respondessem utilizando plaquinhas.

animações, que também contou com questões relativas aos tipos de agrotóxicos: herbicida, inseticida, fungicida, bactericida, acaricida, nematicida e rodenticidas.

As questões norteadoras para o EC foram diferenciadas para os grupos, visando um olhar sob diferentes aspectos. Jones (1997 *apud* Sá e Queiroz, 2010) aplicou um estudo parecido, em que criou um tribunal de júri, no qual o problema pôde ser analisado por diversos pontos de vista (papéis): juiz, testemunha, advogados, cientistas, sociólogos, médicos, biólogos.

Um "diário do caso" foi distribuído para guiar e incentivar os estudantes na pesquisa, interpretação e delimitação de informações úteis à argumentação, e para possibilitar a prática da escrita. Contudo, os resultados da discussão demonstraram que os estudantes têm dificuldade em filtrar informações relevantes e chegar às conclusões a partir dos vários textos disponíveis para pesquisa na internet, que também pôde ser relatado por Sales (2017).

O debate girou em torno da divergência de opiniões de cada grupo de acordo com seus "papéis" na pesquisa. Alguns defendiam que Carlos tinha usado EPI (equipamento de proteção individual), por isso, sua doença não pode ser culpa da empresa em que trabalhava, outros que a empresa deveria indenizar e responder pela morte de Carlos. A seguir destacam-se os argumentos mais relevantes provenientes das discussões de cada grupo, apresentados oralmente no debate e retratados por escrito no "diário de caso":

- Grupos representando os trabalhadores agrícolas: *"Homens são a maioria afetados por agrotóxicos. Porque na maioria das vezes não está com a proteção necessária e acaba tendo contato direto com o veneno e isso faz Carlos cada vez mais ir ficando fraco até desmaiar e acaba sabendo que está com intoxicação depois de muito tempo. [...] E eles não tem nenhuma remuneração se acontecer alguma coisa. os trabalhadores tem o direito de receber os custos da empresa para fazer os tratamentos devidos, se o caso for muito grave tem o direito de ter um afastamento do trabalho e continuar recebendo seu salário e receber todas as providências necessárias. [...] Um dos casos mais famosos aconteceu na cidade de Anniston, no Alabama, onde as atividades de uma grande empresa de tecnologia agropecuária causaram a intoxicação de toda população. Muitos de seus moradores desenvolveram câncer, hepatite, diabetes e, eventualmente, tiveram morte dias após o ocorrido".*

- Grupo representando os órgãos públicos: *"As informações sobre o uso correto e seguro dos agrotóxicos é assunto*

regulamentado pela lei federal 7.802. [...] Os órgãos que regulamentam são: o Mapa que monitora a qualidade dos produtos de origem vegetal produzidos em todo território nacional e a Anvisa que avalia e classifica toxicologicamente os agrotóxicos".

- Grupo representando profissional da saúde: *"Os riscos são grandes e podem ocasionar problemas em curto, médio e longo prazo, a depender da substância utilizada e do tempo de exposição ao produto, como no caso de Carlos [...] Sintomas: náuseas, vômitos, cólicas abdominais que Carlos teve são comuns [...] Entre 2007 e 2017, 40 mil casos de intoxicação aguda e 1.900 mortes [...] Uma das opções é a cortina verde [...]"*.

- Grupo representando a empresa agrícola: *"As principais empresas de alimentos devem seguir as boas práticas de fabricação que estabelecem normas para manipulação higiênica dos alimentos, procedimentos, instalações e equipamentos da indústria. E os trabalhadores devem usar roupas fechadas, máscaras e luvas [...] usar defensivos agrícolas no controle das pragas e doenças são vantagens para aumento de produtividade, de vendas"*.

- Grupo representando defensores da agricultura sustentável: "*[...] Precisa investir na tecnologia de aplicação de agrotóxicos porque a perda do produto durante a aplicação pode gerar contaminação de rios e lagos, é essencial o treinamento sobre o uso correto. [...] Alternativas: Manejo Integrado de Pragas e Doenças (MIP) consiste em um conjunto de diferentes práticas para proporcionar o controle de pragas de maneira sustentável e reduzir as aplicações de agrotóxicos na lavoura. Desvantagens: mais dispendiosa e demorada; produtos mais caros que os convencionais [...] Os biopesticidas são um tipo de pesticidas orgânicos que contém fórmulas cujos ingredientes ativos se baseiam em fungos e bactérias. Controle biológico e controlar as pragas agrícolas a partir do uso de seus inimigos naturais, que podem ser outros insetos benéficos, predadores, parasitoides e microrganismos"*.

A conscientização sobre questões ambientais, como a dos agrotóxicos, durante a educação básica agrega na formação de cidadãos que irão tomar posicionamento e decisões futuras cada vez mais sustentáveis, que agridam menos o ambiente, a saúde humana, e gerem menos resíduos e desperdícios. Nesse sentido, este estudo contribuiu para tal conscientização na medida que a partir do EC foi possível perceber que 81% dos estudantes souberam se colocar de forma crítica e embasada, demonstrando conhecimento sobre esses defensivos agrícolas e alternativas como alimentos orgânicos, biopesticidas e Manejo Integrado de Pragas (MIP).

A conscientização sobre questões ambientais, como a dos agrotóxicos, durante a educação básica agrega na formação de cidadãos que irão tomar posicionamento e decisões futuras cada vez mais sustentáveis, que agridam menos o ambiente, a saúde humana, e gerem menos resíduos e desperdícios.

Assim como Silva *et al*. (2018) perceberam que os alunos têm dificuldade em apresentar suas respostas com uma linguagem química adequada, sendo observados erros de português e dificuldade em expressar suas respostas e opiniões, também foi observada essa limitação neste trabalho. Durante as discussões percebeu-se que os alunos ficaram presos aos detalhes das informações pesquisadas, lendo-as. Mas, ao longo do debate, a conversa foi ficando mais fluida e eles participaram de forma mais crítica, espontânea e criativa.

Ao fim do Estudo de Caso, a turma chegou à conclusão de que medidas de fiscalização da empresa e governo sobre uso de EPIs devem ser intensificadas. Salientaram também que, mesmo Carlos Mendes usando proteção durante o trabalho, devido à proximidade aos agrotóxicos ser grande, acreditaram que seu quadro se devia à exposição a esses compostos tóxicos, cabendo à esposa direitos a serem buscados devido a sua perda.

Ao final, foi apresentado o seguinte trecho da reportagem que inspirou a criação do Caso de Carlos Mendes - "O país do agrotóxico" da Revista Superinteressante - "sua viúva processou a empresa e depois de quase uma década brigando, conseguiu um marco histórico. A Justiça deu ganho de causa, em última instância, à família – e, ao fazer isso, reconheceu que seu marido morreu por exposição a agrotóxicos" (Garattoni e Lacerda, 2018). Os alunos se mostraram satisfeitos com a aula e muitos agradeceram e pediram por mais momentos como esse. De maneira geral, os resultados da literatura e do presente estudo mostram que o EC contribui para a aprendizagem e conexão da Química com a resolução de problemas reais, sendo possível também perceber maior entusiasmo e argumentação.

Faria e Silva (2012) aplicaram quatro Casos distribuídos em grupos de estudantes, sendo um deles com narrativa parecida com a tratada no presente estudo chamado de "Doença misteriosa em trabalhadores rurais". Assim como neste trabalho, os estudantes concluíram que os sintomas relatados se referiam à intoxicação por contato direto e ao manuseio incorreto do produto na plantação. Seus resultados mostram que os estudantes melhoraram suas habilidades de trabalhar em equipe (74%), solucionar problemas (64%) e de argumentação (54%).

A análise das perguntas do questionário final sugere aceitação da turma quanto à utilização da metodologia. Em relação à Pergunta 2: "A metodologia de ensino utilizada foi a contextualização para abordar o conteúdo de Química Orgânica. Você considera que contribuiu para seu processo educacional?", a maioria dos respondentes considera que contribuiu muito (73%), 23%, pouco e apenas 4%, nada para sua aprendizagem. Quanto à Pergunta 3: "Você acha que essa metodologia de ensino poderia ser utilizada para abordar outros conteúdos de química?", 100% responderam que sim.

Na Pergunta 4: "Avalie as afirmações a seguir, atribuindo uma nota de 1 a 5, considerando 1 o menor e 5 o maior grau", foram feitas proposições quanto a critérios de sucesso no EC, a saber: A sua participação efetiva no processo de

ensino aprendizagem foi; A capacidade de despertar sua participação na discussão em grupo foi; A compreensão dos temas abordados foi; A proximidade entre o professor e o aluno foi; A sua interação com a turma foi; O quanto espera utilizar os conhecimentos estudados no seu cotidiano; O seu desempenho durante as aulas e nas atividades foi; O seu aprendizado durante as atividades foi.

A nota máxima (5) foi a mais frequente (moda) nos resultados, exceto quanto à autoavaliação do desempenho. Isso demonstra um aprender inconsciente através da atividade contextualizada. O estudante revela o aprendizado por meio das respostas às atividades, porém, não percebe que evoluiu, liga o aprendizado apenas a um resultado quantitativo de notas, memorização e cópia por causa do seu costume com a aula tradicional.

Portanto, é possível perceber que a abordagem contextualizada leva ao aprendizado mais completo do conhecimento químico aplicado a situações relevantes para a sociedade. Assim, o estudante percebe a conexão que existe entre o conteúdo e o seu cotidiano e passa a ser capaz de aplicar esse conhecimento em situações fora da escola, com mais motivação e autonomia para seguir esse processo de aprendizagem ao longo da vida. A melhoria do aprendizado foi observada, de maneira geral, nas respostas e discussões realizadas após o EC. As discussões foram mais elaboradas, argumentativas e as respostas mais completas, apresentando conexão com o estudo da Química. É preciso destacar o desenvolvimento das habilidades – argumentação, pensamento crítico, trabalho em grupo, autonomia, resolução de problemas e criatividade – que são extremamente importantes para a formação do cidadão.

Considerações Finais

A necessidade de romper com o tradicionalismo no ensino é notória, mais ainda quando se fala do aprendizado de Química, visto que a disciplina é corriqueiramente apontada como difícil, desnecessária e desconectada da realidade fora da escola. Mesmo assim, ainda prevalece a aprendizagem mecânica, baseada na memorização. Nesse sentido, este trabalho apresentou uma proposta de superação dessa problemática por meio da metodologia do Estudo de Caso (EC), pautando-se na teoria de Ausubel, que enfatiza a valorização e respeito aos conhecimentos prévios para fortalecer a construção de uma aprendizagem significativa.

Foram abordados os conteúdos sugeridos pelo currículo básico, tais como estrutura, representação e aplicação dos compostos orgânicos, propriedades físico-químicas, classificação do carbono e cadeias carbônicas por meio de uma abordagem contextualizada, utilizando-se a temática agrotóxicos e visando à aproximação do conhecimento dessa Ciência com a realidade. O Caso criado e aplicado nesta intervenção pedagógica foi o do personagem Carlos Mendes, que trabalhava no campo e lidava com agrotóxicos, tendo sua saúde afetada.

A utilização dessa metodologia estimulou nos estudantes a construção de posicionamento crítico e embasado no conhecimento sobre esses agrotóxicos, levando-os a apresentarem alternativas, como o consumo de alimentos orgânicos, o uso de biopesticidas e a implantação do manejo integrado de pragas (MIP) nos cultivos agrícolas.

Foi observado também uma significativa aceitação pelos alunos da metodologia empregada nas intervenções, com relatos de que a mesma contribuiu para sua aprendizagem, e que poderia ser utilizada em outros assuntos dentro da Química.

Por fim, pode-se dizer que o uso da abordagem contextualizada tem potencial para contribuir para promover ao estudante a conexão da Química com algo do seu cotidiano e possa expandir seu conhecimento para aplicar em situações diversas ao longo de sua vida. Especificamente em relação aos agrotóxicos, as discussões em torno do tema nas aulas de Química apresentam-se também como uma estratégia promissora para a conscientização dos estudantes em relação ao desenvolvimento sustentável.

Laurine Cristina Paulo da Silva (laurinecristina@gmail.com), docente de Química, Física e Matemática no ensino médio regular e EJA na SEEDUC/RJ. Preceptora no Programa Residência Pedagógica da UFRRJ. Mestre em Química pelo Mestrado Profissional em Química (PROFQUI/UFRRJ). Bacharel em Engenharia de Alimentos pela UFRRJ e licenciada em Química pela UENF. Rio de Janeiro, RJ – BR. **Verônica Joyce Vieira da Silva** (veronicakopker39@gmail.com), discente do Curso de Licenciatura em Química da UFRRJ. Rio de Janeiro, RJ – BR. **Thaís Nunes Lopes** (thais.nl@outlook.com), discente do Curso de Licenciatura em Química da UFRRJ. Professora voluntária de Química na ONG Saber Mais. Petrópolis, RJ – BR. **André Marques dos Santos** (amarques@ufrrj.br), professor Associado no Departamento de Bioquímica, Instituto de Química da UFRRJ. Membro permanente do Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI/UFRRJ). Seropédica, RJ – BR.

Referências

ALVARENGA, M. M. S. C. de e CARMO, G. T. A construção do método Estudo de Caso sobre o Ensino de Ciências para os discentes da Educação de Jovens e Adultos. *In: III Congresso Nacional de Educação (CONEDU)* 2016. Natal, Rio Grande do Norte. 2016.

ALVES, D. P. *et al*. Quantificação de clorpirifós em alfaces comercializadas no município de Seropédica - RJ, através de cromatografia líquida de alta eficiência. *Cadernos de Agroecologia – Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia*. v. 15, n. 2, 2020.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D. e HANESIAN, H. *Psicologia educacional*. Tradução Ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BELLEN, H. M. V. *Indicadores de sustentabilidade:* uma análise comparativa. Rio de Janeiro: FGV, 2005.

BRASIL. Ministério da Educação. *PCN + Ensino Médio:* orientações complementares - Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. *Orientações curriculares para o ensino médio - volume 2:* Ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular (BNCC)*. Brasília: MEC, 2018.

COMISSÃO Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. *Nosso Futuro Comum.* Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991.

FARIA, F. L. e FREITAS-REIS, I. A percepção de professores e alunos do ensino médio sobre a atividade estudo de caso. *Ciência & Educação*, v. 22, n. 2, p. 319-333, 2016.

FARIA, F. L. e SILVA, A. F. A. Estudo de Casos e o desenvolvimento de habilidades cognitivas pelos alunos do Ensino Médio. *In: XVI ENEQ*, 2012. Salvador, Bahia, 2012.

G1. *Governo aprova registro de mais 51 agrotóxicos, totalizando 262 no ano*. 2019. 2:35 min. Disponível em: https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2019/07/22/governo-aprova-registro-de-mais-51-agrotoxicos-totalizando-262-no-ano.ghtml, acesso em fev. 2022.

GARATTONI, B e LACERDA, R. *O país do agrotóxico.* 2018. Super Interessante. Disponível em https://super.abril.com.br/especiais/brasil-o-pais-do-agrotoxico/, acesso em fev. 2022.

GIFFONI, J. S.; BARROSO, M. C. S. e SAMPAIO, C. G. Aprendizagem significativa no ensino de Química: uma abordagem ciência, tecnologia e sociedade. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 6, e13963416, 2020.

GLOBOPLAY. *Brasil tem 40 mil casos de intoxicação por agrotóxicos em uma década*. 2019. 10:51 min. Disponível em: https://globoplay.globo.com/v/7501164/, acesso em fev. 2022.

JOVEM PAN NEWS. *Dois Lados da Moeda:* Agrotóxico. 2016. 30:28 min. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=SKEW7XoSMf8, acesso em fev. 2022.

MATTAR, J.; PISAN, A. e AGUIAR, S. Metodologias Ativas: Aprendizagem Baseada em Problemas, Problematização e Método do Caso. *Technology and Society (BRAJETS),* v. 11, n. 3, p. 404-415, 2018.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa e linguagem. *In: IV Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa*, 2003. Maragogi, Alagoas, 2003.

MOREIRA, M. A. *Aprendizagem Significativa:* a teoria e textos complementares. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MURAKAMI, Y.; PINTO, N. F.; ALBUQUERQUE, G. S. D.; PERNA, P. O. e LACERDA, A. Intoxicação crônica por agrotóxicos em fumicultores. *Saúde Debate*, v. 41, n. 113, p. 563-576, 2017.

RIBEIRO, D. C. A.; PASSOS, C. G. e SALGADO, T. D. M. A metodologia da resolução de problemas: uma proposta interdisciplinar sobre agrotóxicos na Educação de Jovens e Adultos. *Revista Linhas*, v. 20, n. 43, p. 205-233, 2019.

RIBEIRO, D. C. A.; PASSOS, C. G. e SALGADO, T. D. M. A temática ambiental agrotóxicos no ensino de ciências da educação básica: uma revisão bibliográfica. *Revista da Sociedade Brasileira de Ensino de Química*, v. 02, n. 1, 2021.

SÁ, L. P. e QUEIROZ, S. L. *Estudos de casos no ensino de química.* São Paulo: Editora Átomo, 2010.

SALES, E. S. *A doença de Milena - o estudo de caso como metodologia de ensino de química.* Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

SAMPAIO, C. G.; SILVA, F. T.; BARROSO, M. C. S. e BENIGNO, A. P. A. Abordagem da temática agrotóxico no ensino de química na perspectiva CTS/CTSA e Aprendizagem Significativa: um estudo bibliográfico. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 8, e300984482, 2020.

SILVA, A. J. A.; VIEIRA, A. A. e SOARES JR, A. L. Atividades experimentais de química no ensino da EJA. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 13, n. 4, p. 49-63, 2018.

SIMÕES, N. T. e ALVES, E. F. Utilizando a temática agrotóxico no ensino de química orgânica com alunos da educação de Jovens e Adultos. In: *37° Encontro de Debates sobre o Ensino de Química – FURG*. 2017. Rio Grande, Rio Grande do Sul, 2017.

TOOGE, R. *Anvisa reclassifica mais de 1.900 agrotóxicos e retira 600 produtos dos rótulos de maior risco*. 2019. G1. Disponível em: https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2019/08/02/anvisa-reclassifica-mais-de-1900-agrotoxicos-e-tira-600-produtos-dos-rotulos-de-maior-risco.ghtml, acesso em fev. 2022.

VIANNA, M. A. As transformações no espaço rural no município de Seropédica-RJ nas últimas décadas. *Espaço e Economia, Revista Brasileira de Geografia Econômica*. Ano IX, n. 19, 2020.

WARTHA, E. J.; SILVA, E. L. e BEJARANO, N. R. R. Cotidiano e Contextualização no Ensino de Química. *Química Nova na Escola*, v. 35, n. 2, p. 84-91, 2013.

Abstract: *Pesticides as theme for Teaching Organic Chemistry: An Experience with the Case Study Method in Regular High School.* The teaching of chemistry has a fundamental role to broaden the horizons of the students so that they can interpret and intervene in an ethical and sustainable way in the reality around them. In this sense, classroom practices that make the student more critical and reflective are necessary. This work aimed to report an experience with the use of the case study method (EC) with the theme pesticides making more evident the relationship between chemistry and the environment, contributing to the potentially significant chemistry teaching. The results showed that students began to correctly conceptualize pesticides, reflected on their application and about sustainable alternatives to their use. This context was used to learn about organic compounds - structure and physicochemical properties. In addition, they were able to train argumentation skills, teamwork, problem solving and take a critical stand on the use of pesticides and alternatives such as organic foods and biopesticides.
Keywords: environmental contamination, organic chemistry, chemistry teaching.

A publicação deste artigo foi patrocinada pelo Conselho Federal de Química (CFQ)

Normas para Publicação

Preparação dos Manuscritos

Os trabalhos deverão ser digitados em página A4, espaço duplo, tipo Times Roman, margens 2,5, devendo ter no máximo o número de páginas especificado para a seção da revista à qual são submetidos. Na primeira página deverá conter o título do trabalho e um resumo do artigo com, no máximo, 1000 caracteres (espaços inclusos) e a indicação de três palavras-chave, seguidos de suas traduções para a linha inglesa, incluindo o título.

Não deve haver indicação dos autores no documento com o manuscrito e nenhum dado ou marcas em qualquer parte do texto que conduzam à sua identificação, durante a avaliação como, por exemplo: nome e filiação institucional; nomes de projetos e coordenadores de projetos (quando não são indispensáveis); referências e citações (utilizar "Autor1, ano", "Autor2, ano"... para manter o anonimato); local, título ou local de defesa de mestrado ou doutorado; agradecimentos etc. Os autores devem eliminar auto-referências. As informações dos autores devem estar descritas na carta de apresentação aos editores, e esta deverá conter o título do trabalho, o(s) nome(s) do(s) autor(es), sua(s) formação(ções) acadêmica(s), a instituição em que trabalha(m) e o endereço completo, incluindo o eletrônico. Verifique as propriedades do documento para retirar quaisquer informações.

As referências citadas devem ser relacionadas ao final do texto, segundo exemplos abaixo:

- Para livros referência completa (citação no texto entre parênteses):

AMBROGI, A.; LISBÔA, J. C. e VERSOLATO, E. F. *Unidades modulares de química*. São Paulo: Gráfica Editora Hamburg, 1987. - (Ambrogi *et al.*, 1987).

KOTZ, J. C. e TREICHEL Jr., P. *Química e reações químicas*, vol. 1 Trad. J. R. P. Bonapace. 4ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002. - (Kotz e Treichel Jr., 2002).

- Para periódicos referência completa (citação no texto entre parênteses):

TOMA, H. E. A nanotecnologia das moléculas. *Química Nova na Escola*, n. 21, p. 3-9, 2005. - (Toma, 2005).

ROSINI, F.; NASCENTES, C. C. E NÓBREGA, J. A. Experimentos didáticos envolvendo radiação microondas. *Química Nova*, v. 26, p. 1012-1015, 2004. - (Rosini *et al*., 2004).

- Para páginas internet referência completa (citação no texto entre parênteses):

http://qnesc.sbq.org.br, acessada em Março 2008. – (Revista Química Nova na Escola, 2008).

Para outros exemplos, consulte-se número recente da revista.

Os autores devem, sempre que possível, sugerir outras leituras ou acessos a informações e reflexões a respeito dos temas abordados no texto, para serem incluídos em "Para Saber Mais".

As legendas das figuras devem ser colocadas em página à parte, ao final, separadas das figuras. A seguir devem ser colocadas as figuras, os gráficos, as tabelas e os quadros. No texto, apenas deve ser indicado o ponto de inserção de cada um(a).

Os autores devem procurar seguir, no possível, as normas recomendadas pela IUPAC, inclusive o Sistema Internacional de Unidades.

Condições para Submissão dos Artigos

1) Os manuscritos submetidos não devem estar sendo analisados por outros periódicos.
2) Os autores são responsáveis pela veracidade das informações prestadas e responsáveis sobre o conteúdo dos artigos.
3) Os autores devem seguir as recomendações das Normas de Ética e Más Condutas constantes na página da revista http://qnesc.sbq.org.br/pagina.php?idPagina=17.
4) Os autores declaram que no caso de resultados de pesquisas relacionadas a seres humanos eles possuem parecer de aprovação de um Comitê de Ética em pesquisa.
5) No caso de envio de imagens, os autores devem enviar cópia do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido assinado pelo(s) sujeito(s) (ou seus responsáveis), autorizando o uso da imagem.
6) Os autores declaram a inexistência de conflito de interesses na submissão do manuscrito.
7) É responsabilidade dos autores garantirem que não haja elementos capazes de identificá-los em qualquer parte do texto.

Submissão dos Artigos

Química Nova na Escola oferece aos autores a submissão on line, que pode ser acessada por meio do registro de Login e Senha. É possível registrar-se em nossa página na internet (http://qnesc.sbq.org.br) usando a opção Novo Usuário. Usuários das plataformas do JBCS e QN já estão cadastrados na base, devendo utilizar o mesmo Login e Senha. Após estar cadastrado no sistema, o autor pode facilmente seguir as instruções fornecidas na tela. Será solicitada a submissão de um único arquivo do manuscrito completo, em formato PDF. Está disponível uma ferramenta para gerar o arquivo .pdf, a partir de arquivo .doc ou .rtf, com envio automático para o endereço eletrônico do autor. Tão logo seja completada a submissão, o sistema informará automaticamente, por correio eletrônico, o código temporário de referência do manuscrito, até que este seja verificado pela editoria. Então será enviada mensagem com o número de referência do trabalho.

Se a mensagem com código temporário de submissão não for recebida, por algum motivo, a submissão não foi completada e o autor terá prazo máximo de 5 (cinco) dias para completá-la. Depois desse prazo, o sistema não permite o envio, devendo ser feita nova submissão.

O autor poderá acompanhar, diretamente pelo sistema, a situação de seu manuscrito.

Ao fazer a submissão, solicita-se uma carta de apresentação, indicando a seção na qual o artigo se enquadra, que deverá ser digitada no local indicado, sendo obrigatória a apresentação dos endereços eletrônicos de todos os autores.

Manuscritos revisados

Manuscritos enviados aos autores para revisão devem retornar à Editoria dentro do prazo de 30 dias ou serão considerados como retirados. A editoria de Química Nova na Escola reserva-se o direito de efetuar, quando necessário, pequenas alterações nos manuscritos aceitos, de modo a adequá-los às normas da revista e da IUPAC, bem como tornar o estilo mais claro - respeitando, naturalmente, o conteúdo do trabalho. Sempre que possível, provas são enviadas aos autores, antes da publicação final do artigo.

Todos os textos submetidos são avaliados no processo de duplo-cego por ao menos dois assessores. Os Editores se reservam o direito de julgar e decidir sobre argumentos divergentes durante o processo editorial.

Seções / Linha Editorial

Química Nova na Escola (Impresso)

Serão considerados, para publicação na revista Química Nova na Escola (impresso), artigos originais (em Português) que focalizem a área de ensino de Química nos níveis fundamental, médio ou superior, bem como artigos de História da Química, de pesquisa em ensino e de atualização científica que possam contribuir para o aprimoramento do trabalho docente e para o aprofundamento das discussões da área.

Química Nova na Escola (On-line)

Serão considerados, para publicação na revista Química Nova na Escola (on-line), além dos artigos com o perfil da revista impressa, artigos inéditos (empíricos, de revisão ou teóricos) em Português, Espanhol ou Inglês que apresentem profundidade teórico-metodológica, gerem conhecimentos novos para a área e contribuições para o avanço da pesquisa em Ensino de Química. Estes artigos deverão atender aos critérios da seção "Cadernos de Pesquisa".

Os artigos são aceitos para publicação nas seguintes seções:

QUÍMICA E SOCIEDADE
Responsável: Roberto Ribeiro da Silva (UnB)
Aspectos importantes da interface química/sociedade, procurando analisar as maneiras como o conhecimento químico pode ser usado - bem como as limitações de seu uso - na solução de problemas sociais, visando a uma educação para a cidadania. Deve-se abordar os principais aspectos químicos relacionados à temática e evidenciar as principais dificuldades e alternativas para o seu ensino.
Limite de páginas: 20

EDUCAÇÃO EM QUÍMICA E MULTIMÍDIA
Responsável: Marcelo Giordan (USP)
Visa a aproximar o leitor das aplicações das tecnologias da informação e comunicação no contexto do ensino-aprendizado de Química, publicando resenhas de produtos e artigos/notas teóricos e técnicos. Deve-se explicitar contribuições para o processo de ensino-aprendizagem.
Limite de páginas: 15

ESPAÇO ABERTO
Responsável: Luciana Massi (Unesp)
Divulgação de temas que igualmente se situam dentro da área de interesse dos educadores em Química, de forma a incorporar a diversidade temática existente hoje na pesquisa e na prática pedagógica da área de ensino de Química, bem como desenvolver a interface com a pesquisa educacional mais geral. Deve-se explicitar contribuições para o processo de ensino-aprendizagem.
Limite de páginas: 20

CONCEITOS CIENTÍFICOS EM DESTAQUE
Responsável: José Luís de Paula Barros Silva (UFBA)
Discussão de conceitos básicos da Química, procurando evidenciar sua relação com a estrutura conceitual da Ciência, seu desenvolvimento histórico e/ou as principais dificuldades e alternativas para o ensino.
Limite de páginas: 20

HISTÓRIA DA QUÍMICA
Responsável: Paulo Porto (USP)
Esta seção contempla a História da Química como parte da História da Ciência, buscando ressaltar como o conhecimento científico é construído. Deve-se apresentar dados históricos, preferencialmente, de fontes primárias e explicitar o contexto sociocultural do processo de construção histórica.
Limite de páginas: 15

ATUALIDADES EM QUÍMICA
Responsável: Edvaldo Sabadini (Unicamp)
Procura apresentar assuntos que mostrem como a Química é uma ciência viva, seja com relação a novas descobertas, seja no que diz respeito à sempre necessária redefinição de conceitos. Deve-se explicitar contribuições para o ensino da Química.
Limite de páginas: 15

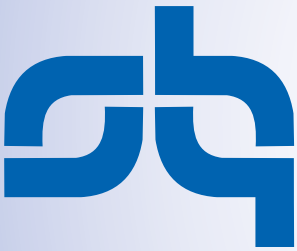
RELATOS DE SALA DE AULA
Responsável: Nyuara Araújo da Silva Mesquita (UFG)
Divulgação das experiências dos professores de Química, com o propósito de socializá-las junto à comunidade que faz educação por meio da Química, bem como refletir sobre elas. Deve-se explicitar contribuições da experiência vivenciada e indicadores dos resultados obtidos.
Limite de páginas: 20

ENSINO DE QUÍMICA EM FOCO
Responsável: Rafael Cava Mori (UFABC)
Investigações sobre problemas no ensino da Química, explicitando os fundamentos teóricos, o problema, as questões ou hipóteses de investigação e procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, bem como analisando criticamente seus resultados.
Limite de páginas: 25

O ALUNO EM FOCO
Responsável: Edênia Maria Ribeiro do Amaral (UFRPE)
Divulgação dos resultados das pesquisas sobre concepções de alunos e alunas, sugerindo formas de lidar com elas no processo ensino-aprendizagem, explicitando os fundamentos teóricos, o problema, as questões ou hipóteses de investigação e procedimentos metodológicos adotados na pesquisa, bem como analisando criticamente seus resultados.
Limite de páginas: 25

EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA
Responsável: Mara Elisa Fortes Braibante (UFSM)
Divulgação de experimentos que contribuam para o tratamento de conceitos químicos no Ensino Médio e Fundamental e que utilizem materiais de fácil aquisição, permitindo sua realização em qualquer das diversas condições das escolas brasileiras. Deve-se explicitar contribuições do experimento para a aprendizagem de conceitos químicos e apresentar recomendações de segurança e de redução na produção de resíduos, sempre que for recomendável.
Limite de páginas: 10

CADERNOS DE PESQUISA
Responsável: Ana Luiza de Quadros (UFMG)
Esta seção é um espaço dedicado exclusivamente para artigos inéditos (empíricos, de revisão ou teóricos) que apresentem profundidade teórico-metodológica, gerem conhecimentos novos para a área e contribuições para o avanço da pesquisa em Ensino de Química. Os artigos empíricos deverão conter revisão consistente de literatura nacional e internacional, explicitação clara e contextualização das questões de pesquisa, detalhamento e discussão dos procedimentos metodológicos, apresentação de resultados e com conclusões que explicitem contribuições, implicações e limitações para área de pesquisa em Ensino de Química. Os artigos de revisão deverão introduzir novidades em um campo de conhecimento específico de pesquisa em Ensino de Química, em um período de tempo não inferior a dez anos, abrangendo os principais periódicos nacionais e internacionais e apresentando profundidade na análise crítica da literatura, bem como rigor acadêmico nas argumentações desenvolvidas. Os artigos teóricos deverão envolver referenciais ainda não amplamente difundidos na área e trazer conclusões e implicações para a pesquisa e a prática educativa no campo do Ensino de Química, apresentando profundidade teórica, bem como rigor acadêmico nas argumentações desenvolvidas. Para esta seção, o resumo do artigo deverá conter de 1000 a 2000 caracteres (espaços inclusos), explicitando com clareza o objetivo do trabalho e informações sobre os tópicos requeridos para o tipo de artigo. Poderão ser indicadas até seis palavras-chaves.
Limite de páginas: 30 a 40.



PubliSBQ

Sociedade Brasileira de Química