

## 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.



► ambiente temático virtual, ensino da química verde, objetivos para o desenvolvimento sustentável ◀

Recebido em 13/10/2021, aceito em 29/03/2022

183

**A**contecimentos relacionados à crise ambiental, a exemplo de mudanças climáticas, poluição química e desmatamento em florestas brasileiras<sup>1</sup>, 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)<sup>2</sup> (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<sup>3</sup>

**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.**

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)<sup>4,5</sup>.

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

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 toxicidade 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<sup>6,7</sup>, 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).

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) resalta 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)<sup>8</sup> (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 emergência, 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<sup>9</sup> (Machado, 2014). Já na consideração dos perigos e riscos intrínsecos no uso das substâncias químicas são necessárias outras métricas, relacionadas à aferição da benignidade

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).



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).

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).

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.

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 a 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<sup>10</sup> – um programa por nós construído e disponibilizado no ATV-QV, que teve como referência em sua construção o Portal Educa<sup>11</sup>. 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<sup>12</sup> 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



Esse Ambiente Temático Virtual sobre Química Verde (ATV-QV) foi criado para possibilitar um melhor entendimento dos problemas ambientais, como os que derivam de processos e produtos químicos. Com ele apresentamos a chamada Química Verde (QV), oferecendo uma ferramenta para auxiliar na construção de simulações de sínteses químicas, para você escolher rotas mais seguras e/ou ambientalmente mais limpas.

Toda prática química contém algum risco, ao ser humano e ao ambiente em seus processos e vários de seus produtos. E a QV, um campo de investigação e de aplicação científico-técnica busca oferecer alternativas mais seguras e cuidados com o ambiente. A QV se fundamenta em 12 princípios (Anastas e Warner, 1998).

O ATV-QV e suas ferramentas são uma oportunidade para que você (professor, aluno e público em geral) realize as simulações sugeridas, testando substâncias, condições de reação mais ou menos verdes e qual é a (ambientalmente) melhor rota de síntese. O resultado de suas escolhas, nas condições de síntese, produzirá uma representação gráfica denominada Estrela Verde, cujo preenchimento e cores indicará o grau de "verdade química".

Nesse ATV você encontrará informações úteis, roteiros de sínteses e de um tutorial inicial que ajudará você entender os procedimentos e os resultados obtidos.

Desde já, obrigado por visitar o Quimidex e faça bom uso do ATV-QV!



Figura 1: Representação da interface inicial do ATV-QV.

## Construindo a Estrela Verde

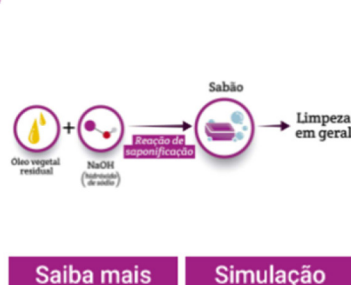
### 1 Como fazer aroma de banana?



### 2 Como fazer biodiesel?



### 3 Como fazer sabão?



### 4 Como fazer ácido adípico (nylon)?



Figura 2: Representação da interface onde são apresentados os temas para investigação e construção das EVs de sínteses químicas.

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



## 1 Como fazer aroma de banana?

Na maior parte das vezes, o aroma encontrado em alimentos industrializados é devido a substâncias sintéticas. O acetato de isoamila, por exemplo, é o aroma artificial de banana. Atualmente, a esterificação de Fischer é um dos principais métodos utilizados na produção de aromas. O problema é que nas reações de esterificação de Fischer é necessário o uso de um catalisador inorgânico tóxico para a saúde e meio ambiente. Vamos investigar, através da síntese do aroma de banana, o uso desse catalisador na reação de esterificação de Fischer?

Saiba mais

Simulação

## 2 Como fazer biodiesel?



Saiba mais

Simulação

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.

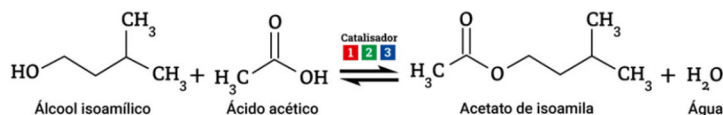
Os botões referentes ao Ácido sulfúrico (1), Resina Amberlyst 35 (2) e Argila montmorilonita (3), contidos na Figura 4, referem-se, cada qual, a um parâmetro em análise dessa síntese. Ao clicar num dos botões, o visitante é direcionado para a página de construção da EV gerando diferentes estrelas para 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<sup>3</sup> de biodiesel produzidos, são gerados cerca de 10 m<sup>3</sup> 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 verduza 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<sub>2</sub>O) 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<sub>2</sub>O 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”.



1 Ácido sulfúrico

2 Resina Amberlyst 35

3 Argila montmorilonita

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.



**Clique aqui  
para construir a  
*Estrela Verde***

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.

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 químicas 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<sup>13</sup>, 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.



<sup>1</sup>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<sup>2</sup>. 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<sup>2</sup>).

<sup>2</sup>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).

<sup>3</sup>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”.

<sup>4</sup>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.

<sup>5</sup>TV UFMG. Conheça os 17 objetivos de desenvolvimento sustentável. 2019. Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=\\_3ejiX6AvLY](https://www.youtube.com/watch?v=_3ejiX6AvLY). Acesso em 10 de março de 2022.

<sup>6</sup>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).

<sup>7</sup>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).

<sup>8</sup>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).

<sup>9</sup>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).

<sup>10</sup>Neste caso, refere-se ao termo simulador.

<sup>11</sup>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.

<sup>12</sup>Refere-se às simulações das reações de sínteses que constituirão a EV.

<sup>13</sup>“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 quinquênio (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+2020>, 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 veracidade 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 veracidade de reações 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](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)