

EXPERIÊNCIAS EXTENSIVAS: resultados do projeto Biogás utilizando resíduos orgânicos em colégio estadual

Ricardo Morel Hartmann¹

Diego Moraes Flores²

Andreia Cristina Furtado³

RESUMO

Este artigo teve como objetivo apresentar o processo de construção de situações de ensino-aprendizagem inseridas em um contexto de elaboração de planta experimental com biodigestores, em escala reduzida, em um colégio público de Foz do Iguaçu-PR. Dentre os principais resultados destacam-se o estabelecimento de protocolos de aulas experimentativas em laboratório na escola, organização dos alunos em grupos de tarefas e incremento das aulas teórico-práticas dos professores do colégio. O programa possibilitou também que os extensionistas tivessem papel fundamental em todo o processo de construção do biodigestor, produção de biogás bem como nas práticas no laboratório de ciências do colégio.

Palavras-chave: biodigestor; ensino-aprendizagem; aulas experimentativas.

EXTENSIVE EXPERIENCES: results of the Biogas project using organic waste in a state school

ABSTRACT

The objective of this article is to present the construction process of teaching-learning situations inserted in a context of construction of a biodigester, on a reduced scale, in a public school in Foz do Iguaçu-PR. Among the main results, we highlight the establishment of protocols for experimental classes in the laboratory at the school, the organization of students into task groups and the increase in theoretical-practical classes given by the school's teachers. The program also made it possible for the extension workers to play a fundamental role in the entire process of building the biodigester, as well as in the practices.

Keywords: biodigester; teaching-learning; experimental classes.

INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) são um dos principais desafios das cidades no século XXI. Estudo publicado pelo Banco Mundial (Kaza *et al.*, 2018) estima que no ano de 2050, 9 entre cada 10 habitantes da América Latina viverão em cidades. A quantidade de RSU e o aumento por serviços públicos relacionados a coleta, transporte, separação e correta destinação

¹ Doutor em engenharia mecânica pela UFSC e docente do curso de Engenharia de Energia - UNILA. E-mail: ricardo.hartmann@unila.edu.br

² Doutor em Geografia Física pela USP e docente do curso de Geografia - UNILA E-mail: diego.flores@unila.edu.br

³ Doutora em engenharia química pela UEM e docente do curso de Engenharia Química - UNILA. E-mail: andreia.furtado@unila.edu.br

desses resíduos, implicarão a utilização de resíduos orgânicos para produção de biogás. Isso é um exemplo do conceito conhecido internacionalmente como WtE (*Waste to Energy*), em que o resíduo que antes era um problema permitirá ajudar a diminuir gastos com a aquisição de combustíveis como gás natural, GLP e óleo diesel.

Tomadas de decisão no sentido de criar medidas devem incluir também a educação e a sensibilização da população, o incentivo à mudança de hábitos, bem como a criação de situações de ensino-aprendizagem que repliquem soluções ambientais para problemas reais. Projetos pilotos em ambiente escolar, portanto, oportunizam acesso a conhecimentos outrora internos à academia. Modelos de ensino e aprendizagem que remetem a montagem e pesquisa é, de longe, a melhor maneira de conscientizar e profissionalizar estudantes, principalmente nos anos finais do ensino fundamental, médio e ensino técnico.

Nesse contexto, o aprendizado ativo permite ensinar, por meio de ações colaborativas, envolventes e motivadoras (Misseyanni *et al.*, 2018); comparadas aos métodos tradicionais, mostram-se mais abrangentes e eficazes, por facilitar a compreensão de conceitos difíceis de serem apreendidos (Gusc; Van Veen-Dirks, 2017). Entende-se que ações nesse formato permitam que os alunos participem de várias atividades, tais como leitura, discussão, redação e desenvolvimento de habilidades, em que muitas destas permitirão internalizar formas de reflexão, análise e síntese (Daouk; Bahous; Bacha, 2016). Adicionalmente, a prática mediada sob orientação (experimental) permite participação ativa no repasse de responsabilidades, inserindo alunos em procedimentos científicos para consolidação da aprendizagem.

O tema geral proposto – energia – tem total sintonia com necessidades da realidade, portanto, por si só, torna-se um tema que gera empatia e curiosidade. O uso de conhecimentos sobre teoria de energia, produção de biogás e sustentabilidade permite aos envolvidos conectarem-se aos novos desafios da próxima revolução industrial (indústria 4.0), desafios com eficiência energética e mitigação de efeitos de mudanças climáticas em escala local e global.

Esta proposta visou atuar junto aos estudantes do ensino fundamental (anos finais) e ensino médio, em colégio estadual do estado do Paraná (C. E. Gustavo Dobrandino - CEGDS), como piloto de ação de extensão universitária, no município de Foz do Iguaçu (PR), (período ocorrido entre out/2021 - dez/2022).

As ações iniciais de ensino-aprendizagem de conceitos de química, física, matemática, biologia, dentre outros, tiveram como início a construção de um biodigestor do projeto de “Investigação do potencial de geração de biogás e biofertilizantes, utilizando resíduos orgânicos alimentando pequeno biodigestor”, aprovado e financiado pela SETI - Secretaria da Ciência,

Tecnologia e Ensino Superior do Paraná, com gestão institucional da Pró-Reitoria de Extensão da Universidade da Integração Latino-americana (UNILA/Foz do Iguaçu-PR).

Neste artigo focaram-se situações de **ensino-aprendizagem** criadas a partir da construção do biodigestor e demais atividades de práticas experimentais no período entre outubro de 2021 e dezembro de 2022. Serão explicitadas aqui as situações técnicas de montagem e funcionamento do biodigestor, sempre que estas forem necessárias para explicação das situações de ensino-aprendizagem, bem como, aquelas pertinentes aos extensionistas responsáveis pela execução de tarefas técnicas de montagem, funcionamento e administração dos procedimentos de replicação do conhecimento.

METODOLOGIA

Para cada etapa necessária à montagem do biodigestor foram estipuladas metas relacionadas. Foram realizados levantamentos teóricos e protocolos de montagem. As práticas de ensino-aprendizagem seguiram-se conforme o andamento dessas metas. A Tabela 1 abaixo sintetiza as metas para todo o período (out/2021 – dez/2022):

Tabela 1 - Descrição das atividades e protocolos

Descrição das atividades		Indicador	Previsão de execução		
Nº	Metas a serem atingidas	Unidade	Início	Fim	
1	Protocolo de coleta e disposição de resíduos orgânicos	Levantamento de quantidades da média de resíduos orgânicos (mês)	Relatórios parciais	1	2
		Verificação do local e montagem do biodigestor		1	3
2	Protocolo de montagem de biodigestor de pequeno porte (~200 L)	Montagem do biodigestor; pesquisa e compra de itens necessários		1	3
3	Protocolo de operação do biodigestor de pequeno porte (~200L)	Acompanhamento de operação de quantidades de massa de entrada, massa de saída, medições de temperatura e pressão		1	12
4	Metodologias de ensino-aprendizagem e de experimentação de conceitos de termodinâmica (físico-química)	Acompanhamento de operação do biodigestor e orientação aos alunos do colégio por meio de aplicação de metodologia científica		1	12
5	Previsão e desenvolvimento de aplicativo de celular para entrada de dados e tratamento	Aplicação de metodologia para cálculo de combustão, com fins de produção de biogás. Economia de óleo diesel e produção de CO ₂ evitada		1	12
Finalização dos protocolos , execução e etapas do projeto					

Fonte: Autores (2023).

RESULTADOS

1 Protocolos 1 e 2:

No primeiro trimestre (2021) foram realizadas as primeiras apresentações na escola para alunos dos anos finais do ensino fundamental, principalmente. O foco foi a fundamentação teórica do biodigestor, destinação e explicações sobre a área selecionada para sua localização e conceitos de separação e pesagem dos resíduos. Explicaram-se etapas técnicas sobre a construção de um circuito tipo Arduíno (placa integrada com um microcontrolador de *hardware* livre que possibilita a prototipagem de diversos projetos que necessitam de um sistema de controle) e aplicativo de celular que visava à melhoria na coleta e manuseio dos dados experimentais. As apresentações foram demonstrativas, no sentido de explicar como ocorre a idealização de um projeto científico e suas etapas teórico-práticas.

A limpeza da área destinada a receber o biodigestor também foi realizada, bem como a demonstração de montagem do biodigestor no local. Foi selecionado um modelo de biodigestor com 200 litros. As especificações técnicas foram feitas com base em conceitos de engenharia química para tempo de retenção hidráulica de 21 dias. Para as especificações de engenharia química, foram realizadas medições em laboratório da fração de sólidos voláteis no resíduo orgânico coletado no colégio CEGDS. A Figura 1 mostra um desenho de engenharia da configuração projetada para o biodigestor.

Figura 1– Desenho técnico do biodigestor projetado



Fonte: Autores (2023).

Os alunos do colégio CEGDS participaram ativamente do procedimento de triagem e pesagem dos resíduos orgânicos provenientes da cozinha do colégio. Foi de extrema importância para o projeto do biodigestor, pois a pesagem permitiu determinar a quantidade de biomassa que se destinaria semanalmente ao biogás. Com relação à técnica, para a medição da massa dos resíduos, utilizou-se uma balança do tipo dinamômetro digital, de marca genérica com capacidade máxima de 50 kg, função de tara, com unidades de medida de leitura quilograma, libra e onça, e com três casas decimais de precisão. Assim, a incerteza na medição foi de 0,001 kg. É importante frisar que a utilização do dinamômetro digital como balança permitiu apresentar aos alunos da escola, procedimentos para medição eletrônica da quantidade de resíduos orgânicos produzidos na cozinha e no refeitório da escola bem como conceitos fundamentais de metrologia experimental. A Figura 2 ilustra alguns dos vários procedimentos.

Figura 2 – Etapas exemplificadoras do primeiro trimestre, sistematização de coletas (A-B), construção do biodigestor e limpeza do terreno (C-D)



Fonte: Autores (2023).

Após a incorporação dos primeiros procedimentos, os alunos do CEGDS passaram a realizar as medições da massa dos resíduos alimentares referentes ao primeiro trimestre do projeto (outubro a dezembro de 2021). Na primeira linha estão computados os resíduos orgânicos comuns da cozinha, e na segunda linha resíduos da cozinha.

Tabela 2 - Contabilização dos resíduos e pesos por data (referente ao primeiro trimestre 2021)

Data	30/nov.	02/nov.	07/dez.
Lixo orgânico comum (Kg)	6,12	28,44	5,38
Lixo para alimentação animal (Kg)	8,77	12,69	8,43
Total (Kg)	14,89	41,13	13,80

Fonte: Autores (2023).

Uma vez que os alunos do colégio mostraram que haviam aprendido bem os procedimentos experimentais de coleta e pesagem dos resíduos, estes ficaram a cargo exclusivamente dos alunos e professores envolvidos no colégio CEGDS, com o objetivo principal de conferir autonomia aos envolvidos.

1.2 Protocolo 1 e 2 - Segundo trimestre

No segundo trimestre foram intensificadas as atividades de montagem do biodigestor, já com o dimensionamento concluído e com novos ajustes de medição dos resíduos sendo realizados em paralelo. Em reunião da equipe do projeto, discutiu-se o orçamento disponível para compras de materiais de consumo para construção de um segundo biodigestor, além da seleção do *software* a ser utilizado para construção do aplicativo *Android* de apoio ao projeto (protocolo 5). Realizou-se uma dinâmica de coleta de ideias (extensionistas, alunos do CEGDS e professores) para desenvolvimento do aplicativo, quando foram selecionadas as seguintes funcionalidades principais a serem contidas no aplicativo.

- Calculadora de porcentagem de resíduos vs. produção de biogás;
- Programa de incentivo aos alunos para doação de resíduos orgânicos;
- Pontos estratégicos de coleta;
- Minijogo didático para aumentar o alcance entre os estudantes;
- Levantamento do perfil dos usuários e requisitos de *software* para o aplicativo.

Nesse período foi finalizada a instalação de *pallets*, utilizados como base para suporte e instalação dos biodigestores. Procedeu-se à montagem no solo do local destinado ao biodigestor e construção da base e telhado de proteção para o biodigestor, além da limpeza do solo para prepará-lo para o plantio da horta. Com a finalização da estrutura de abrigo para o biodigestor, os extensionistas prosseguiram com a instalação e fixação das telhas; o biodigestor foi montado nesse espaço. Iniciou-se então a montagem da estrutura para instalação de filtros para purificação de CO₂ e gás sulfídrico (H₂S), por meio da fixação de dutos e mangueiras que

conectam o biodigestor e os filtros. No trimestre foi realizada a primeira alimentação do biodigestor, em uma proporção de 2 partes de água para 1 parte de biomassa triturada, conforme cálculos e dimensionamento previamente realizados no dimensionamento pelos extensionistas e professores da UNILA.

A medição da massa e trituração foi realizada pelos alunos do colégio CEGDS. Nessa visita, inseriu-se um total de 16,04 kg de biomassa no biodigestor. A biomassa foi triturada junto à água na proporção pré-estabelecida (1:2), com o auxílio de um liquidificador, e colocadas no biodigestor. Considerando a densidade da água como 1 g/cm³, foi adicionado um total de 32,08 litros de água. E, como não havia biomassa suficiente para cobrir a válvula responsável pela remoção dos resíduos da biomassa após a produção do biogás, foram adicionados mais 47,4 L de água ao biodigestor (ao final ficaram 79,48 L).

Ao final, teve-se uma proporção de 4,95 partes de água para 1 de biomassa, relação bem acima do projeto. Isso é comum na fase inicial de alimentação do biodigestor. No dia 29/03/22, a alimentação do biodigestor foi feita com colaboração dos alunos do colégio. No momento da alimentação foi explicado aos alunos sobre as proporções entre água e biomassa, para alimentação do biodigestor, solicitando que eles refizessem os procedimentos. Após a alimentação, o biodigestor foi fechado e realizado um teste de estanqueidade (verificação de vazamentos) utilizando uma bomba manual para compressão de ar atmosférico, com manômetro na linha de alimentação de ar.

Observou-se que havia um vazamento de ar através do anel de vedação da tampa do biodigestor, que apresentava uma pequena descontinuidade. Efetuou-se então a vedação com silicone na descontinuidade do anel de vedação e fechou-se o biodigestor, para proceder a novo teste de estanqueidade. A fim de acelerar a produção de biodigestão conforme o cronograma do projeto e aplicação das atividades de ensino-aprendizagem, iniciou-se a construção de um novo protótipo, o biodigestor n° 2. Para esse biodigestor utilizou-se um tonel de 200 litros.

Protocolos 3 e 4 - Terceiro trimestre 2022

No dia 04/04/22 o biodigestor n° 2 foi alimentado com aproximadamente 25 kg de resíduos alimentares do refeitório do colégio e foram adicionados 50 litros de inóculo de um reator anaeróbico obtido na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Sanepar em Foz do Iguaçu (PR). A utilização de inóculo da ETE foi importante para a correta inicialização da produção de biogás pelas bactérias anaeróbicas no interior do biodigestor, induzindo o sistema a uma produção antecipada de biogás, pelo aumento da atividade microbiológica, ao inserir no

sistema reacional uma população de microrganismos já habituados com a biodigestão anaeróbica. Adicionalmente ao inóculo, foi feita a alimentação com 14,74 kg de biomassa, adicionados de 28 litros de água (o total de biomassa foi de 39,74 kg).

1. 3 Metodologia de ensino experimentalivo

As medições de massa de resíduos gerados foram realizadas pelos alunos do colégio, divididos em grupos de coletas. Foram criados grupos de dois alunos para coleta e medição dos resíduos gerados a cada dia no colégio, conforme o avanço dos protocolos. Ao total, 11 alunos do 1º ano do ensino médio em 2022 foram selecionados, dentro de um grupo de alunos pré-selecionados (9ª série no ano de 2021).

As escalas de trabalho dos alunos com indicação clara de responsáveis pelas atividades de coleta e pesagem diárias de resíduos se mostraram adequadas. Outra estratégia utilizada foi definir uma aluna para preencher e guardar o caderno, com as anotações de campo sobre o tipo de resíduo e a massa dos resíduos a cada dia de coleta. Os dados do caderno de campo possibilitaram construir uma tabela com o histórico da pesagem dos resíduos, indicando a massa medida em cada semana, bem como o resumo do cardápio daquela semana (Tabela 3).

Tabela 3 – Resumo dos dados obtidos com o caderno de campo

Data /Semana	Resíduos	Massa(kg)
30/11/2021	Risoto, salada, casca de frutas, frango, talos de temperos e frutas; feijão e feijão.	6,120
02/12/2021	Café, casca de ovo, casca de frutas , abacaxi e alface.	23.664
17/03/2022	Risoto, salada, casca de frutas, frango, talos de temperos e frutas; feijão e feijão.	16,04
31/03/2022	Macarrão com carne moída, salada, arroz e feijão.	12,60
05/04/2022	Arroz doce, salada e carreteiro.	28,36
Total:		86,784

Fonte: Autores (2023).

A Tabela 4 abaixo demonstra os recursos para construção do biodigestor n° 2. Os recursos foram obtidos por meio de editais internos da Pró-Reitoria de Extensão da IES. Além dos recursos mostrados na Tabela 4, foram obtidos também materiais de consumo pelas doações

dos professores e alunos da IES e do colégio (Tabela 5). O valor total de materiais doados superou o valor de recursos financeiros despendidos no projeto, o que indica um elevado grau de comprometimento por parte dos alunos e professores do projeto. Esses quesitos de investimento e organização das planilhas de custos também foram tema de discussão e práticas em disciplinas do colégio, no sentido de se enfatizar a organização financeira de um projeto.

Tabela 4 – Valores de custos de materiais utilizados para construção do biodigestor n° 2

Material	Qtde.	Valor [R\$]
Tubo PVC 100 mm	1,5 m	34,00
Registro esfera 50 mm	1	44,99
Joelho sold 50 mm	2	15,81
Tubo PVC 50 mm	1,5 m	20,38
Cap tubo PVC50 mm	1	7,50
Adaptador tubo PVC 50 mm X 1 ½"	1	7,99
Torneira jardim plástica	2	10,00
Nipel rosqueável ½	4	4,99
Luva rosqueável ½	4	8,00
Mangueira de jardim silicone	3 mt	14,98
Engate rápido ½	4	20,00
Adaptador mangueira ¾ red ½	4	19,97
Veda calha alumínio 280 ml	1	19,99
Adesivo PVC bisnaga Tigre 17 g	1	6,99
Fita veda rosca 18 mm X 50 m Tigre	1	19,99
Lixa massa 120	2	2,50
Cal virgem 300 g	1	9,99
Kit serra copo circular 5 peças Mister	1	29,99
Adaptador flange anel 50 mm X ½	1	34,99
Outros: luvas de proteção, óculos e abraçadeiras	1	84,31
TOTAL		452,00

Fonte: Autores (2023).

Tabela 5 – Valores estimados dos materiais doados

Material	Quantidade	Valor estimado [R\$]
viga peça de 2x4" de 3m	2	
viga peças de 2x2" de 2,5m	2	82,50
viga peças de 2x2" de 3m	3	
folhas de fibra	2	92,00
parafusos autobrocantes	50	19,50
pacote de prego 19x36 1kg	1	20,00
parafusos 1/4x4"	6	6,60

buchas 10 para parede oca	6	3,80
ripas de 1x2" de 2,5m	12	96,00
Tonel plástico 200 litros	2	330,00
TOTAL		650,90

Fonte: Autores (2023).

1.4 Finalização dos Protocolos 1 e 2

Os protocolos 1 e 2 de montagem do biodigestor iniciou-se com a concepção mecânica e desenho das peças e finalizados em meados de março a abril de 2022, resumidos nos seguintes passos:

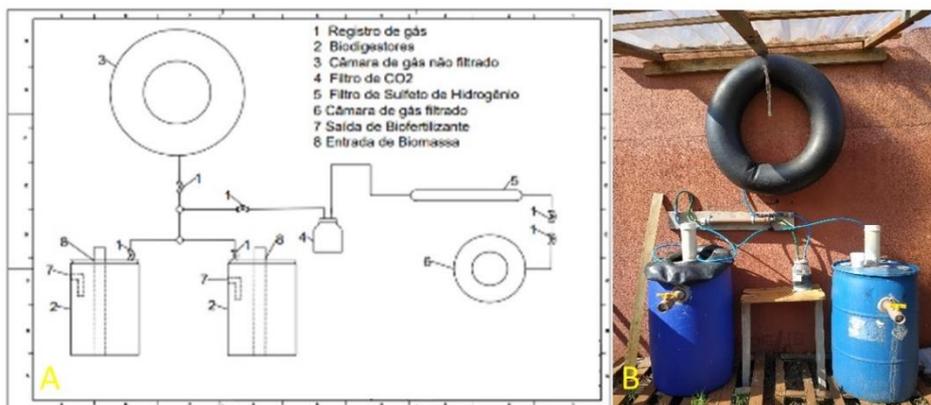
1. Realização das medições das quantidades de massa de resíduos orgânicos gerados no refeitório do colégio;
2. Dimensionamento do volume de água com proporção 2:1 para cálculo do volume do biodigestor para tempo de residência hidráulico de 21 dias;
3. Definição do local para instalação do biodigestor e filtros de biogás em local próximo ao refeitório da escola;
4. Realização da montagem do biodigestor e das tubulações com ajuda do zelador do colégio;
5. Organização da mistura dos resíduos com água para alimentar o biodigestor.

O terceiro trimestre iniciou-se durante o mês de abril/22, observou-se que somente um biodigestor de 200 litros não seria suficiente para processar todo o resíduo orgânico do colégio. Por isso a decisão de ter um segundo biodigestor de 200 litros, utilizando material de consumo financiado ao projeto de extensão. Durante a construção do segundo biodigestor, foi possível iniciar um **manual de montagem de biodigestores de pequeno porte em colégios do Paraná (em fase de publicação)**.

No dia 13 de maio de 2022, o segundo biodigestor foi instalado no colégio CEGDS. O biodigestor 2 foi então alimentado com inóculo da ETE da Sanepar e iniciou-se a alimentação com os resíduos orgânicos do colégio. O desafio passou a ser conectar os dois biodigestores sem vazamentos, com o filtro de CO₂, filtro de H₂S e aos gasômetros, para armazenamento do biogás bruto (sem filtragem) e do biogás filtrado, ser transportado para o laboratório do colégio. A fim de resolver os problemas acima (de origem técnica), optou-se por utilizar tubulações de engate rápido para ar comprimido e válvula globo para controlar as entradas e saídas de biogás.

A Figura 3 mostra o desenho esquemático das conexões dos biodigestores, filtros e gasômetros e do sistema tirada em 13/07/2022.

Figura 3 – Desenho esquemático (A) das conexões dos biodigestores, filtros, gasômetros dos biodigestores e tubulações (B)



Fonte: Autores (2023).

Houve uma sensível evolução da planta experimental de biogás no espaço de tempo de 90 dias. Após o primeiro êxito, em 12/05/22, o gasômetro foi esvaziado, e os biodigestores foram novamente alimentados. Esperava-se uma nova produção de biogás para a última semana de maio/22. Infelizmente, a primeira frente fria do outono em Foz do Iguaçu (PR), semana entre os dias 15 a 21 de maio de 2022, baixou as temperaturas a 20°C. As bactérias responsáveis pela produção de metano diminuem a produtividade, o que acarreta o aumento excessivo de acidez, chegando em alguns casos a forçar a parada do biodigestor, por baixa taxa de conversão dos resíduos. Esse tema foi abordado em aulas teóricas pelas (os) professoras (os) do colégio, bem como pela equipe de extensionistas da IES. A situação, até então não planejada, serviu para aprofundar outros temas. As baixas temperaturas permaneceram no mês de junho/22, com vários dias abaixo de 20° C.

Foi necessário buscar-se soluções para a acidificação dos resíduos de alimentação, bem como dos biodigestores. Foram utilizados medidores de pH de laboratório, bem como medidores manuais com indicadores em escalas de cores. O teste de pH foi feito utilizando pedaços de fita de papel indicador, obtendo-se um resultado de análise de pH com indicador em cores, analisando o efluente do biodigestor 1, que indicou a mesma coloração do teste para o biodigestor 2.

O resultado da análise de pH para os efluentes (biodigestato ou biofertilizante) dos dois biodigestores se encontrava entre 4 e 5, o que significa um pH ácido, não indicado para

operação dos biodigestores. A faixa de pH ótima para o crescimento de muitos microrganismos, se encontra entre 6,4 a 7,2. A diminuição do pH pode resultar em uma elevação na concentração de ácidos graxos voláteis e, portanto, ocorrer inibição da metanogênese. O pH influencia não somente na produção do biogás como também na sua qualidade; valores abaixo de 6 resultam em um biogás pobre em metano. Um pH abaixo de 4,5 detém a atividade de todos os microrganismos implicados no processo (Lema; Méndez; Guerrero, 1997; Manfron *et al.*, 1991).

Devido à importância do pH na produção de biogás, foram realizadas tentativas de se estabilizar o pH dos biodigestores, entre elas a colocação de folhas e restos vegetais. Outra iniciativa foi solicitar novamente inóculo à Sanepar com o objetivo de elevar o pH nos biodigestores. Com 50L de inóculo, um galão para cada biodigestor, o pH do inóculo migrou para 6-7, o que significa um pH neutro, levemente ácido. Como estratégia adicional, mediu-se o pH dos resíduos orgânicos do refeitório do colégio e verificou-se um pH ácido. Por isso foram adicionadas cerca de 400 g de cal virgem para um total de 20 kg de resíduos orgânicos, para tentar equilibrar o pH dos biodigestores como indicado por Oliveira *et al.* (1993). A Tabela 6 mostra as estratégias para diminuir a acidez no substrato dos biodigestores.

Tabela 6 – Estratégias para diminuição da acidez do substrato

Amostra	pH
Biodigestor 1 antes do inóculo Sanepar	5,02
Inóculo Sanepar	6,58
Biodigestor 1 depois do inóculo e alimentação com cal	5,65
Biodigestor 2 depois do inóculo e alimentação com cal	5,56

Fonte: Autores (2023).

Após a adição do inóculo e da alimentação do biodigestor com uma parte de cal, o pH apresentou valor mais elevado. No entanto, ainda não ficou na faixa ótima, para operação de biodigestores, que deve ser entre 6,4 a 7,2. É importante informar que mesmo com os biodigestores trabalhando com pH um pouco fora da faixa ótima, foram obtidos resultados positivos após a correção com inóculo da Sanepar e com cal. Na visita do dia 13/07/2022 foi obtido o segundo grande êxito do projeto, quando foi possível queimar o biogás filtrado (com filtragem de H₂S e CO₂) obtendo-se uma bela chama azul, o que indica queima estequiométrica, ou seja, a queima mais limpa que se pode obter. A equipe de extensionistas e alunos do CEGDS foram os protagonistas, neste momento de aprendizado, elevando o moral de toda a equipe executora e professores do colégio.

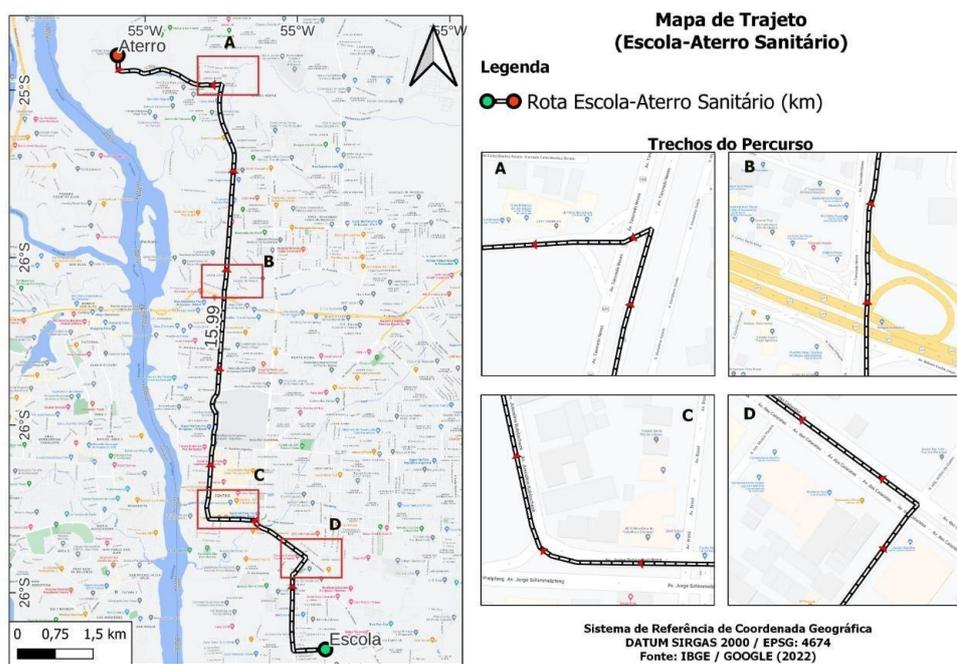
Ensino experimental de ciências básicas com o auxílio de biodigestores

Foram realizadas atividades auxiliares de ensino de ciências básicas no colégio CEGDS, neste período de pós-montagem e início de produção de biogás. Dentre elas, pesagem dos resíduos orgânicos do refeitório e alimentação do caderno de laboratório/planilha eletrônica com os resultados. Os alunos do colégio participaram também da trituração dos alimentos no liquidificador, mistura com água e alimentação dos biodigestores.

Os resultados das medições da massa de resíduos orgânicos coletados no refeitório possibilitaram construir gráficos semanais e mensais da geração de resíduos orgânicos no colégio CEGDS. Os dados permitiram concluir que no primeiro semestre de 2022 foram coletados aproximadamente 358,5 kg de resíduos orgânicos do refeitório do colégio CEGDS. A estimativa é que o refeitório do colégio CEGDS gere em média, aproximadamente 1 tonelada de resíduos orgânicos por ano. Se considerarmos que Foz do Iguaçu (PR) tem 25 colégios estaduais, e que o CEGDS seja de tamanho médio, o potencial de geração de resíduos orgânicos nos refeitórios dos colégios estaduais da cidade seja de 25 toneladas por ano. A partir desses dados foi possível realizar cálculos de emissão de CO₂, que poderiam ser impedidos pela produção de biogás, utilizando essa quantidade de biomassa, bem como o potencial energético da produção de biogás, ambos por meio da proposta de um aplicativo. Para o desenvolvimento do aplicativo foram apresentados conceitos de geoprocessamento e sua aplicabilidade útil ao dia a dia das cidades.

A Figura 4 mostra um exemplo do *software* Quantum GIS versão 3.16 (*Software* Livre) para traçar rotas e calcular distâncias entre pontos que representaria a escola e o aterro municipal. Conceitualmente, a ideia foi calcular a logística de deslocamento, em situação de não produção do biogás. Os cálculos de distância entre o colégio CEGDS e o aterro sanitário retornou um valor de 15,99 km. Com esse dado foi possível calcular o consumo de óleo diesel dos caminhões de coleta de resíduos urbanos e calcular também a emissão de CO₂ que seria evitada.

Figura 4 –Traçado ideal de movimentação de resíduos entre escola e aterro municipal



Fonte: Autores (2023).

Para auxiliar no ensino de química e física, foram realizadas medições de composição do biogás produzido nos biodigestores do CEGDS. A análise da composição de gases foi realizada utilizando um analisador portátil de gases GEM 500 da LANDTEC. O primeiro teste foi realizado sem filtrar o biogás, e mais dois testes foram realizados filtrando o biogás. Foram medidas as frações de metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e Oxigênio (O_2) além da quantidade em partes por milhão do sulfeto de hidrogênio (H_2S).

O valor medido para o O_2 foi 0%, indica ambiente anaeróbico dentro do biodigestor, condição necessária para produção de biogás. Os resultados indicam que os filtros para CO_2 e H_2S **foram efetivos**, demonstrando a viabilidade de utilizar soluções de baixo custo com cal para filtrar CO_2 , e palha de aço para filtrar H_2S . Foi realizada atividade com os alunos do colégio CEGDS para verificar o estado de utilização do filtro de CO_2 . Verificou-se que o fluido filtrante do filtro estava muito turvo, sendo necessária a troca do conteúdo dele para uma melhor filtragem do biogás. A reação da água (H_2O) com a cal (CaO) forma hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), também conhecido como água de cal. Já a reação da água com o dióxido de carbono (CO_2), quando aquela passa pelo filtro, forma o ácido carbônico (H_2CO_3), então, dentro do filtro ainda ocorre uma terceira reação entre o hidróxido de cálcio e o ácido carbônico, e dessa reação química se origina o carbonato de cálcio (CaCO_3)₂. O carbonato de cálcio também é formado pela reação do CaO com o H_2CO_3 , e é ele que precipita e dá origem a turbidez (Bajrachaya, 2009).

Protocolos 4 e 5

Em 25/07/2022 iniciou-se a alimentação dos biodigestores, no dia 28/08/2022 testaram-se os equipamentos de laboratório do colégio para realização de aula experimental com os alunos do ensino Médio. Na visita de agosto (04/08/22), retomaram-se os trabalhos acerca de um importante problema: a preparação dos resíduos para alimentação nos biodigestores. Em agosto estabeleceu-se análise dos resultados de visitas anteriores, quando se definiu que os resíduos sempre deveriam ser triturados em um liquidificador com água, com uma proporção em massa de 1,5 kg de água para cada kg de resíduo. Para contextualização da metodologia experimental nas práticas, foram organizadas etapas de desempenho dos biodigestores, utilizouse a metodologia de medir a fração de metano no biogás, fração de CO₂ no biogás, fração de H₂S no biogás e a verificação visual da chama do biogás em um Bico de Bunsen utilizado no laboratório de ciências do colégio CEGDS.

Na visita do dia 04/08/22, a aula prática com os alunos dos 1º anos do EM, iniciou-se experimento com Bico de Bunsen, com os resultados das medições da fração dos componentes do biogás produzido na escola, utilizando um analisador portátil de gases marca Landtec GEM 5000. Foram discutidos os critérios técnicos existentes na tabela, para que os alunos pudessem compreender os conceitos. O sistema de filtragem de CO₂ foi efetivo, reduzindo a fração de CO₂ de 45,5 % para 42,7 % e resultou também no aumento da fração de metano de 54,4 % para 57,3 %, o que representa um biogás com bom poder calorífico. O sistema de filtragem para H₂S foi ainda mais efetivo, conseguindo reduzir em aproximadamente 60 vezes a sua fração volumétrica. O projeto e montagem dos filtros para CO₂ e H₂S antes descritos sobre a composição do biogás, indicou no momento a inexistência de O₂, nas medições confirmaram-se, portanto, a operação anaeróbica dos biodigestores.

A chama obtida com o Bico de Bunsen utilizando o biogás filtrado com fração de metano de 57,3 % retirada na aula prática de 04/08/22 permitiu obter coloração da chama, com o biogás a 57,3% de metano, em que a cor azul é uma característica desejável para queima de gases, indicam uma queima estequiométrica, efetiva do combustível. Ainda sobre o Bico de Bunsen, o disponível no colégio CEGDS tinha um orifício para passagem de gás que estava projetado para GLP, com um diâmetro interno de 0,1 mm. Antes da aula do dia 04/08/22, testou-se no dia 28/07/22 este Bico de Bunsen com orifício de 0,1 mm com biogás.

Na contextualização aos alunos sobre a chama para o Bico de Bunsen, com diâmetro de 0,1 mm, explicou-se o porquê de a chama ficar muito fraca com biogás. Mesmo com fração de

metano maior do que 55 %. Após o dia 28/07/22, foi feito um processo de furação no orifício do Bico de Bunsen, resultando em um novo orifício com 1 mm de diâmetro. Esse aumento de diâmetro resultou em uma chama de melhor qualidade. Os alunos tiveram a oportunidade de repetir alguns procedimentos nessa etapa, em grupos menores por vez.

Demais atividades Pedagógicas com Biogás no Colégio

No segundo semestre de 2022 ocorreram três atividades pedagógicas principais: i) reapresentação dos extensionistas da IES no dia 21/07/2022; ii) aulas práticas no laboratório do colégio CEGDS (EM) no dia 04/08/2022; e iii) palestra da secretária de Meio Ambiente de Foz do Iguaçu (PR). No dia 04/08/2022 foi realizada aula prática (EM), utilizando o biogás produzido no colégio com uso de um *erlenmeyer* (frasco fundo plano, corpo cônico e gargalo cilíndrico) com água no regime de ebulição, aquecido com o biogás produzido no colégio.

No dia 18/08/2022 foi feita uma visita da secretária do Meio Ambiente de Foz do Iguaçu (PR), Rosani Borba, para conhecer o projeto no colégio. Na primeira parte da visita, a secretária fez uma palestra para os alunos do colégio sobre meio ambiente, reciclagem, bioenergia e economia circular; durante a apresentação foram exibidos os *banners* utilizados no dia 18/08/22, entre eles o *banner* do *International Year of Basic Sciences for Sustainable Development* (IYBSSD), patrocinado pela UNESCO. O projeto Biogás nas Escolas foi selecionado pela SBPC/ABC como um dos projetos de extensão para representar o Brasil no evento mundial. No mesmo dia foi realizado experimento com sais de lítio, cobre, estrôncio e cálcio para demonstrar o princípio de chamas com cores. Com participação dos alunos do CEGDS nos procedimentos, o experimento com sais de estrôncio resultou em uma chama vermelha, o que explica o princípio físico que ocorre nos átomos dos sais quando estão sob a chama.

Atividades complementares: cuidados com horta e pinturas grafiti

Os alunos do colégio realizaram atividades relacionadas ao cultivo da horta, com o objetivo de utilizar o biofertilizante produzido. No mês de agosto de 2022 foi feita a primeira colheita na horta do colégio, cultivada pelos alunos. Outra atividade importante foi a realização da pintura em grafiti nas paredes próximas aos biodigestores e na horta. O objetivo foi correlacionar o ensino de artes e linguística com o tema de energia renovável e sustentabilidade.

A Figura 5 mostra uma foto parcial do muro com pintura do grafiti, onde se destaca os biodigestores à frente. A realização da atividade de pintura em grafiti nas paredes próximas aos biodigestores e à horta se mostrou um fator importante de engajamento dos alunos do colégio, além de ser esteticamente agradável, para quem visita o colégio e os biodigestores.

Figura 5 – Vista da área do biodigestor, grafites e horta



Fonte: Autores (2023).

Finalização dos protocolos 4 e 5 entrada do período de férias de verão

Ao final do mês de outubro de 2022 os biodigestores já estavam montados de forma correta, e os medidores estavam todos instalados. Na visita realizada no dia 24/10/22 foi reiniciada a operação dos biodigestores, pois estes não estavam produzindo biogás corretamente, devido principalmente a problemas de acidez verificados em setembro de 2022.

No mesmo dia 24/10/22 foi feita uma visita à Sanepar para conhecer as instalações da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) Ouro Verde e para retirar 100 litros de inóculo para reiniciar a operação dos dois biodigestores. De posse do inóculo e de volta ao colégio, os 100 litros de inóculo foram inseridos nos dois biodigestores em partes iguais, 50 litros para cada um. Foram também adicionados aos biodigestores 5,68 kg de resíduos da cozinha que consistiam em couve e polenta que foram batidos no liquidificador misturados com 9 litros de água. O pH desta mistura resíduos + água foi então medido, resultando em 4,39. Para correção do pH foi sendo adicionado cal virgem, até se chegar ao pH de 6,2. A mistura foi dividida e colocada em partes iguais nos biodigestores e então adicionada por gravidade internamente ao inóculo da Sanepar que tinha sido a pouco inserido nos biodigestores.

Medição de fração de metano no dia 25/10/22

Em outubro/22 os alunos do colégio envolvidos no projeto foram orientados a fotografar sistematicamente os biodigestores e gasômetros (reservatórios de biogás) com o intuito de auxiliar no controle da efetividade de operação dos biodigestores. Na data de 25/10/22, os alunos enviaram uma foto informando que o gasômetro estava cheio novamente, conforme mostrado na Figura 5. O objetivo principal foi verificar a qualidade do biogás por meio de medições da fração de metano produzido. As medições resultaram em uma fração de 72%, um excelente resultado, e mostrou novamente que a estratégia de esvaziar e encher novamente os biodigestores com inóculo da ETE da Sanepar se mostrou eficaz.

Foram programadas aulas práticas semanais com o intuito de cobrir todas as turmas de ensino médio e uma turma do 9º ano.

Instalação de reservatório para biogás com volume de 1 m³ no dia 26/10/22

É importante reportar à instalação de um reservatório adicional de biogás. Desde o reinício da produção de biogás em agosto/22, observou-se que quando os biodigestores apresentavam condições operacionais adequadas, a produção de biogás era elevada. O reservatório mostrado na figura 5 acima, com volume de aproximadamente 110 litros, mostrou-se insuficiente; por isso foi necessário adquirir um reservatório adicional com volume de 1000 litros. A Figura 5 anterior, mostra o reservatório de 1000 litros de cor azul em material PVC instalado no biodigestor do colégio CEGDS.

Com os registros dos alunos (CEGDS) foi possível observar pelas fotografias, que o reservatório de 1000 litros ficava cheio sempre 1 dia após a alimentação dos biodigestores, o que comprovou a efetividade do sistema de biodigestão. Após a correta instalação do novo gasômetro de 1000 litros, iniciou-se a sequência de aulas práticas com os alunos do ensino médio (EM).

No dia 28/10/22 foram atendidos os alunos do 2º Ano do EM. Foi feita apresentação dos biodigestores, com uma explanação introdutória sobre o projeto de extensão e o princípio de funcionamento dos biodigestores. Depois o grupo de alunos seguiu para o laboratório de ciências, onde os extensionistas ministraram aula prática aos alunos do 2º A. Foi explicado o funcionamento da digestão dos resíduos orgânicos dentro do biodigestor pelas bactérias *arqueas metanogênicas* na produção do biogás. Na sequência foi realizada uma experiência de combustão, comparando a chama azul com biogás puro, chama verde com adição de sais de cobre e chama alaranjada com sais de lítio. Durante os experimentos com as chamas, foi

possível explicar os princípios de reações químicas e liberação de energia térmica que ocorrem na combustão. Explicou-se que uma chama com cor azul forte é indicativo de uma boa queima, chamada de queima estequiométrica, e que o combustível é de boa qualidade. Além disso, os extensionistas explicaram a física por trás da coloração verde e vermelha das chamas, causada pelos saltos quânticos nos orbitais dos átomos componentes dos sais de cobre e lítio. Após a explicação da teoria da chama, utilizou-se a combustão do biogás para aquecimento de água em um béquer.

Por meio do experimento mostrado, foi possível abordar os princípios de metodologia científica no acompanhamento de um experimento real. Foi possível aplicar o conceito de tabelas e equações de 1º grau da temperatura da água em função do tempo do experimento, relacionando com conteúdo de matemática aprendidos em sala de aula. Foram explicados os fenômenos de liberação de energia da chama de biogás para o aquecimento da água, relacionados à física e à química. Conforme o experimento foi sendo realizado, aproveitou-se para mostrar aos alunos princípios de medição de temperatura utilizando câmeras de espectro infravermelho (IR) da luz.

As medições de temperatura utilizando a câmera IR despertaram a curiosidade dos alunos, permitiram transferir o conhecimento da disciplina física relacionada a ótica física e teoria da propagação da luz. Ao final, foram realizadas medições da composição do biogás utilizando um analisador de gases portátil da marca Landtec GEM 5000. Após algumas repetições com participações dos alunos do CEGDS, encontrou-se o valor médio de 78,6% de metano, o melhor resultado do biogás encontrado durante todo o projeto.

É importante frisar que o resultado de fração de metano de 78,6 % é um excelente resultado, e que este confirmou a eficácia da construção, do sistema de alimentação e operação dos biodigestores propostos pela equipe da IES no colégio CEGDS. Um importante resultado adicional obtido também na visita do dia 28/10/22 foi a sistematização do procedimento das aulas práticas, com biodigestores e biogás, conforme os cinco passos seguintes:

- 1 Apresentar os biodigestores com explicação do processo biológico de biodigestão, o processo de trituração e alimentação dos resíduos, correção de acidez/pH e balanço de massa/quantidade de resíduos alimentados, bem como biogás e biofertilizantes produzidos;

- 2 Encaminhar-se ao laboratório e explicar o que é biogás, fazer a medição da composição de metano e explicar o que é metano, o que CO_2 , o que é H_2S e o que é uma mistura de gases;

3 Iniciar o procedimento de queima do biogás com ar atmosférico utilizando Bico de Bunsen com orifício adaptado de 1 mm de diâmetro. Fazer experimentos com sais de cobre, sódio, lítio e estrôncio para explicar o conceito de diferenças energéticas em orbitais e formação de cores primárias;

4 Continuar o procedimento de queima do biogás com ar atmosférico utilizando Bico de Bunsen com orifício adaptado de 1 mm de diâmetro, explicando o conceito de reação química, liberação de calor e aquecimento de recipientes com líquidos (água);

5 Aplicar a metodologia científica experimental, por meio do acompanhamento do aquecimento da água, construindo uma tabela contendo uma coluna com o tempo em minutos e outra com a temperatura interna da água em ° C. Explicar também os conceitos de transferência de calor/energia (calor sensível e calor latente).

Com a sistematização dos cinco passos acima foi possível padronizar as aulas para as próximas turmas, garantindo que o conhecimento repassado a diferentes turmas fosse o mais homogêneo possível. É importante dizer que a realização dos cinco passos acima envolveu os seguintes conhecimentos do ensino médio: passo 1 – biologia, física, química e sustentabilidade ambiental; passo 2 – física e química; passo 3 – física, química e artes (teoria das cores); passo 4 – física e química; e passo 5 – física e matemática. No dia 04/11/22 foram atendidos os alunos da turma 3^a A do ensino médio do colégio CEGDS. Repetiram-se os cinco passos listados acima, figura 6.

Figura 6 – Alunos do 3º A levando o gasômetro ao laboratório



Fonte: Autores (2023).

As medições da composição do biogás realizadas no dia 04/11/22 resultaram em um valor médio de **61,3 % de metano**. Esse valor ainda pode ser considerado um bom valor para biogás, no entanto, abaixo dos 78,6 % medidos no dia 28/10/22.

Visita técnica realizada em 07/11/2022

A visita do dia 07/11/22 teve como objetivo alimentar os biodigestores e testar a possibilidade de utilização do biogás produzido para a cozinha do colégio. Para a alimentação dos biodigestores estavam disponíveis 11,01 kg de cascas de cenouras e 7,815 kg de arroz e mandioca, totalizando 18,825 kg de resíduos. As cascas, o arroz e a mandioca foram misturadas com 28 litros de água para respeitar a proporção de 2:3 entre resíduos e água, e em pequenas frações foram triturados no liquidificador. Após a alimentação dos biodigestores, o gasômetro de 1000 litros foi levado à cozinha do colégio para testar a utilização energética do biogás. O gasômetro foi conectado a um queimador industrial, adaptado para aquecer uma panela com 40 litros de água colocado no fogão industrial do colégio. A utilização do biogás na cozinha do colégio foi exitosa com o esquema de adaptação; foi possível aquecer 40 kg de água desde a temperatura ambiente até sua temperatura de ebulição (~100° C).

Visita técnica realizada em 11/11/2022

No dia 11/11/22, aula prática aos alunos da turma 1ª ADM (1º ano administração) do ensino médio e alimentação dos biodigestores. A Figura 8 mostra os alunos para apresentação teórica nos biodigestores, no laboratório do colégio CEGDS durante a aula prática.

Visita técnica realizada em 17/11/2022

A visita do dia 17/11/22 foi diferente das demais, o objetivo foi demonstrar a lógica, construção e operação do circuito Arduíno, para medir temperatura e pH dos substratos dos biodigestores. A aula prática foi ministrada aos alunos da disciplina Pensamento Computacional do 1º ano do ensino médio.



Fonte: Autores (2023).

Visita técnica realizada em 23/11/2022

Na visita do dia 23/11/22 foi ministrada uma aula prática a uma turma do ensino fundamental, 7º ano do período vespertino. A aula foi dentro da disciplina de artes e tinha o objetivo principal de mostrar os biodigestores, falar de sustentabilidade ambiental e mostrar a chama do biogás e formação de chamas coloridas.

Foi realizada também a alimentação dos biodigestores. Para a alimentação utilizaram-se 13,248 kg de cascas de cenoura e batata doce e 9,408 kg de arroz, alface e feijão, resultando em 22,656 kg de resíduos. Todo o resíduo foi triturado e misturado no liquidificador (em pequenas frações) com 34 litros de água para respeitar a proporção de 2:3 entre resíduos e água escolhida. O pH da mistura foi medido, resultando em 3,84, mais ácido do que o desejado. Por isso então foram adicionadas três frações de 30 g de cal, totalizando 90 g até que o pH medido ficasse em 7,82.

Visita técnica realizada em 25/11/2022

No dia 25/11/22 foram atendidos os alunos da turma 9º A do ensino fundamental do colégio CEGDS, com a repetição dos cinco passos. A figura 9 mostra os alunos do 9º ano, observando os biodigestores no laboratório e comparando chamas de biogás durante o experimento.

Figura 9 - Em (A) Alunos do 9º A observando os biodigestores do colégio CEGDS; em (B)

Alunos do 9º A em aula prática no laboratório de ciências do colégio CEGDS



Fonte: Autores (2023).

Visita técnica realizada em 02/12/2022

No dia 02/12/22 foi realizada a última visita do cronograma de aulas práticas. Foram atendidos os alunos da turma 1º C do EM do colégio CEGDS. Recebeu-se também a visita de 6 discentes do curso de pós-graduação em energia e sustentabilidade da IES (PPGIES). Os professores acadêmicos realizaram práticas com drone (Figura 10), com os alunos do colégio CEGDS. Os alunos do 1º C e os discentes do PPGIES/IES assistiram à explanação sobre os biodigestores.

Figura 10 – Tomada aérea com drones, atividade praticada com os alunos do colégio



Fonte: Autores (2023).

Na visita do dia 02/12/22 estava baixa a quantidade de biogás armazenado. Considerando a massa de resíduos alimentada na última visita no dia 25/11/22, a correção de pH e as altas temperatura entre os dias 25/11/22 e 02/12/22, e considerando o histórico de produção de biogás nos meses de outubro/novembro de 2022, o reservatório deveria estar totalmente cheio de biogás no dia 02/12/22, o que não se verificou. Após discussões, conclui-

se que a baixa produção de biogás foi devido ao uso de um liquidificador diferente na visita do dia 25/11/22, não foi capaz de promover a correta granulometria dos resíduos, fazendo com que pedaços grandes de resíduos orgânicos entrassem no biodigestor, dificultando o processamento pelas bactérias. Isto vai ao encontro do que foi estudado na revisão bibliográfica e protocolos anteriores, em que a granulometria dos resíduos alimentados ao biodigestor é um dos principais parâmetros para a boa operação do biodigestor e produção de biogás.

Após a apresentação dos biodigestores, os alunos do 1º C do colégio CEGDS e do PPGIES/IES foram para o laboratório de ciências. Em paralelo, um segundo grupo de extensionistas fez a alimentação dos biodigestores. Utilizando um novo liquidificador foram triturados 8,64 kg de cascas de melão junto a 13 litros de água. O pH medido da mistura foi de 5,58 e após adição de 60g de cal, subiu para 7,04. O liquidificador utilizado conseguiu promover uma mistura homogênea, com granulometria adequada para processamento pelas bactérias dentro do biodigestor.

Visita técnica realizada em 03/12/2022 – Oficina de Compostagem

No dia 03/12/22 foi realizada atividade extra, a 1ª Oficina de Compostagem do Colégio Gustavo Dobrandino (Figura 11), com o objetivo de montar composteiras para a comunidade escolar. Foi feita demonstração dos biodigestores e dos resultados da produção. As atividades de queima do biogás no dia mostraram que a alimentação dos resíduos no dia 02/12/22, utilizando um liquidificador eficaz na trituração dos resíduos, fez com que a produção do biogás fosse efetiva. Assim, duas conclusões principais puderam ser claramente obtidas no dia 03/12/22:

- 1 A utilização de um liquidificador adequado para obter uma granulometria pequena é de suma importância para operação do biodigestor;

- 2 Como o reservatório de 1000 litros foi totalmente esvaziado na aula prática do dia 02/12/22 e no mesmo dia 02/12/22 foram inseridos aproximadamente 8,5 kg de resíduos, os 1000 litros de biogás utilizados na oficina no dia 03/12/22 resultaram quase que totalmente dos resíduos alimentados na sexta-feira dia 02/12/22. Assim obteve-se a relação de biogás produzido como sendo $(1000 \text{ litros} / 8,5 \text{ kg}) = 117 \text{ litros de biogás/ kg de resíduo}$, valor próximo aos levantados na revisão bibliográfica do início do projeto. A Figura 11 abaixo mostra fotos da oficina de compostagem do dia 03/12/2023 no CEGDS.

Visita técnica realizada em 15/12/2022 – Finalização do Projeto e Desmontagem dos Biodigestores

As aulas na rede estadual de ensino do Paraná se finalizaram na segunda quinzena de dezembro, iniciou-se a finalização do projeto, desmontagem dos biodigestores, limpeza e guarda dos componentes. O conteúdo de biofertilizante dos biodigestores foi recolhido e aspergido na horta para servir de adubo orgânico.

Figura 11 – Imagens resumo das atividades finais do projeto

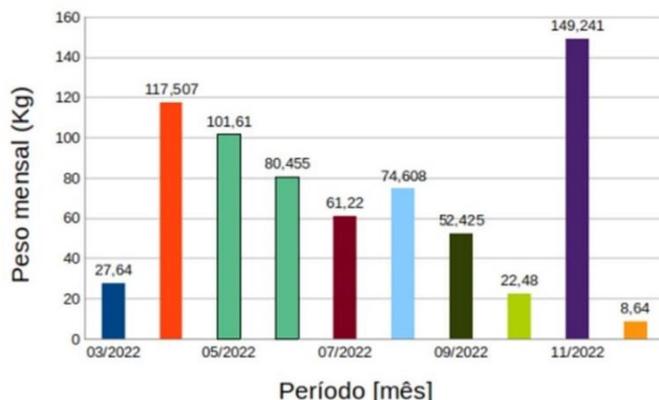


Fonte: Autores (2023).

Cômputo da quantidade total de resíduos orgânicos coletados no colégio CEGDS

As medições diárias de massa realizadas pelos alunos do ensino médio do colégio CEGDS mostraram que um total 695,83 kg de resíduos orgânicos foram coletados na cozinha do colégio e evitados de serem enviados ao aterro sanitário de Foz do Iguaçu (PR) (Figura 12).

Figura 12 – Produção mensal de resíduos no colégio CEGDS



Fonte: Autores (2023).

Essa quantidade de resíduos orgânicos gerou aproximadamente 48,85 m³ de biogás com 60 % de metano. Com essa quantidade de biogás seria possível substituir aproximadamente 33 kg de GLP utilizado na cozinha do colégio CEGDS.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acredita-se que a extensão e suas atividades de ensino mediado, experimentalivo e ativo tenham atingido todos os objetivos propostos. Apresentaram-se conceitos científicos complexos de produção de biogás a partir de resíduos orgânicos e construídas situações de ensino-aprendizagem condizentes com as faixas etárias das turmas que participaram em momentos distintos de cada protocolo.

O repasse de etapas inteiras aos cuidados dos alunos do colégio, como separação dos resíduos, pesagem e verificação de parâmetros de produção do gás, quando da não presença dos extensionistas, se mostrou extremamente eficiente, pois oportunizou o crescimento do sentimento de responsabilidade, pertencimento e de contribuição ao bom funcionamento de sua própria escola. A organização inserida pelos professores do colégio sobre o tema e a criação de situações-problema dinamizando as próprias aulas trouxe um caráter mais plural e ao mesmo tempo interdisciplinar. Isso de fato enriqueceu os currículos aplicados no período da ação, sem contar a energia empática, criada em todos os envolvidos no dia a dia, o que é difícil de mensurar e explicar em palavras.

Outra situação relevante nesse contexto foi a organização dos extensionistas ao longo do processo, pesquisando conteúdos, resolvendo situações, por vezes difíceis em um primeiro momento, mas que acabaram por ser aplicáveis didaticamente nos protocolos científicos repassados aos alunos do colégio.

Sendo assim, a relação dos coordenadores, professores do colégio, extensionistas acadêmicos e alunos do ensino básico foi extremamente produtiva, muito em função da compreensão do rigor científico produzido na academia e da necessidade de torná-lo mais inteligível à comunidade que ainda se encontra em formação. Ressalta-se que todo o processo ocorreu com muita fluidez, devido à aceitabilidade cordial e gentil da equipe escolar que abraçou a ideia desde o início. Por fim, acredita-se que o sucesso dessa ação servirá como base sólida a outros colégios do mesmo município, servindo de vitrine para políticas públicas locais, regionais e globais que se preocupam com a destinação dos resíduos sólidos, produção de energia e economia de recursos. Sugere-se ao final, a criação de uma carreira específica de **Professor Orientador de Projetos** no magistério de ensino médio, para realização deste tipo de projeto em nível nacional.

AGRADECIMENTOS

A equipe de projeto agradece aos professores, funcionários e direção do colégio CEGDS pela receptividade e ajuda com o projeto. Agradecemos também à Secretária de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Paraná SETI/PR pelas bolsas de extensão e à IES pelo apoio material, bolsas de extensão e recursos para aquisição de materiais de consumo necessários à execução do projeto.

REFERÊNCIAS

BAJRACHARYA, Tri Ratna; DHUNGANA, Alok; THAPALIYA, Nirajan; HAMAL, Gogan. Purification and compression of biogas: A research experience. **Journal of the Institute of Engineering**, vol. 7, pp. 1-9, 2009. <https://doi:10.3126/jie.v7i1.2066>.

DAOUK, Zeina; BAHOUS, Rima; BACHA, Nahla Nola. Perceptions on the effectiveness of active learning strategies. **Journal of Applied Research in Higher Education**, [s. l.], 8. 360-375. 10.1108/JARHE-05-2015-0037, 2016.

GUSC, Joanna; VAN VEEN-DIRKS, Paula. Accounting for sustainability: an active learning assignment. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, [s. l.], 18. 329-340. 10.1108/IJSHE-11-2015-0185, 2017.

Kaza, Silpa; Yao, Lisa C.; Bhada-Tata, Perinaz; Van Woerden, Frank. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Washington DC: The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0.2018>.

LEMA J.M.; MÉNDEZ L. R.; GUERRERO, F. Omil. Treatment of saline wastewaters from fish meal factories in an anaerobic filter under extreme ammonia concentrations, **Bioresource Technology**, [s. l.], Volume 61, Issue 1, 1997, p. 69-78, 1997. ISSN 0960-8524. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)84701-3](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)84701-3). Acesso em: 5 fev. 2023.

MANFRON, P. A.; LIBARDI, P. L.; PAULETTO, E. A.; MORAES, S. O. Efeito do método de preparo do solo na distribuição radicular do milho (*Zea mays*, L.) em terra roxa estruturada. **Ciencia Rural**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 353-366, set./dez. 1991.

MISSEYANNI, Anastasia; LYTRAS, Miltiadis; PAPADOPOULOU; PARASKEVI; MAROULI, C. **Active Learning Strategies in Higher Education**, [s. l.], 2018.

OLIVEIRA, P. A. V. (coord.). **Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos**. Concórdia: EMBRAPA/CNPSA, 1993. (EMBRAPA CNPSA. Documento, 27).