

Energia, Sociedade e Meio Ambiente no Desenvolvimento de um Biodigestor: a Interdisciplinaridade e a Tecnologia Arduino para Atividades Investigativas

Haroldo G. Oliveira, Ricardo Antonello, Antônio J. Fidélis e Bruno J. D. Rinaldi

A abordagem ambiental e socioeconômica da produção de biogás foi realizada em sala de aula e permitiu aos alunos de Ensino Médio Técnico uma reflexão sobre a potencial geração de energia das propriedades rurais locais. Os alunos construíram um biodigestor de baixo custo e avaliaram sua eficiência na produção de biogás utilizando o microcontrolador Arduino UNO. Os resultados das etapas de discussão em sala de aula e no laboratório foram apresentados em feiras de ciências do Campus e posteriormente no *blog* criado pelos alunos. A contextualização através do tema biogás e a avaliação da eficiência do biodigestor utilizando uma ferramenta de controle e automação criou uma maior motivação para a aprendizagem, em sala de aula, de tecnologias que envolvem energia renovável e sua relação com a sociedade e meio ambiente.

► biogás, controle e automação, arranjos produtivos locais ◀

Recebido em 16/11/2017, aceito em 30/04/2018

A busca por fontes alternativas de energia tem sido uma preocupação constante, devido ao aumento do consumo e da dependência mundial das fontes de energia não renováveis (CGEE, 2010). No Brasil este cenário não é muito diferente. Há cerca de cinco anos, em 2013, a escassez de chuvas em praticamente todas as regiões do Brasil provocou uma crise de abastecimento de água. Este efeito não foi único. A falta de chuvas resultou em baixa produção de energia elétrica proveniente das hidrelétricas. Consequentemente, a tarifa de energia elétrica aumentou em função da energia distribuída naquele momento ser proveniente de fontes térmicas (queima de carvão fóssil). Tal fato ganhou atenção da sociedade em geral sobre os problemas das fontes energéticas de que dispomos atualmente. Particularmente no Brasil, existe uma forte dependência da energia proveniente de hidrelétricas, as quais

A busca por fontes alternativas de energia tem sido uma preocupação constante, devido ao aumento do consumo e da dependência mundial das fontes de energia não renováveis (CGEE, 2010). No Brasil este cenário não é muito diferente. Há cerca de cinco anos, em 2013, a escassez de chuvas em praticamente todas as regiões do Brasil provocou uma crise de abastecimento de água. Este efeito não foi único. A falta de chuvas resultou em baixa produção de energia elétrica proveniente das hidrelétricas. Consequentemente, a tarifa de energia elétrica aumentou em função da energia distribuída naquele momento ser proveniente de fontes térmicas (queima de carvão fóssil). Tal fato ganhou atenção da sociedade em geral sobre os problemas das fontes energéticas de que dispomos atualmente.

são influenciadas por regimes pluviais sazonais (Rosa, 2009). Assim, a queima de combustíveis fósseis foi uma opção encontrada para suprir a eventual falta de energia proveniente de hidrelétricas. Como resultado, dióxido de carbono (CO_2) é liberado no ambiente, o que, nas últimas décadas, tem sido associado ao aquecimento global. Curiosamente, cerca de dois anos após a estiagem prolongada de 2013, a hidrelétrica binacional Itaipu apresentou um modelo de produção de biogás a partir de fezes de galinhas provenientes de propriedades rurais do oeste paranaense (<https://veja.abril.com.br/economia/titica-de-galinha-coloca-37-carros-para-rodar-no-brasil/>). O biogás é produzido pela biodigestão anaeróbia – sem a presença de oxigênio – de resíduos orgânicos presentes no lixo ou esterco de animais. Este gás, também chamado de biometano, foi utilizado em veículos para locomoção de funcionários

dentro da usina. Assim como o exemplo do oeste do Paraná, o oeste de Santa Catarina é uma região estratégica para a produção de biogás, pois possui muitas propriedades rurais com criação de suínos, sendo, portanto, bastante promissora na produção de bioenergia através da utilização de esterco desses animais. A região localizada nas proximidades da cidade de Concórdia, SC, por exemplo, responde por aproximadamente 64% da produção de carne suína no Brasil (Fongaro *et al.*, 2014). A matéria prima assim seria de fácil obtenção, os subprodutos gerados poderiam ser utilizados como biofertilizantes e ainda poderiam promover a redução de gases de efeito estufa (Avaci *et al.*, 2013). Além disso, existe a possibilidade de criação de fontes energéticas descentralizadas e em pequena escala. Nesse sentido, a produção de energia sustentável poderia contribuir para a consolidação de um Arranjo Produtivo Local (APL) por meio de Empreendimentos Econômicos e Solidários conduzidos em Incubadoras Tecnológicas ou Cooperativas Agroindustriais locais e regionais (Erber, 2008).

A repercussão deste tipo de energia renovável foi amplamente comentada em sala de aula pelos alunos que realizaram o Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) em novembro de 2016 (BRASIL, 2016). Isto foi um resultado da Questão 63 do Caderno 4 – Rosa, correspondente a Ciências da Natureza e suas Tecnologias, a qual envolvia o aproveitamento de fezes de animais (Projeto *Park Spark*, desenvolvido em Cambridge, MA [EUA]). Cachorros, gatos e animais domésticos, de modo geral, defecavam em praças e locais públicos quando passeavam com seus donos. Na questão, as fezes seriam recolhidas em recipientes apropriados (sacolas plásticas biodegradáveis) e introduzidas em biodigestores instalados no subsolo. A fermentação anaeróbica das fezes produziria biogás que seria utilizado como combustível para iluminação pública de praças e locais de caminhada.

Questões energéticas e socioeconômicas, tanto regionais quanto mundiais, relacionadas à produção de biogás motivaram os alunos do Ensino Médio Integrado em Técnico em Automação Industrial e Técnico em Segurança do Trabalho a desenvolver um protótipo de um biodigestor. Os alunos apresentaram seus conhecimentos prévios sobre o tema, ou seja, o processo de biodigestão como um fenômeno mais familiar de seu cotidiano, e relacionaram com conceitos mais gerais sobre energia, apresentados pelos livros de Ensino Médio de Química, Física e Biologia. Duas alunas, que se disponibilizaram a confeccionar um biodigestor para atividades experimentais, sugeriram utilizar o microcontrolador Arduino UNO (uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto em *hardware* e *software*) e sensores de gás

metano (CH₄) como ferramentas para avaliar a eficiência do protótipo na geração de biogás. Os resultados obtidos foram discutidos entre os alunos através de *blogs* e divulgados em feiras de ciências do Campus. A ferramenta de Tecnologia da Informação *blog*, editada pelos próprios alunos do Ensino Médio Integrado, foi útil para promover a aprendizagem interdisciplinar envolvendo o projeto de produção de biogás.

Conhecimentos Prévios e Expectativas de Aprendizagem

Atualmente, a divisão das áreas de conhecimento em componentes curriculares frequentemente resulta em um não discernimento das similaridades entre os conceitos de energia estudados nas disciplinas de Química, Física e Biologia. Nesse sentido, o tema bioenergia, indiretamente presente no cotidiano de vários alunos, mostrou-se bastante promissor na compreensão conceitual da energia, além de contribuir para o desenvolvimento mais significativo de atitudes sociais e ambientalmente responsáveis.

Os alunos demonstraram conhecimentos prévios a respeito das alternativas de geração de energia, por exemplo, em termelétricas, carvoarias, usinas nucleares e usinas eólicas. Conceitos sobre reações exotérmicas e endotérmicas e associações com a sensação térmica por meio da queima de gás propano/butano e da evaporação de álcool sobre a pele foram comentadas pelos alunos. Os processos de transferência de energia (radiação, condução térmica e convecção) (Garcia *et al.*, 2017) foram

Atualmente, a divisão das áreas de conhecimento em componentes curriculares frequentemente resulta em um não discernimento das similaridades entre os conceitos de energia estudados nas disciplinas de Química, Física e Biologia. Nesse sentido, o tema bioenergia, indiretamente presente no cotidiano de vários alunos, mostrou-se bastante promissor na compreensão conceitual da energia, além de contribuir para o desenvolvimento mais significativo de atitudes sociais e ambientalmente responsáveis.

apresentados pelos alunos para enriquecer a discussão. A transferência de energia pode ocorrer pelos processos de condução térmica (energia propagada em um meio material sólido, transmitida partícula por partícula através de movimento de vibração e condução de elétrons livres em materiais condutores, sem que ocorra transporte de matéria), de convecção (transporte de energia e matéria através da movimentação de diferentes partes de um material fluido [gases e líquidos] devido à diferença de densidade que surge mediante seu aquecimento ou resfriamento) e de radiação (transmissão de energia por meio de ondas eletromagnéticas, sem necessidade de um meio material). O sinal positivo ou negativo da variação da entalpia (transferência de calor, energia térmica em trânsito, a pressão constante) (Silva, 2005), que descreve se o calor está “entrando” ou “saindo” de um sistema em relação a suas vizinhanças, também foi questionado. Conforme a definição adotada, a variação da entalpia apresenta valor negativo quando o calor é transferido do sistema para as vizinhanças (processo exotérmico). Se o sistema absorve calor das vizinhanças (processo endotérmico), o valor da variação da entalpia é positivo. Os alunos

também relacionaram a ruptura da ligação química com a liberação de energia na forma de calor, conforme discutido em aulas de Biologia. Nessa disciplina, o rompimento das ligações químicas presentes em moléculas como as de ATP resultam em um aumento da energia do sistema na forma de calor, gerando uma concepção alternativa entre os alunos. As discussões sobre energia resultaram na recordação, por parte dos alunos, da Questão do ENEM relacionada aos biodigestores. Sob esta perspectiva, vários alunos relataram a facilidade de obtenção da matéria prima para os biodigestores como uma vantagem considerável de geração de energia, devido à grande produção de carne suína na região. Outros aspectos, como a reutilização dos resíduos orgânicos como biofertilizantes e a redução de emissões de gás estufa também foram levantados. Muitos alunos desenvolveram competências de produzir e avaliar argumentos e habilidades de reflexão acerca do tema. O objetivo foi alcançado em um encontro de duas aulas. Considerou-se o desenvolvimento do processo de aprendizagem sob uma perspectiva mais abrangente, o da energia das reações químicas, que incluíram aspectos conceituais, a relação entre a energia e estrutura das moléculas, e questões socioeconômicas e ambientais associadas à geração e uso de energias renováveis, e como estas estão sendo implementadas no Brasil e, particularmente, no Estado de Santa Catarina.

A literatura inclui muitos trabalhos que apresentam, de forma interdisciplinar, a importância cultural, social, política e tecnológica do conceito de energia (Boff e Pansera-de-Araújo, 2011; Souza e Martins, 2011; Gomes e Dewes, 2017; Menegazzo e Krelling, 2016; Silva *et al.*, 2015; Castro e Ferreira, 2015). Ao mesmo tempo, parte desses trabalhos relatam as argumentações e concepções prévias dos estudantes em relação ao tema energia, suas posteriores reflexões, atividades experimentais e comprovações práticas e, finalmente, a exposição dos resultados obtidos para os alunos, professores e o público de forma geral. Os pesquisadores Boff e Pansera-de-Araújo (2011) investigaram, em seu trabalho, a produção e o consumo de alimentos e sua relação com a energia, utilizando conceitos estudados em Física, Química e Biologia. O estudo apresentou as concepções prévias dos alunos sobre o conceito de energia, de forma interativa e interdisciplinar, proporcionando reflexões sobre questões sociais e culturais. Sob uma perspectiva similar, Gomes e Dewes (2017) descreveram o desenvolvimento da

pesquisa científica no campo dos biocombustíveis, como fonte sustentável de energia, buscando referências sobre suas raízes científicas e relevância social. Castro e Ferreira (2015) examinaram as concepções prévias sobre o conceito de calor através da técnica de evocação livre de palavras, realizada com alunos do Curso de Graduação em Química, e seus resultados foram analisados por meio do programa EVOC, um *software* que avalia dados de representação social. Um misto entre os conceitos prévios dos alunos, reflexões em sala de aula e uma experimentação problematizadora foi desenvolvido por Silva *et al.* (2015), utilizando o tema compostagem, e por Souza e Martins (2011), com os biodigestores. Nos dois trabalhos, os autores descrevem a participação dos alunos no levantamento bibliográfico sobre o tema, a escolha da metodologia, o desenvolvimento experimental com a colaboração de professores e técnicos, discussões preliminares e apresentação final dos resultados por meio de seminário, produção de artigo e comunicação em feiras científicas.

O Processo de Biodigestão

A fermentação que ocorre em um biodigestor consiste em uma reação química utilizando a matéria orgânica e microrganismos sem a presença de oxigênio (digestão anaeróbica), com liberação de energia (processo exotérmico). O processo de biodigestão envolve diversas etapas de decomposição do material orgânico, como a hidrólise seguida da fermentação ácida e, finalmente, a formação de gases como CH₄, H₂ (hidrogênio), H₂S (sulfeto de hidrogênio), CO (monóxido de carbono), CO₂, SO₂ (dióxido de enxofre), N₂ (nitrogênio) e H₂O (água) (Souza e Martins, 2011). Especificamente, a formação de biogás a partir de resíduos depende dos microrganismos presentes na matéria orgânica, classificados em seus diferentes domínios *Bacteria* e *Arquea* (os microrganismos *Arquea* representam um domínio pertencente ao Reino Procarionte). A digestão anaeróbia é promovida por colônias de microrganismos pertencentes a um desses dois domínios, que obtêm uma fermentação auto-regulada através de assimilação, transformação e decomposição de matéria orgânica residual em biogás. A Tabela 1 apresenta alguns exemplos de microrganismos presentes no processo de biodigestão (Olvera e Lopez-Lopez, 2012; Ros *et al.*, 2017).

Tabela 1: Classificação das bactérias promotoras da biodigestão anaeróbica

Grupo	Bactérias	Descrição
Fermentativas	<i>Bacteroides</i> , <i>Clostridium</i> , <i>Butyrivibrio</i> , <i>Eubacterium</i> , <i>Bifidobacterium</i> e <i>Lactobacillus</i>	Primeira etapa dos processos anaeróbios (hidrólise de biopolímeros)
Acetogênicas	<i>Syntrophobacter wolinii</i> , <i>Sytrrophomonos wolfei</i> , <i>Clostridium formicoaceticum</i>	Produção de H ₂ e acetato
Homoacetogênicas	<i>Acetobacterium woodii</i> e <i>Clostridium aceticum</i>	Produção de etanol
Metanogênicas	<i>Clostridia</i> , <i>Methanobacterium</i> , <i>Methanospirillum</i> , <i>Methanosarcina sp</i>	Produção de CH ₄

De modo geral, o processo de digestão ocorre em três etapas: (a) a hidrólise do material orgânico a polissacarídeos, aminoácidos e glicerol; (b) fermentação ácida, obtendo-se ácidos de baixa massa molecular; (c) geração de gases. A produção de gás é dependente principalmente da temperatura e do pH do meio reacional. As faixas de temperatura de crescimento biológico são classificadas em psicrófila (< 20 °C), mesófila (20-40 °C) e termófila (> 45 °C) (Cremones *et al.*, 2013). A taxa de reações em sistemas biológicos é maior em temperaturas mais altas, mas um máximo de produção de biogás com elevado teor de CH₄ deve ser produzido na região mesófila. O pH ótimo para a biodigestão anaeróbia encontra-se no intervalo de 6,8 a 7,5. Meios ácidos reduzem a atividade enzimática, e meios alcalinos favorecem a produção de gases SO₂ e H₂. O poder calorífico, ou seja, a quantidade de energia liberada na combustão por massa de biogás, está diretamente relacionada ao teor de CH₄ presente na mistura gasosa. Por outro lado, gases como o H₂S, produzidos em menor quantidade, são indesejáveis, pois apresentam capacidade de corrosão dependendo do material do recipiente onde está armazenado (Cremones *et al.*, 2013). O gás CH₄ produzido pode ser aproveitado, por meio de tecnologias apropriadas, em microturbinas a gás e em motores de combustão interna de ciclo Otto (Pereira, 2005).

Adaptação do Microcontrolador Arduino UNO para Medidas em Laboratório

Muitos laboratórios de pesquisa utilizam diferentes tipos de equipamentos e *softwares* para avaliação e controle dos experimentos. Entretanto, plataformas eletrônicas apresentam frequentemente custos elevados para serem incluídas nos projetos relacionados à Educação em Química. *Hardwares* externos dedicados, por exemplo, são em geral muito dispendiosos, e requerem *softwares* adicionais para o controle de diversos dispositivos. Uma alternativa para uso escolar é a plataforma de código aberto em *hardware* e *software* Arduino.

A plataforma Arduino foi criada em 2005 no *Interaction Design Institute Ivrea* (Itália) como um sistema que permitia aos estudantes o desenvolvimento de programas interativos (Faugel e Bobkov, 2013). A plataforma é formada por uma placa de circuitos de entrada/saída do microcontrolador Arduino UNO, que possui um microprocessador ATmega328, memória e uma variedade de interfaces (D'Ausilio, 2012). O *bootloader* já vem gravado no microcontrolador e apresenta um ambiente de desenvolvimento com programação realizada em linguagem C/C++. O código é carregado para o Arduino através da interface USB (Cavalcante *et al.*, 2011).

Muitos laboratórios de pesquisa utilizam diferentes tipos de equipamentos e *softwares* para avaliação e controle dos experimentos. Entretanto, plataformas eletrônicas apresentam frequentemente custos elevados para serem incluídas nos projetos relacionados à Educação em Química. *Hardwares* externos dedicados, por exemplo, são em geral muito dispendiosos, e requerem *softwares* adicionais para o controle de diversos dispositivos. Uma alternativa para uso escolar é a plataforma de código aberto em *hardware* e *software* Arduino.

A plataforma Arduino permite aos estudantes, em diferentes fases de cursos que envolvam a automação instrumental, uma aprendizagem com ênfase em *hardware* e programação. O desenvolvimento de projetos utilizando o microcontrolador promove maior compreensão de aspectos de programação orientada a objetos e, ao mesmo tempo, conhecimentos sobre o *hardware*. Dessa forma, os estudantes podem direcionar o foco do aprendizado sobre o desenvolvimento e programação de dispositivos eletrônicos e equipamentos para que trabalhem em dadas especificações, por exemplo, para detecção do biogás gerado em um biodigestor. Outras aplicações têm sido relatadas, como dispositivo de auxílio na construção de colorímetros, pHmetros, titulador automático, amplificador de termopares e controle genérico de dispositivos de introdução de amostras (FIA, *Flow Injection Analysis*) (Kubinova e Slégr, 2015).

Metodologia

A avaliação de conhecimentos prévios dos alunos foi realizada com as turmas da 2ª série do Ensino Médio Integrado em Automação Industrial e Segurança do Trabalho. Essas turmas foram escolhidas de acordo com o conteúdo curricular da Instituição, visando uma integração das disciplinas de Física (Termologia), Química (Termodinâmica), Biologia (Metabolismo Energético) e Geografia (Recursos Naturais e Fontes de Energia) utilizando o tema bioenergia. A participação de muitos alunos no ENEM 2016 reforçou a motivação para discutir o tema proposto. As pré-concepções em relação ao conceito de energia foram verificadas e registradas através da exposição dos conhecimentos dos alunos, adquiridos em sala de aula ou em seu cotidiano. Definidos os conhecimentos prévios dos alunos acerca do tema proposto, no momento posterior foram realizadas as atividades experimentais.

Foi proposta a criação de um protótipo de biodigestor,

com a finalidade de associar uma atividade prática com a contextualização e os conceitos abordados em sala de aula. Duas alunas do Ensino Médio Integrado, uma do Técnico em Automação Industrial e uma do Técnico em Segurança do Trabalho, concordaram em realizar a etapa experimental. A construção de um biodigestor está fundamentada em projeto de reatores. Reatores, de forma geral, não são objetos de estudo no Ensino Médio devido a sua complexidade estrutural associada aos diferentes processos industriais.

Visando as finalidades propostas, foram construídos três biodigestores utilizando materiais de baixo custo, com as seguintes configurações:

- (1) Biodigestor 1: foi construído com uma garrafa de plástico PET (polietileno tereftalato) de 5 L, contendo como matéria orgânica cerca de 300 g de cascas de banana. O processo de biodigestão foi realizado a temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C);
- (2) Biodigestor 2: foi construído utilizando quatro garrafas PET, nas quais foram adicionados cerca de 1100 g de matéria orgânica (esterco bovino). Com o objetivo de aumentar a eficiência na produção de biogás, os biodigestores foram envolvidos em sacos plásticos pretos e deixados sob radiação solar direta (latitude 27°07'58''S e longitude 51°28'02''W), em dias ensolarados (novembro de 2016), porém sem controle de temperatura. O efeito de controle da temperatura também foi avaliado utilizando os biodigestores imersos em banho termostatzado (CIENTEC, Banho Maria CT-226) a 37 °C.
- (3) Biodigestor 3: foi construído utilizando um galão de água de polycarbonato, com capacidade de 20 L. Os alunos preencheram cerca de $\frac{3}{4}$ do volume (aproximadamente 15 kg) do biodigestor com esterco suíno. Na configuração do Biodigestor 3, foi utilizado um sensor de temperatura DS18B20 e sensores de gás metano MQ-4 conectados ao biodigestor e ao reservatório, respectivamente. O reservatório é um recipiente de vidro comum de 2,5 L com tampa de plástico, contendo cerca de 200 g de óxido de cálcio (CaO, também conhecido como cal virgem ou cal viva) e 2 L de água. Os sensores foram conectados com placa Arduino UNO e um microcomputador através da interface serial (leitura de dados via terminal). A escrita no terminal foi realizada no intervalo de 10 min para permitir a leitura dos dados pelos alunos. Uma configuração geral (gravação em disco e monitor serial da leitura de sensores/detectores) pode ser obtida na página sobre o microcontrolador Arduino (<http://playground.arduino.cc/Main/MQGasSensors>). Os biodigestores foram conectados ao reservatório utilizando mangueiras de silicone. Finalmente, as conexões foram seladas com silicone para vedação, com o objetivo de evitar a perda de biogás (Figura 1).

Resultados Experimentais

Os biodigestores foram construídos com materiais de baixo custo como garrafas de PET ou galão de água de polycarbonato, visando evitar que o H_2S , que é um gás corrosivo, por exemplo, para metais, reagisse com as paredes internas do biodigestor. Devido à baixa eficiência na geração



Figura 1: Digestor anaeróbico (Biodigestor 3). (a) Compartimento reservatório de gás CH_4 contendo a mistura água + CaO e (b) sensores de gás metano MQ-4.

Os biodigestores foram construídos com materiais de baixo custo como garrafas de PET ou galão de água de polycarbonato, visando evitar que o H_2S , que é um gás corrosivo, por exemplo, para metais, reagisse com as paredes internas do biodigestor. Devido à baixa eficiência na geração de biogás a partir de cascas de banana (configuração do Biodigestor 1), foram realizadas adaptações na metodologia inicialmente prevista, o que permitiu uma reavaliação do processo de bioconversão de matéria orgânica em gases. Na configuração do Biodigestor 2 foi utilizado esterco bovino; porém, também não foi possível observar a geração do biogás.

de biogás a partir de cascas de banana (configuração do Biodigestor 1), foram realizadas adaptações na metodologia inicialmente prevista, o que permitiu uma reavaliação do processo de bioconversão de matéria orgânica em gases. Na configuração do Biodigestor 2 foi utilizado esterco bovino; porém, também não foi possível observar a geração do biogás. Para contornar o problema da formação de biogás no

Biodigestor 2, foi investigada a influência da temperatura nas reações químicas. Os reatores foram então envolvidos com sacos plásticos pretos e expostos à radiação solar durante o dia. Com esta configuração, após dois dias, foram observadas as primeiras bolhas de gases. A eficiência da geração de biogás também foi investigada com controle de temperatura, acondicionando os biodigestores em banho termostatzado a 37 °C. O controle da temperatura do biodigestor permitiu, após cerca de uma semana de fermentação anaeróbica, a formação contínua de bolhas de biogás. Após esse período, foi observada a formação de biogás a uma taxa de aproxima-

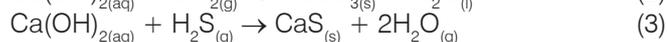
madamente uma bolha a cada 5 min. Assim, a produção de biogás só foi alcançada após a mudança do substrato de casca de banana para esterco bovino, com o aumento e o controle da temperatura do sistema a aproximadamente 37 °C.

A avaliação da eficiência do Biodigestor 3 foi realizada utilizando esterco suíno considerando sua maior capacidade de liberação de biogás comparada ao esterco bovino (Cu *et al.*, 2015). Para esta nova adaptação do sistema de biodigestão, os alunos sugeriram instalar um sensor de temperatura no biodigestor e um sensor de gás CH_4 no reservatório, conectados ao microcontrolador Arduino UNO interfaceado com um microcomputador. Essa etapa foi auxiliada por um

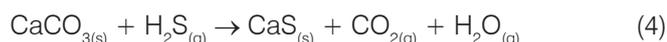
professor da disciplina de Informática da Instituição. Além disso, é preciso ressaltar aqui a vantagem de desenvolver este projeto com alunos do Ensino Médio Integrado em Automação Industrial, pois, especificamente para esta turma, existe um aproveitamento de conteúdos relacionados à instalação dos dispositivos eletrônicos e programação de microcomputadores. Na saída do Biodigestor 3 foi instalada uma válvula de controle de gás, o qual, após gerado, era direcionado ao reservatório através de uma mangueira mergulhada na mistura água + CaO (Figura 1). É importante lembrar que o CaO em contato com a água gera Ca(OH)_2 , como segue:



Esta é uma reação exotérmica, e deve ser preparada pelo professor responsável ou o técnico do laboratório. O procedimento adotado teve como objetivo aumentar a quantidade relativa de CH_4 em relação aos gases não combustíveis e evitar a corrosão dos dispositivos detectores de CH_4 provocada pela presença de H_2S (sulfeto de hidrogênio) produzido no biodigestor. Os gases CO_2 e H_2S gerados no biodigestor foram borbulhados na mistura água + CaO, resultando na formação de um precipitado insolúvel de CaCO_3 (carbonato de cálcio) (Souza e Martins, 2011) e CaS (sulfeto de cálcio), como representado a seguir:



O H_2S gerado também pode reagir com o CaCO_3 no reservatório, como representado pela equação química:



Os resultados obtidos utilizando o sensor de temperatura instalado no Biodigestor 3 e o detector de CH_4 no reservatório

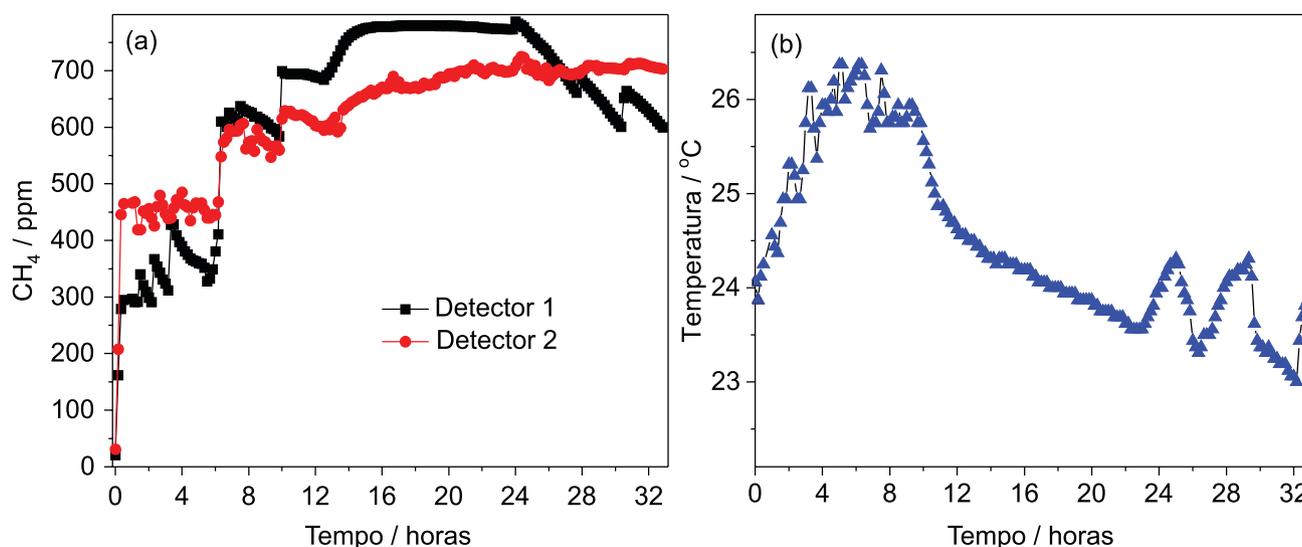


Figura 2: (a) Produção de biogás CH_4 e (b) a variação da temperatura durante 33 h de reação de fermentação anaeróbica de esterco suíno.

permitiram avaliar a geração do biogás resultante da fermentação biológica do esterco suíno durante 33 h (Figura 2).

No tempo inicial, observou-se aproximadamente 21 e 31 ppm de gás CH_4 produzido, o que foi avaliado pelos sensores, detector 1 e detector 2, respectivamente. Durante as primeiras 12 h (com início às 8 h 00 da manhã), os sensores MQ-4 indicaram que a concentração de biogás aumentou dentro do digestor anaeróbico, para valores ao redor de 700 e 800 ppm, respectivamente, sugerindo a ocorrência da fermentação anaeróbica do esterco de suíno (Figura 2a). A variação da temperatura correlacionada à produção de biogás foi avaliada durante o processo de fermentação anaeróbica. Foi observado um aumento da temperatura concomitante à produção de gás nas primeiras 8 h, de 24 para 26,5 $^{\circ}\text{C}$ (Figura 2b). Conforme observado na Figura 2b, a variação da temperatura dentro do biodigestor, promovida pelo processo de biodigestão durante as 33 h de análise, foi relativamente baixa e, particularmente neste caso, existe a possibilidade de apresentar pequena influência na geração de gás CH_4 .

A eficiência do biodigestor caseiro na produção de biogás foi avaliada por sensores, o que inicialmente seria testado pela queima direta dos produtos gasosos combustíveis. Durante o período de avaliação da eficiência dos biodigestores em produzir gás CH_4 foram realizados encontros para discussão dos resultados obtidos, modificações pertinentes para melhora da eficiência do processo de biodigestão e posteriormente a divulgação entre os alunos dos Ensinos Médios Integrados e em Feiras de Ciências.

Perspectivas do Processo de Biodigestão pelos Alunos do Ensino Médio

Ao vivenciarem as atividades de laboratório, as estudantes participantes da etapa experimental tiveram a oportunidade de compreender a importância da experimentação nas atividades científicas e tecnológicas. As alunas contribuíram para o planejamento experimental, a execução dos

experimentos, realizaram a coleta de dados, observaram os fenômenos, interpretaram as observações e, em determinados momentos, propuseram explicações para os fenômenos. Relacionaram as leis e teorias apresentadas nos livros didáticos e questionaram a respeito de como elas poderiam ser exploradas no sentido de permitirem previsões e verificação experimental de suas consequências, certamente em nível adequado de abstração para o Ensino Médio (Silva *et al.*, 2015; Souza e Martins, 2011). De forma mais sucinta, as duas estudantes participantes da etapa experimental relataram suas investigações. Segue o relato da estudante do Ensino Médio Integrado em Segurança do Trabalho: “Me deparei com algo totalmente novo, pois não tinha consciência da grande aplicação dos biodigestores. É muito interessante utilizar um resíduo que teoricamente não serviria pra mais nada e, com isto, transformar em energia”. O relato da estudante de Ensino Médio Integrado em Automação Industrial: “Observamos os acontecimentos em relação à degradação do meio ambiente, portanto, precisamos de novas ideias. A energia renovável é uma alternativa promissora. Durante o trabalho percebemos que, nos centros urbanos, a produção de biogás é praticamente inviável pela indisponibilidade da matéria-prima que utilizamos no processo. Enquanto isso, na região em que vivemos, é uma boa alternativa, de acordo com vários outros projetos que analisamos e que estão sendo implantados e utilizados na região”.

O meio de comunicação das atividades, utilizado inicialmente, foi a apresentação dos resultados do projeto para os colegas de turma do Ensino Médio Integrado em Automação Industrial e em Segurança do Trabalho, em um encontro nas aulas de Química. Foram feitos questionamentos diversos, desde a montagem do biodigestor até a quantidade de energia que poderia ser obtida e posteriormente utilizada, por exemplo, para as propriedades rurais locais. A interação entre os conteúdos foi bastante pertinente, por exemplo, quando um aluno sugeriu que a energia fosse utilizada para aquecimento de uma instalação de criação de frangos e galinhas, de modo a auxiliar o agronegócio da região. Este momento foi propício para os alunos refletirem sobre a possibilidade de criação de Empreendimentos Econômicos Solidários como forma de fortalecer os Arranjos Produtivos Locais visando às demandas, interesses e necessidades da comunidade local e regional, bem como avaliarem as dificuldades de implementar e investir em atividades econômicas, sociais e ambientais mediante propostas governamentais (Erber, 2008).

Outro momento de divulgação dos resultados foi promovido durante o Congresso Interno de Iniciação Científica realizado pela Instituição. Os alunos tiveram a oportunidade de expor resultados para os professores de outros Campi, alunos e comunidade externa. Os questionamentos eram similares, porém, em alguns casos foram realizadas sugestões de avaliação de parâmetros como pressão interna do biodigestor, pH, gás hidrogênio gerado, a potencial utilização dos resíduos da fermentação anaeróbica como adubo e como o microcontrolador Arduino poderia ser utilizado em outros experimentos laboratoriais. Visando

orientar uma discussão sobre a confecção do biodigestor, seu papel nas atividades sociais e econômicas da região e as expectativas relacionadas à sua divulgação na feira de ciência da Instituição, foi sugerida pelos alunos a utilização de uma Tecnologia da Informação e Comunicação, o *blog*. Muitos alunos concordaram com a utilização dos *blogs* devido à facilidade de aplicação de conhecimentos básicos de informática. Além disso, a avaliação da ferramenta como um veículo de discussões sobre o processo de biodigestão permitiu aos alunos a escolha de ambientes, dias e horários para publicarem suas observações o que, anteriormente, ocorria apenas em sala de aula. A utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação apresenta-se em conformidade com a manifestação da sociedade pedagógica que propõe o exercício docente para ser cumprido em diversos períodos ou espaços diferenciados da habitual sala de aula (Zammit, 2006; Strack *et al.*, 2009). Além de um recurso pedagógico, o *blog* serviu como estratégia pedagógica. Neste caso, os alunos postaram as reflexões sobre suas aprendizagens em aula, a construção do biodigestor e sua eficiência na produção de biogás avaliada pelo microcontrolador Arduino e a divulgação na feira de ciências, o que se revelou bastante importante na dinamização do *blog*. A finalização das investigações sobre o processo de biodigestão foi realizada através da leitura e reflexões sobre o artigo “Ciência e tecnologia na escola: desenvolvendo cidadania por meio do projeto ‘Biogás – Energia renovável para o futuro’” (Souza e Martins, 2011). Outro artigo que forneceu informações complementares sobre o tema bioenergia foi “O charme e o poder das renováveis” (Wald, 2009). Embora esses artigos apresentem um conteúdo mais aprofundado do que aqueles geralmente abordados no Ensino Médio, eles ampliam as possibilidades de discussão sobre energias renováveis. O compartilhamento desses artigos e as discussões publicadas no *blog* proporcionaram um momento posterior às atividades em sala de aula e laboratoriais para reflexão sobre o tema investigado, suas vantagens e desvantagens como uma promissora energia sustentável (Boff e Pansera-de-Araújo, 2011; Gomes e Dewes, 2017). Consequentemente, muitos alunos reconheceram a necessidade de ampliação do uso de energias renováveis para promover a sustentabilidade do planeta, e de mecanismos de formação e conscientização ambiental e econômica.

Considerações Finais

A utilização da bioenergia obtida através da biodigestão de matéria orgânica foi o tema escolhido para estudo devido à abrangência de aspectos ambientais e socioeconômicos envolvidos, o que permitiu a abordagem de conceitos abrangendo a Química, a Física, a Biologia e áreas correlatas, bem como outras disciplinas. A proposta de construção do conhecimento por meio do tema bioenergia revelou-se bastante eficaz na estruturação das dinâmicas e ações didático-pedagógicas. Diversas etapas surgiram durante a abordagem e investigação do tema bioenergia, desde a contextualização,

que permitiu utilizar o conhecimento prévio de vários alunos, até a utilização de ferramentas de comunicação como os *blogs* para divulgação dos resultados do projeto. A atividade experimental propiciou aos alunos envolvidos o desenvolvimento de tomada de decisões em situações diversas e adversas, como a construção do biodigestor e a detecção do biogás. A avaliação da eficiência da produção de gás CH_4 através de sensores e o microcontrolador Arduino UNO levou em consideração as características dos cursos ofertados para os alunos participantes do projeto (Ensino Médio Integrado em Automação Industrial). Os alunos adaptaram um detector de temperatura dentro do biodigestor e um sensor de gás CH_4 dentro do reservatório confiando que a tecnologia do dispositivo poderia auxiliar na averiguação da quantidade de biogás gerado. Partiu-se inicialmente de um tema associado à energia e construiu-se um biodigestor com ferramentas capazes de analisar sua eficiência. Contudo, como o biodigestor é um projeto-piloto de bancada que por ora foi utilizado apenas como ferramenta de ensino, ainda não foi possível avaliar suas contribuições como meio de obtenção de energia nas comunidades da região e consequentemente fortalecer os Arranjos Produtivos Locais.

Deve-se ressaltar que, sob uma perspectiva interdisciplinar, a fermentação de resíduos para geração de biogás envolve vários conceitos sobre energia e suas tecnologias, os quais, frequentemente, são de difícil compreensão por alunos do Ensino Médio, incluindo os Médios Integrados. Infelizmente, os conteúdos abordados para uma compreensão ampla do tema biogás são estudados separadamente, muitas vezes em fases ou anos diferentes de aprendizagem, dificultando a integração dos conteúdos. Assim, as perspectivas de aprendizagem aqui apresentadas diferem do “itinerário” tradicional

de aprendizagem, e por isso se revelam bastante desafiadoras. Os livros, de modo geral, não apresentam conteúdos com tamanha riqueza de detalhes e a interdisciplinaridade é um problema recorrente. Cabe ao professor a tarefa de conduzir o aluno para a construção de seu próprio conhecimento, por meio de uma perspectiva interdisciplinar e a contextualizada dos conteúdos.

Agradecimentos

A todos os alunos dos Cursos Médios Integrado em Automação Industrial (EMITAI-2015) e em Segurança do Trabalho (EMITST-2015) e principalmente às alunas Flávia Rosa de Andrade e Polyana Brustolin do Instituto Federal Catarinense – Campus Luzerna, pela dedicação e apoio na realização deste projeto, incluindo trabalhos de laboratório, e pelas

colaborações com os experimentos. Este projeto foi financiado com recursos do Instituto Federal Catarinense – Campus Luzerna.

Haroldo Gregório de Oliveira (haroldo.oliveira@ifc.edu.br) é licenciado em Química pela Universidade Estadual de Londrina (UEL) e doutor em Ciências com área de concentração em Físico-Química pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Atualmente é professor do Instituto Federal Catarinense – Campus Luzerna. Luzerna, SC – BR. **Ricardo Antonello** (ricardo.antonello@ifc.edu.br) é bacharel em Ciências da Computação pelo Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) e mestre em Ciências da Computação pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Atualmente é professor do Instituto Federal Catarinense – Campus Luzerna. Luzerna, SC – BR. **Antônio João Fidélis** (ajfidelis@gmail.com) é licenciado em Matemática pela UFSC, licenciado e mestre em Física pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). Atualmente é professor do Instituto Federal Catarinense – Campus Rio do Sul. Rio do Sul, SC – BR. **Bruno José Dani Rinaldi** (bruno.rinaldi@ifc.edu.br) possui graduação em Engenharia de Alimentos pela Universidade do Oeste de Santa Catarina (Unoesc) e especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Unoesc. Atualmente é técnico em laboratório, área de Química, do Instituto Federal Catarinense – Campus Videira. Videira, SC – BR.

Referências

- AVACI, A. B.; SOUZA, S. N. M.; WERNCKE, I. e CHAVES, L. I. Financial economic scenario for the microgeneration of electric energy from swine culture-originated biogas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 25, p. 272-276, 2013.
- BOFF, E. T. O. e PANSERA-DE-ARAÚJO, M. C. A significação do conceito energia no contexto da situação de estudo alimentos: produção e consumo. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 11, n. 3, p. 145-164, 2011.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Exame Nacional do Ensino Médio 2016: 1º dia, caderno 4 rosa*. Brasília: INEP, 2016. Disponível em http://download.inep.gov.br/educacao_basica/enem/provas/2016/CAD_ENEM_2016_DIA_1_04_ROSA.pdf,

acessado em Julho 2018.

CASTRO, P. M. A. e FERREIRA, L. N. A. Representações sociais de calor por estudantes de graduação em química. *Química Nova na Escola*, v. 37, n. 1, p. 26-34, 2015.

CAVALCANTE, M. A. C.; TAVOLARO, C. R. C. e MOLISANI, E. Física com Arduino para iniciantes. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 33, n. 4, p. 4503-1-4503-9, 2011.

CGEE. *Química verde no Brasil: 2010-2030*. Edição revista e atualizada. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2010.

CREMONEZ, P. A.; FEIDEN, A.; ZENATTI, D. C.; CAMARGO, M. P.; NADALETI, W. C.; ROSSI, E. e ANTONELLI, J. Biodigestão anaeróbica no tratamento de resíduos celulósicos. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 2, p. 21-35, 2013.

CU, T. T. T.; NGUYEN, T. X.; TRIOLO, J. M.; PEDERSEN, L.; LE, V. D. e SOMMER, S. G. Biogas production from vietnamese animal manure, plant residues and organic waste: influence of biomass composition on methane yield. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, v. 2, n. 2, p. 280-289, 2015.

D'AUSILIO, A. Arduino: a low-cost multipurpose lab equipment. *Behavior Research Methods*, v. 44, p. 305-313, 2012.

ERBER, F. S. Eficiência coletiva em arranjos produtivos locais industriais: comentando o conceito. *Nova Economia*, v. 18, n. 1, p. 11-32, 2008.

FAUGEL, H. e BOBKOV, V. Open source hard- and software: using Arduino boards to keep old hardware running. *Fusion Engineering and Design*, v. 88, p. 1276-1279, 2013.

FONGARO, G.; VIANCELLI, A.; MAGRI, M. E.; ELMAHDY, E. M.; BIESUS, L. L.; KICH, J. D.; KUNZ, A. e BARARDI, C. R. M. Utility of specific biomarkers to assess safety of swine manure for biofertilizing purposes. *Science of the Total Environment*, v. 479-480, p. 277-283, 2014.

GARCIA, R. L.; ZABADAL, J.; AMARAL, R. A.; NETO, J. A. D. G. e SCHMITZ, A. Transferência de calor e massa: fusão de uma placa de gelo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 3, p. e3502-1-e 3502-8, 2017.

GOMES, J. e DEWES, H. Disciplinary dimensions and social relevance in the scientific communications on biofuels. *Scientometrics*, v. 110, n. 3, p. 1173-1189, 2017.

KUBINOVA, S. e SLÉGR, J. ChemDuino: adapting Arduino for low-cost chemical measurements in lecture and laboratory. *Journal of Chemical Education*, v. 92, p. 1751-1753, 2015.

MENEGAZZO, R. C. S. e KRELLING, L. M. Energia e meio ambiente: a importância do trabalho interdisciplinar. *Revista Ciências & Ideias*, v. 7, n. 1, p. 145-153, 2016.

OLVERA, J. R. e LOPEZ-LOPEZ, A. Biogas production from anaerobic treatment of agro-industrial wastewater. In: KUMAR, S. (Ed.). *Biogas*. Rijeka: IntechOpen, 2012, p. 91-112.

PEREIRA, R. H. Geração distribuída de energia elétrica – aplicação de motores bicombustível diesel/gás natural. In: *Anais*

do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Salvador, BA, 2005.

ROS, M.; DE SOUZA OLIVEIRA FILHO, J.; MURCIA, M. D. P.; BUSTAMANTE, M. A.; MORAL, R.; COLL, M. D.; SANTISIMA-TRINIDAD, A. B. L. e PASCUAL, J. A. Mesophilic anaerobic digestion of pig slurry and fruit and vegetable waste: dissection of the microbial community structure. *Journal of Cleaner Production*, v. 156, p. 757-765, 2017.

ROSA, P. L. Perspectivas hidrelétricas no Brasil. *Scientific American Brasil*, v. 32, p. 36-41, 2009.

SILVA, J. L. P. B. Por que não estudar entalpia no ensino médio. *Química Nova na Escola*, v. 22, p. 22-25, 2005.

SILVA, M. A.; MARTINS, E. S.; AMARAL, W. K.; SILVA, H. S. e MARTINES, E. A. L. Compostagem: Experimentação problematizadora e recurso interdisciplinar no ensino de química. *Química Nova na Escola*, v. 37, n. 1, p. 71-81, 2015.

SOUZA, F. L. e MARTINS, P. Ciência e tecnologia na escola: desenvolvendo cidadania por meio do projeto “biogás – energia renovável para o futuro”. *Química Nova na Escola*, v. 33, p. 19-24, 2011.

STRACK, R.; MARQUES, M. e DEL PINO, J. C. Por um outro percurso da construção do saber em educação química. *Química Nova na Escola*, v. 31, p. 18-22, 2009.

WALD, M. L. O charme e o poder das renováveis. *Scientific American Brasil*, Edição Especial, v. 32, p. 8-13, 2009.

ZAMMIT, S. Factors facilitating or hindering the use of computers in schools. *Educational Research*, v. 34, n. 1, p. 57-66, 2006.

Para saber mais

LEMOS, E. G. M. e STRADIOTTO, N. R. *Bioenergia: desenvolvimento, pesquisa e inovação*. São Paulo: Ed. Unesp, 2012.

KERCKHOFF, M. T. O blog como ferramenta para a reflexão crítica. *Cadernos de Letras: interação em mídia e sala de aula*, v. 19, n. 21, p. 123-143, 2004.

Abstract: *Energy, Society and Environment in Digester Construction: the Interdisciplinarity and Arduino Technology for Research Activities.* Environmental and socioeconomic approach to biogas production was performed in the classroom and allowed Technical High School students to consider the possibilities of local livestock generation of energy. The students built a low cost digester and evaluated its effective use for biogas production by Arduino UNO microcontroller. The results from classroom discussions and laboratories experiments were presented in scientific meetings on Campus and afterwards in a blog created by the students. Contextualization by means of biogas production and assessment of anaerobic digester efficiency created a greater motivation for classroom learning of renewable energy technologies and their relationship with society and environment.

Keywords: biogas, control and automation, local productive arrangements