

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Instituto de Ciências Biológicas

Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Biologia

Cássia Solange Silva

**BIODIGESTOR RURAL COMO FERRAMENTA PARA A APRENDIZAGEM DE
CONCEITOS ECOLÓGICOS E SABERES AMBIENTAIS**

Belo Horizonte

2022

Cássia Solange Silva

**BIODIGESTOR RURAL COMO FERRAMENTA PARA A APRENDIZAGEM DE
CONCEITOS ECOLÓGICOS E SABERES AMBIENTAIS**

Versão Final

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Ensino de Biologia em Rede Nacional- PROFBIO, do Instituto de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Biologia.

Orientador: Dr. Daniel Marchetti Maroneze
Coorientador: Dra. Vanessa Avelar Cappelle
Fonseca

Belo Horizonte
2022

043

Silva, Cássia Solange.

Biodigestor rural como ferramenta para a aprendizagem de conceitos ecológicos e saberes ambientais [manuscrito] / Cássia Solange Silva. – 2022. 110 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientador: Dr. Daniel Marchetti Maroneze. Coorientador: Dra. Vanessa Avelar Cappelle Fonseca.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas. PROFBIO - Mestrado Profissional em Ensino de Biologia.

1. Ensino - Biologia. 2. Ecologia. 3. Ciência, Tecnologia e Sociedade. 4. Resíduos de Alimentos. 5. Digestores de Biogás. 6. Plano de aula. 7. Pesquisa científica. I. Maroneze, Daniel Marchetti. II. Fonseca, Vanessa Avelar Cappelle. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Ciências Biológicas. IV. Título.

CDU: 372.857.01



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE BIOLOGIA

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE MESTRADO DE

CÁSSIA SOLANGE SILVA

DEFESA Nº. 026 ENTRADA 1º/2020

No dia **25 de agosto de 2022**, às **14:00 horas**, reuniram-se, remotamente, através da plataforma Google Meet, os componentes da Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão de Mestrado, indicados pelo Colegiado do PROFBIO/UFMG, para julgar, em exame final, o trabalho intitulado: "**BIODIGESTOR RURAL COMO FERRAMENTA PARA A APRENDIZAGEM DE CONCEITOS ECOLÓGICOS E SABERES AMBIENTAIS**", sob orientação do Prof. Dr. Daniel Marchetti Maroneze e co-orientação da Profa. Dra. Vanessa Avelar Cappelle Fonseca, como requisito final para a obtenção do grau de Mestre em Ensino de Biologia, área de concentração: **Ensino de Biologia**. Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, o **Dr. Daniel Marchetti Maroneze**, após dar conhecimento aos presentes sobre as Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra à candidata para apresentação oral de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa da candidata. Logo após, a Banca se reuniu, sem a presença da candidata e do público, para julgamento e expedição do resultado. Foram atribuídas as seguintes indicações:

PROFESSOR EXAMINADOR	INSTITUIÇÃO	INDICAÇÃO
Dr. Daniel Marchetti Maroneze	UFMG	APROVADA
Dra. Vanessa Avelar Cappelle Fonseca	UFMG	APROVADA
Dr. Alfredo Hannemann Wieloch	UFMG	APROVADA
Dra. Ludmila Silva Brighenti	UEMG	APROVADA

Pelas indicações, a candidata foi considerada: **APROVADA**.

O resultado foi comunicado publicamente à candidata pelo Presidente da Comissão.

Comunicou-se, ainda, à candidata, que o texto final do TCM, com as alterações sugeridas pela banca, se for o caso, deverá ser entregue à Coordenação Nacional do PROFBIO, no prazo máximo de 60 dias, a contar da presente data, para que se proceda a homologação.

Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Banca Examinadora.

Belo Horizonte, 25 de agosto de 2022.

Assinatura dos membros da banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Daniel Marchetti Maroneze, Professor Ensino Básico Técnico Tecnológico**, em 26/08/2022, às 14:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ludmila Silva Brighenti, Usuária Externa**, em 30/08/2022, às 18:43, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vanessa Avelar Cappelle Fonseca, Técnica em Assuntos Educacionais**, em 31/08/2022, às 09:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Miguel Jose Lopes, Coordenador(a)**, em 01/09/2022, às 07:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alfredo Hannemann Wieloch, Subcoordenador(a)**, em 05/09/2022, às 10:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1708614** e o código CRC **6AAEDDA**.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Brasil - Código de Financiamento 001.

A Deus por ter tornado tudo (...) possível.

À minha família, ao esposo Baltazar e aos filhos Lucas e Letícia pelo apoio e cumplicidade em todos os momentos.

Aos orientadores Daniel e Vanessa pela empatia, respeito e aprendizado.

Aos Professores do PROFBIO/UFMG por acreditarem que podem contribuir para melhorar a Educação de nosso país a partir da formação continuada dos professores da Educação Básica.

A todos os Professores Avaliadores dos meus trabalhos pelas colaborações, discussões e ensinamentos.

Aos colegas da pós-graduação e dos grupos de trabalho (especialmente Leandro, Darjana, Aline, Luciana Sobral, Luciane, Marlise, Elaine, Arnaldo e Thiago Moreira), pelas trocas de experiências e apoio mútuo em todos os desafios que enfrentamos no percurso.

À amiga Érica Vitória por me acompanhar mesmo distante, ouvindo, animando e trocando ideias.

A toda Rede PROFBIO pela oportunidade.

À CAPES pelo financiamento do curso e pela bolsa de estudos.

Aos meus alunos pela participação nas Atividades de Aplicação em Sala de Aula e por me darem motivos para sempre buscar o meu melhor.



Relato do Mestrando - Turma 2020

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais
Mestrando: Cássia Solange Silva
Título do TCM: Biodigestor rural como ferramenta para a aprendizagem de conceitos ecológicos e saberes ambientais
Data da defesa: 25-08-2022
<p>Atualmente tenho 28 anos de docência. Para quem completou os estudos de graduação com tantas dificuldades e sacrifício, cursar o Mestrado não é apenas um sonho, é uma vitória pessoal resultante de persistência e dedicação. Nasci e fui criada numa cidade interiorana distante da capital, vinda de uma origem muito simples. É uma conquista ímpar. Fui pioneira em minha família materna a alcançar um diploma de Ensino Superior. Chegar ao final dessa etapa é dar sentido às restrições, sacrifícios e empecilhos da jornada. Sempre me considerei uma aluna dedicada de aproveitamento máximo nos estudos. A beleza e a contemplação da vida me levaram ao encontro da Biologia. Já percorri todos os níveis de Ensino como docente, da Educação Infantil ao Ensino Superior. Minha percepção como professora foi marcada pela busca incessante de formação continuada, estratégias de ensino variadas e uso de recursos didáticos distintos, visando alcançar os diferentes tipos de inteligências em estudantes inseridos em turmas heterogêneas.</p> <p>Eu achava que estava fazendo todo o possível pelos meus alunos até que conheci o PROFBIO. Posso dizer que o PROFBIO mudou bastante a minha concepção de lecionar. Percebi que fazia muitas perguntas, mas não deixava meus alunos buscarem as respostas. Muitas mudanças foram inseridas no meu dia a dia. Eu não entrava em uma sala de aula sem preparar as aulas, mas aprendi que o planejamento docente deve ir além da necessidade de cada aula. A pesquisa de novas estratégias pedagógicas tornou-se constante. Diversas estratégias de ensino-aprendizagem que eu não conhecia ou não utilizava, passaram a fazer parte da prática docente. Por exemplo, simuladores virtuais, gamificação, sequências de ensino, entre outros. A abordagem metodológica do ensino de ciências por investigação, me trouxe grande entusiasmo de ensinar. A introdução de questões norteadoras, incentivo dos alunos à observação, elaboração de hipóteses e comunicação de ideias fez a diferença no engajamento discente. As conclusões dos estudantes valorizando seus conhecimentos prévios sem perder de vista a elaboração de conceitos, trouxe um significado maior aos estudos escolares de Biologia.</p> <p>Minha postura passou a ser mais mediadora, guiando os estudantes a encontrar suas próprias respostas sem intervir precocemente, deixando o aluno percorrer o caminho da descoberta com autonomia e liberdade intelectual em níveis gradativos. Sempre busquei fazer a diferença na vida dos meus alunos. Isso sempre foi importante para mim. Trabalhamos com tantas situações difíceis, famílias despreparadas, empobrecidas material e intelectualmente. Conseguir acender a centelha do sonho em um estudante, ajudando-o a descobrir seu potencial e seu valor, traz o sentimento do dever cumprido. Acredito que não há melhor forma de aprender do que por meio do trabalho de um professor. Creio que a mudança social necessária e adequada começa na escola.</p> <p>Por fim, é valioso ter a oportunidade de colaborar com outros professores, talvez portadores de sonhos adormecidos e desanimados com os resultados da profissão. O produto educacional disponibilizado neste trabalho, pode preencher outras vidas de significado.</p>

RESUMO

Conectar o mundo real dos estudantes com os saberes científicos e escolares abordados nas salas de aula é um anseio da maioria dos professores. Considerando essa realidade, especialmente o contexto de uma escola estadual do noroeste mineiro, surgiu a proposta desse trabalho. Localmente, a atividade rural constitui a principal fonte de renda para as famílias de muitos alunos do Ensino Médio da referida escola. Neste sentido, este trabalho teve como objetivos: (1) elaborar uma sequência de ensino sobre o aproveitamento de resíduos orgânicos por meio de experimentos e construção de um biodigestor e (2) promover uma reflexão crítica sobre a sequência de ensino, por meio de artigos e na reprodução dos biodigestores, identificando as limitações/potencialidades que podem influenciar a compreensão dos estudantes sobre o processo de construção de conhecimentos científicos e os desdobramentos para a geração de benefícios econômicos e ambientais. Visando alcançar o primeiro objetivo foram elaboradas atividades pautadas nos princípios do Ensino de Ciências por Investigação integrado à perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade. Para atingir o segundo objetivo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica apoiada em dados coletados por materiais construídos para experimentação e fotografias. O trabalho foi concebido, originalmente, para ser aplicado de forma presencial. Contudo, em virtude da pandemia de Covid-19, foi necessária uma reorientação para se adequar aos prazos do PROFBIO e a sequência não foi aplicada. Optou-se, portanto, por produzir a sequência de ensino e construir dois tipos de biodigestores para testar a viabilidade da proposta. Com a futura aplicação deste trabalho, espero contribuir para oferecer oportunidades aos estudantes de refletirem sobre impactos ambientais e alternativas de geração de energia e renda, a partir dos resíduos orgânicos descartados nas propriedades em que vivem. Adicionalmente, pretendo promover o papel social do ensino das Ciências, na perspectiva de formação da cidadania, de forma que os estudantes ressignifiquem os saberes sobre aproveitamento de resíduos orgânicos e divulguem esses conhecimentos para outros públicos da região.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos orgânicos. Ecologia. Ensino de Ciências por Investigação. Abordagem Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente.

ABSTRACT

Connecting the real world of students with scientific and academic knowledge addressed in classrooms is a desire of most teachers. Considering this reality, especially from a state school in the northwest of Minas Gerais, the proposal for this work emerged. Locally, rural activity provides the main source of income for the families of many high school students who attend that school. In this sense, this work aimed to: (1) develop a teaching method on the use of organic waste through experiments and construction of a biodigester and (2) Promote a critical reflection of the teaching method, through articles and in the reproduction of biodigesters, identifying the limitations/potentials that can influence students' understanding of the process of building scientific knowledge and the consequences for the generation of economic and environmental benefits. In order to achieve the first objective, activities were developed based on the principles of Science Teaching by Investigation integrated to the Science, Technology and Society perspective. To achieve the second objective, a bibliographic research was carried out supported by data collected from materials built for experimentation and photographs. The work was originally conceived to be applied in person. However, due to the Covid-19 pandemic, a reorientation was necessary to adapt to the PROFBIO deadlines and the method was not applied. It was therefore decided to produce the teaching sequence and build two types of biodigesters to test the feasibility of the proposal. With the future application of this work, I hope to contribute to offering opportunities for students to reflect on environmental impacts and alternatives for generating energy and income from organic waste discarded in the properties where they live. Additionally, I intend to promote the social role of science teaching, from the perspective of citizenship formation, so that students give new meaning to the knowledge about the use of organic waste and share this knowledge to other audiences in the region.

KEYWORDS: Organic waste, Ecology, Science Teaching through Research, Science-Technology-Society-Environment Approach.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Experimento simulando um mini biodigestor simples.....	29
Figura 2 – Biodigestor construído no primeiro dia de operação.....	31
Figura 3 – Quadro resumo das etapas e momentos a serem percorridos durante a proposta de aplicação da sequência de ensino investigativa sobre a biodigestão.....	34
Figura 4 – Manejo de gado bovino em propriedade rural.....	36
Figura 5 – MANZONI, Piero. Merda d’artista (1961)	37
Figura 6 – Sabonete Angarag.....	38
Figura 7 – Café Kopi Luwak produzido a partir de grãos consumidos e excretados pelos civetas asiáticos.....	39
Tabela 1 – Detalhes do experimento realizado com miniaturas de biodigestor em garrafas PET	52
Tabela 2 – Alguns exemplos de dejetos animais e sua capacidade de produzir biogás.....	53
Figura 8 – Experimento simulando um mini biodigestor simples. Dia 7 (à sombra)	54
Figura 9 – Experimento simulando um mini biodigestor simples. Dia 11 (ao sol)	55
Figura 10 - Experimento simulando um mini biodigestor em detalhe parcial.....	55
Figura 11 - Experimento simulando um mini biodigestor em detalhe parcial.....	55
Figura 12 – Câmara de ar no 12º dia de operação do biodigestor.....	58
Figura 13 – Câmara de ar no 15º dia de operação do biodigestor.....	58
Figura 14 – Câmara de ar no 20º dia de operação do biodigestor.....	59
Figura 15 – Câmara de ar no 30º dia de operação do biodigestor.....	59
Figura 16 – Câmara de ar conectada ao fogareiro.....	60
Figura 17 – Representação do ciclo investigativo proposto por Pedaste <i>et al.</i> (2015).....	63
Figura 18 – Representação infográfica do Ciclo Investigativo da Sequência de Ensino: Biodigestor rural como ferramenta para a aprendizagem de conceitos ecológicos e saberes ambientais.....	66
Figura 19 - Foto de uma pequena propriedade rural.....	78
Figura 20 – Foto de obra de arte conceitual italiana.....	78
Figura 21 – Foto de embalagem e sabonete indiano.....	79
Figura 22 – Foto de café produzido a partir de grãos consumidos e excretados pelo animal asiático civeta (luwak)	79

Figura 23 – Quadro de materiais utilizados na montagem do biodigestor de batelada adaptado e respectivos preços.....	80
Figura 24 – Tambor plástico com tampa 200 litros.....	83
Figura 25 – Alguns materiais utilizados na montagem do biodigestor de batelada adaptado.....	83
Figura 26 – Alguns materiais utilizados na montagem do biodigestor de batelada adaptado.....	84
Figura 27 – Alguns materiais utilizados na montagem do biodigestor de batelada adaptado.....	84
Figura 28 – Alguns materiais utilizados na montagem do biodigestor de batelada adaptado.....	85
Figura 29 – Tambor plástico (200 litros) com orifício central superior, realizado com a serra copo.....	87
Figura 30 – Detalhe do tambor plástico (200 litros) com orifício central superior, realizado com a serra copo (100 mm = 10 cm)	87
Figura 31 – Detalhe do tambor plástico (200 litros) com furo aberto a 65 cm de altura da base por cano 50 mm aquecido.....	88
Figura 32 – Detalhe do tambor plástico (frente e perfil), com o furo lateral, encaixado com flange e borracha.....	88
Figura 33 – Curva pvc 50 mm, encaixada no adaptador curto soldável com rosca. A extremidade roscável do adaptador, está envolvida com fita veda rosca.....	89
Figura 34 – Curva e adaptador encaixados no flange pelo lado interno do tambor plástico.....	89
Figura 35 – Detalhe com uma das tampas menores do tambor plástico, perfurada para encaixe do nípel, mangueira de gás e abraçadeira.....	90
Figura 36 – Detalhe com uma das tampas menores do tambor plástico, perfurada para encaixe do nípel, mangueira de gás e abraçadeira.....	90
Figura 37 – Detalhe com uma das tampas menores do tambor plástico, perfurada para encaixe do nípel, mangueira de gás e abraçadeira.....	90
Figura 38 – Veda calha utilizado para vedação dos encaixes das peças e tubos nas aberturas do tambor plástico.....	90
Figura 39 – Montagem do registro para regulação de passagem do biogás.....	91
Figura 40 – Mangueira de condução do biogás com registro e bico.....	92
Figura 41 – Ligação entre bico de enchimento e a câmara emborrachada que receberá o biogás produzido.....	92
Figura 42 – Detalhe da ligação entre bico de enchimento e a câmara emborrachada que receberá o biogás produzido.....	92

Figura 43 – Visualização da colocação do tubo pvc, no orifício superior central e registro lateral	93
Figura 44 – Esterco bovino fresco com água.....	94
Figura 45 - Colocação do material dentro do biodigestor	95
Figura 46 – Biodigestor de batelada adaptado após a conclusão da montagem e carregamento de biomassa.....	96
Figura 47 – Capa do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural.....	97
Figura 48 – Página 2 do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural.....	98
Figura 49 – Página 3 do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural.....	99
Figura 50 – Página 4 do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural.....	100
Figura 51 – Página 5 do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural.....	101
Figura 52 – Página 6 do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural.....	102
Figura 53 – Página 7 do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural.....	103
Figura 54 – Página 8 do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural.....	104
Figura 55 – Página 9 do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural.....	105
Figura 56 – Foto de reportagem da Revista Eletrônica Superinteressante	106

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CEP	Comitê de Ética e Pesquisa
C	Celsius ou Centígrados
CM	Centímetros
CO ₂	Dióxido de Carbono ou Gás Carbônico
COVID	Corona Vírus Disease (Doença do Coronavírus)
CTS	Ciência Tecnologia e Sociedade
CTSA	Ciência Tecnologia Sociedade e Ambiente
EnCI	Ensino de Ciências por Investigação
G	Gramas
H ₂	Gás Hidrogênio
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações
MEC	Ministério da Educação e Cultura
M	Metros
MM	Milímetros
PET	Politereftalato de Etileno
PISA	Programa Internacional de Avaliação de Estudantes
PROFBIO	Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Biologia
PVC	Policloreto de Polivinila
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	20
3. OBJETIVOS	25
3.1 Objetivo geral.....	25
3.2 Objetivos específicos.....	25
4. METODOLOGIA	26
4.1 Características e construção da Sequência de Ensino Investigativa.....	26
4.2 Construção de Experimento com biodigestor simples (miniatura experimental) para a indicação de práticas na construção de uma Sequência de Ensino Investigativa	28
4.3 Construção de um Biodigestor caseiro de maior capacidade.....	30
4.4 Reflexão crítica sobre a Sequência de Ensino.....	31
4.5 Confeção da Cartilha de Sugestões de boas práticas rurais	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Sequência de Ensino Investigativa.....	34
5.2 Resultados do experimento com biodigestor simples (miniatura experimental)	51
5.3 Resultados do Biodigestor Caseiro.....	57
5.4 Reflexão crítica sobre a Sequência de Ensino.....	62
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
REFERÊNCIAS	72
APÊNDICES	78
ANEXO	106

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história, a relação do ser humano com a natureza tem sido marcada por diferentes instâncias econômicas e sociais. Neste cenário, a Revolução Industrial teve um papel importante no processo de degradação ambiental do planeta, moldando fortemente a organização predatória e o caráter poluidor da sociedade atual (POTT; ESTRELA, 2017)¹. A intensa geração de resíduos resultante das atividades humanas é, sem dúvida, um reflexo indissociável de escolhas passadas que priorizaram modelos poucos sustentáveis de produção e de consumo. Tanto na cidade quanto no campo, práticas ligadas à indústria, comércio e agropecuária geram, nos dias de hoje, toneladas de resíduos das mais variadas naturezas (GOUVEIA, 2012; NUNES *et al.*, 2017). Por exemplo, não é raro que o excesso de materiais orgânicos no lixo urbano ou dejetos de animais em criadouros rurais se desdobre, direta ou indiretamente, em prejuízos ambientais como a poluição, e para as pessoas, doenças. Tal quadro é alarmante, indicando a urgente necessidade de buscarmos alternativas para amenizar tamanho impacto ambiental (ABREU-JUNIOR *et al.*, 2005).

No Brasil, a Constituição Federal prevê que “todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado” cabendo ao Estado “promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino” (BRASIL, 1988). Sendo assim, as escolas de educação básica emergem como espaços de grande potencial para efetiva inclusão dos jovens no debate ambiental. Nesse contexto, podem contribuir, por extensão, para a formação de cidadãos críticos, conscientes e responsáveis. Em outras palavras, cidadãos que busquem soluções para os problemas reais da comunidade (local, regional ou global) da qual fazem parte. Estes compromissos são preconizados, inclusive, no documento oficial (BRASIL, 2018) norteador da Educação Básica no Ensino Médio: a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Na área de Ciências da Natureza, são pontuadas diversas habilidades a serem desenvolvidas pelos estudantes. Dentre elas, podemos destacar aspectos que envolvem o

1- Este trabalho adotou as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) conforme a Norma Brasileira (NBR) 14724:2011.

uso racional dos recursos naturais, a proposição de soluções individuais/coletivas relacionadas a materiais e produtos potencialmente prejudiciais ao ambiente, bem como a previsão de efeitos de intervenções nos ecossistemas (BRASIL, 2018).

Tradicionalmente, são nas aulas de Biologia que muitos desses aspectos podem e devem ser trabalhados. Momentos especialmente interessantes para a inserção dessas habilidades ocorrem quando os conteúdos da Ecologia são formalmente abordados (ex. ciclos biogeoquímicos, impactos ambientais, relações ecológicas.). Ainda que estas ocasiões sejam excelentes oportunidades para o professor trabalhar de modo diferenciado, segundo Motokane (2015) o ensino de Ecologia ainda é fortemente caracterizado por um formato descritivo que preza pela memorização de nomes e termos. Para o autor, iniciativas envolvendo trabalhos de campo, contextualização de temáticas socioambientais, bem como reflexões sobre como os conhecimentos ecológicos são cientificamente construídos e podem ser mais bem exploradas na educação básica. Dentre os exemplos de abordagens que caminham nesta direção e rompem com o modelo tradicional de ensino estão a perspectiva Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente (CTSA) e o Ensino de Ciências por Investigação (EnCI).

A abordagem CTSA está pautada na educação científica, tecnológica e social, associada a aspectos econômicos, éticos, geográficos, políticos e históricos, bem como sua reflexão e discussão. Nesse sentido, as experiências cotidianas dos estudantes podem ser o ponto de partida para conectar problemas socioambientais com a proposição de medidas tecnológicas que visam solucioná-los. Assim, o professor contribui para a compreensão do papel social do ensino das ciências, na perspectiva de formação da cidadania (SANTOS; MORTIMER, 2002). Essa inserção curricular representa, portanto, um grande diferencial educativo.

Em relação ao EnCI, ele se caracteriza por ser uma perspectiva de “ensino menos fragmentado” (FRANCO; SOUTO; MUNFORD, 2018, p.1), integrando práticas que valorizam o protagonismo estudantil, o engajamento com perguntas de orientação científica, formulação de explicações a partir de evidências, avaliação dessas explicações à luz de teorias existentes, justificando e comunicando as propostas em um processo interativo e reflexivo (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011; CARVALHO *et al.*, 2018). É importante ressaltar que o EnCI não se restringe às atividades experimentais, afinal, outras práticas também podem conter os traços de uma investigação e propiciar autonomia, tomada de decisões, resolução de problemas e a compreensão de conceitos por parte dos estudantes. Assim, no EnCI, é essencial que o professor assuma uma postura diferenciada, dê liberdade intelectual aos alunos, incentive o diálogo e não

forneça previamente respostas sobre o que está sendo investigado. Sem dúvidas isso requer grande preparo e esforço por parte do docente.

Como professora da educação básica do município de Lagamar (interior do estado de Minas Gerais), trabalho com vários estudantes do Ensino Médio que são habitantes da zona rural. Parte deles se desloca por horas até a escola, apresentam baixo engajamento e desinteresse pelas aulas “convencionais” de Biologia. Nas pequenas propriedades em que eles vivem, também são gerados muitos resíduos que não são aproveitados. Diante deste cenário, das potencialidades do EnCI e da abordagem CTSA, bem como dos inúmeros desafios que meus alunos superam para se manter na escola, surgiu a motivação para elaboração deste trabalho. Com o seu desenvolvimento, busquei não apenas o aperfeiçoamento da minha prática pedagógica, mas também a elaboração de um produto que pode contribuir para a promoção da educação científica e cidadã da referida comunidade escolar. A sequência de ensino que elaborei pode levar os estudantes a conectar os saberes escolares com os conhecimentos científicos aplicando-os em suas realidades. Em outras palavras, a essência desse trabalho conecta atividades que articulam o EnCI, a abordagem CTSA, a Ecologia e o reaproveitamento de resíduos, empregando como recurso pedagógico um biodigestor rural.

Em breve revisão de literatura, identifiquei outras iniciativas que utilizaram de forma bem-sucedida os biodigestores em contextos de ensino-aprendizagem na educação básica. Paixão *et al.* (2017, 2019) promoveram a construção de um biodigestor visando trabalhar conteúdos de Química e as relações CTSA com alunos de uma escola do agreste sergipano. A realidade dos alunos envolvidos nesse trabalho se assemelha à da região na qual estou inserida. A principal atividade econômica é a pecuária, na qual são gerados dejetos orgânicos que não são aproveitados como poderiam. Trabalhos nessa temática podem, dentre outros aspectos, propiciar aos estudantes a oportunidade de reconhecer que *“a tecnologia de biodigestão está inserida em seu contexto social”* (PAIXÃO *et al.*, 2019, p.352). Dada a riqueza do tema, vários desdobramentos conceituais emergiram da atividade em sala de aula (ex., química na biodigestão, concepções econômicas, ambientais e sociais). Essas constatações se deram por meio da análise textual discursiva das respostas dos alunos. Para os autores, o investimento dos professores em promover uma ação investigativa deu sentido aos conhecimentos de base. Também articulou as etapas de observação, elaboração de hipóteses e argumentos, por meio das discussões e conclusões sobre a construção de um biodigestor. A conclusão foi que a análise de aspectos sociais, econômicos e ambientais dessa tecnologia transcendeu a Química, norteando, portanto, as relações Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente. A formação

crítica dos alunos contemplou, além dos conhecimentos científicos, a capacidade de intervenção na sociedade de maneira a transformá-la.

Cartaxo *et al.* (2020) usaram a mesma estratégia com alunos de uma rede privada do agreste paraibano. O trabalho privilegiou a gestão de resíduos e o biodigestor como ferramenta para promover a educação ambiental de modo interdisciplinar. Os materiais foram similares ao trabalho de Paixão *et al.* (2019), entretanto, os métodos e o público-alvo foram diferentes. As ações envolveram a aplicação de questionários, um círculo de palestras e a utilização de resíduos da cantina escolar para a alimentação do biodigestor. A abordagem não concentrou esforços na investigação discente com o mesmo grau de liberdade intelectual almejado pelo EnCI. As atividades foram centradas, principalmente, no roteiro docente com um amparo teórico mais direcionado. Tal estratégia não desvaloriza o trabalho, contudo, deixa de explorar certas oportunidades que são criadas pela abordagem investigativa e que podem enriquecer ainda mais a experiência dos estudantes. Os autores explicitaram diversos ganhos na aprendizagem e concluíram que o biodigestor contribui para a transformação das práticas pedagógicas ao inserir, de maneira envolvente e interdisciplinar, a Educação Ambiental crítica e dialógica no currículo escolar. Outro ponto observado foi a sensibilização não apenas dos estudantes, mas também dos funcionários e da comunidade escolar, pela divulgação do trabalho em uma Feira de Ciências local. Enquanto Paixão *et al.* (2019) enfatizaram a produção do biogás como alternativa energética, Cartaxo *et al.* (2020) usaram o biodigestor para despertar a curiosidade e gerar questionamentos sobre aspectos econômicos, sociais e ambientais que são essenciais para uma visão holística do ambiente.

Casanova (2013) comenta como experiências educativas envolvendo resíduos orgânicos, entre elas a manutenção de um biodigestor no pátio de uma escola catarinense, viabilizaram múltiplas possibilidades para trabalhar conteúdos de Educação Ambiental com alunos dos anos iniciais. A autora contextualizou seu trabalho destacando o valor das primeiras experiências formais escolares para a construção da percepção ambiental infantil. A partir das experiências vividas na infância e da orientação recebida pelos professores, as crianças constroem sua identificação com o ambiente. Dessa forma, somando à cultura local e familiar, as oportunidades escolares podem fazer a diferença na vida do indivíduo. O biodigestor descrito no trabalho de Casanova (2013) era alimentado com resíduos da cozinha pelas crianças do 4º ano do Ensino Fundamental. A autora comenta a necessidade de se buscar ações que minimizem a ideia de que a ciência moderna sobrepõe a teoria à prática, pois uma auxilia a compreensão da outra. Para ela, a educação ambiental é uma potente ferramenta emancipatória dos sujeitos

na tomada de consciência rumo à cidadania e responsabilização ecológica, para além das estéticas ambientais. Para tanto, um grande desafio educativo consiste na percepção pelos educadores, do poder prescritivo que atua em legitimidade das causas ecológicas, permeado também nas práticas docentes. Muito mais do que um julgamento entre certo e errado, estabelece-se na postura do professor, mediante as experiências mútuas de ensino e aprendizagem, os traços de formação da consciência ecológica dos indivíduos.

Costa *et al.* (2012) utilizaram duas variedades de resíduos orgânicos, os alimentares e o esterco de galinha. Utilizaram seis garrafas plásticas e balões de borracha amarrados com elásticos de borracha. O trabalho foi desenvolvido por estudantes de engenharia que buscavam oferecer alternativa energética de baixo custo aos moradores de regiões fragilizadas economicamente no interior do estado do Amazonas. É possível afirmar que esse experimento possui montagem simples e as alterações nos balões são de fácil observação. Os resultados encontrados apuraram na proporção de uma parte de resíduos para uma parte de água, a quantidade ideal de hidratação para gerar o biogás. A partir deste resultado, propuseram a montagem de biodigestores de batelada, nas residências das comunidades mais fragilizadas da região amazônica.

Os trabalhos consultados na revisão de literatura confirmaram a viabilidade do uso do biodigestor como ferramenta para a aprendizagem de conceitos ecológicos, saberes ambientais e reflexões sociais. Os estudantes de diferentes níveis de ensino tiveram oportunidade de construir o conhecimento a partir da experiência pedagógica com este dispositivo, inseridos no contexto escolar pelos professores. Assim, o meu interesse por usar os biodigestores para conectar a Ciência à realidade dos meus alunos, inseridos em um contexto social rural, alcançou mais significado. Isso impulsionou a elaboração de uma sequência de ensino na qual os conteúdos escolares de Biologia, pudessem ser trabalhados pela experimentação com biodigestores.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O ensino escolar da disciplina Ciências, hoje chamada de componente curricular nas abordagens educacionais, é inegavelmente relevante em todos os tempos e níveis de ensino. Embora muitos pesquisadores apontem essa ideia como consenso, a busca por uma abordagem mais apropriada para o Ensino das Ciências, a depender do contexto educativo, tem sido um ponto de reflexões e discussões desde o século XIX até os dias atuais. Na busca pelo Ensino de Ciências pautado pelas ideias do método indutivo e não dogmático, almejava-se que os estudantes desenvolvessem habilidades de pensar, comparar, discriminar e raciocinar. Com esse intuito, os laboratórios escolares foram pensados como ambientes ideais. Entretanto, em razão do tempo longo gasto pelos estudantes em descobertas independentes, muitos educadores consideravam como impraticáveis os estudos nos quais os alunos dispunham da máxima liberdade de exploração de seus interesses do mundo natural. Desse modo, surgiram propostas de ensinar Ciências para verificação/confirmação de fatos ou focadas em investigações guiadas pelo professor (RODRIGUES; BORGES, 2008).

Historicamente, a busca pela abordagem mais adequada para o Ensino de Ciências passou por numerosas influências. São exemplos de ideias influentes os aspectos levantados pelo filósofo John Dewey (1859 – 1952) e pelo pesquisador Joseph Schwab (1909 – 1988). Para Dewey, a Ciência como um instrumento de progresso, poderia validar o Ensino de Ciências como uma abordagem que não priorizasse o acúmulo de informações acabadas. Assim, um método de pensamento transformador das ideias para a aprendizagem das Ciências e seus processos, levaria à promoção da reflexão sobre a experiência dos homens no mundo real. Os trabalhos de Schwab², num tempo em que o retorno ao rigor acadêmico estava sendo proposto, foram considerados como marco do Ensino de Ciências por Investigação, pois ele enfocava que a natureza da Ciência fosse entendida como atividade dinâmica e contínua. Também alertava sobre a necessidade da educação cidadã, alinhada ao conhecimento científico, para o futuro de um país poder contar com lideranças e público orientado, ao entendimento científico (ROBY, 2022).

2– Referência aos aspectos teórico-práticos abordados na obra SCHWAB, Joseph J.; HARPER, William Rainey. *The practical: A language for curriculum*. 1970.

Dos anos 1950 a 1970, muitas ideias perpassaram o Ensino de Ciências. Nessa época, houve um crescimento no número de departamentos de pesquisa, aumento de laboratórios industriais e da quantidade de professores graduados em Ciências. Essa situação originou um movimento crítico que acreditava que as Ciências tinham perdido seu rigor acadêmico, quando as propostas de ensino eram muito centradas no aluno. Por isso, tal movimento defendia que o Ensino de Ciências precisava retornar a uma disciplina mais intransigente na qual a Ciência fosse ensinada como ela é. Isso trouxe rigidez ao método de ensino, buscando administrar aulas teóricas, que pudessem ser verificadas por experimentos e, um ideal que parecia buscar transformar alunos em mini cientistas. Infelizmente, essa forma de considerar o Ensino de Ciências colaborou para o processo de distanciamento entre as pessoas e a Ciência, pois sugeria que a carreira científica era para poucos dotados de genialidade. Outra dificuldade estava relacionada aos materiais necessários às experimentações pré-determinadas, pois acabava por elitizar o trabalho científico experimental (PINHEIRO, 2012).

De 1970 para cá, o foco da educação para a formação das habilidades necessárias para o cidadão interagir com o mundo científico passou por muitos debates. Algumas das ideias construtivistas colaboraram para conceber no Ensino de Ciências um espaço de construção da Alfabetização Científica. A aplicação do conhecimento científico para resolver conflitos da vida cotidiana passou a ser um dos pontos de importância das reformas educacionais. O entendimento da natureza da Ciência e como a Ciência tem sido construída pela humanidade formou um aspecto de diferenciação entre o ensino de ciências como investigação (espécie de conteúdo) do Ensino de Ciências por Investigação (uma forma de abordagem). Nesse sentido, alguns professores entendiam o ensino de ciências como investigação, sendo mais um dos conteúdos a serem ensinados pelas Ciências da Natureza, necessitando primeiramente ser compreendido pelos professores e ainda desconhecido pelos alunos, sem alterar o método de ensino tradicional. No entanto, o Ensino de Ciências por Investigação propõe a abordagem metodológica como a técnica pela qual os estudantes serão mediados pelo professor a construir seus conhecimentos para aprender determinado assunto (SANTANA; FRANZOLIN, 2018). Após a elaboração dos Parâmetros Curriculares Nacionais Brasileiros, em 1998, a organização e a valorização das expressões e vivências dos estudantes dentro do processo de escolarização, por meio dos temas transversais propostos no documento (MOREIRA, 1996), abriram espaço para o debate sobre o EnCI.

A utilização do EnCI em projetos pedagógicos tem sido vista como uma abordagem de ensino efetiva e promotora de maior engajamento e aprendizagem por parte dos estudantes.

Pode levar à construção de uma imagem mais apropriada do trabalho científico (SCARPA; CAMPOS, 2018). De acordo com Munford e Lima (2007), algumas características marcantes do EnCI são o engajamento dos estudantes com perguntas de orientação científica; a valorização das evidências ao responder questões; a formulação de explicações baseadas em evidências; a avaliação das próprias explicações iluminadas por outras proposições, preferencialmente as que refletem o conhecimento científico; e a comunicação e justificativa das explicações propostas no processo investigativo.

Em razão das características do EnCI e da inexperiência investigativa dos alunos em geral no contexto brasileiro, a preparação docente para a aplicação dessa abordagem é fundamental. A inexperiência dos alunos deve-se a vários aspectos como a predominância dos métodos tradicionais de ensino e o desconhecimento de metodologias ativas por parte de muitos professores. Outro motivo é a dificuldade encontrada pelos docentes em prosseguir nos estudos de formação continuada e até mesmo a insegurança em conduzir o processo investigativo (SANTANA; FRANOLIN, 2018). O planejamento e a postura mediadora do professor são importantes para que as etapas a serem percorridas durante a aplicação de uma sequência didática de ensino baseada no EnCI sejam bem-sucedidas.

Carvalho (2018) discorre sobre os diferentes graus de liberdade intelectual oferecidos pelos professores a seus alunos durante a execução de atividades pautadas no Ensino de Ciências por Investigação. De acordo com a autora, podem ser representados cinco graus de liberdade intelectual que obedecem uma escala gradativa. O grau um denota maior dependência do professor e menor autonomia discente, enquanto o grau cinco representa uma investigação menos dependente do professor e mais centrada no interesse do aluno. O ideal a ser alcançado pelos educadores que adotam o EnCI está na aproximação do grau mais elevado de autonomia estudantil. Contudo, estudos demonstram que ainda são muitos os desafios a serem superados na realidade da educação brasileira (BRASIL, 2020).

Um dos desafios relacionados ao Ensino de Ciências é impulsionar a Alfabetização Científica. A abordagem de ensino tradicional privilegia o estudo de conceitos, o que representa saber Ciências. De modo algum o ensino de conteúdos científicos pode ser desvalorizado, pois ele é igualmente importante para a construção do conhecimento discente. No entanto, os princípios da Alfabetização Científica vão além dessa dimensão. Trata-se de um processo de desenvolvimento constante em que os temas não são apenas informados, mas também discutidos e confrontados com a realidade social, ambiental e econômica dos estudantes. A perspectiva da Alfabetização Científica conecta os temas das Ciências com a maneira que a

vida e o ambiente de cada pessoa são influenciados por eles. Assim, a comunicação de ideias, a interpretação de fatos e o conhecimento se tornam ferramentas de construção de uma formação integral e consciente. A busca pelos empreendimentos científicos já realizados traz à tona o saber sobre as Ciências. Enquanto os registros e coleta de dados experimentais ou pesquisas do conhecimento já gerado, no intuito de resolver problemas, ensinam como fazer Ciência. Esse envolvimento dos alunos no estudo dos conteúdos em sala de aula pode contribuir para um ensino de ciências capaz de gerar maior liberdade intelectual para os alunos (SASSERON, 2013).

Quando aproximamos os conteúdos científicos estudados em sala de aula às situações vivenciadas pelos estudantes em suas comunidades, conectamos a Ciência com a sociedade. Culturalmente, muitos problemas relacionados ao mundo do trabalho são resolvidos pelo uso de tecnologias inovadoras. Ao propormos reflexões acerca do uso das tecnologias na resolução de problemas sociais, fortalecemos a integração entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Essa abordagem se torna relevante atualmente tendo em vista que dependemos, em menor ou maior escala, dos produtos do desenvolvimento científico-tecnológico.

Todas as relações entre os seres vivos ocorrem no ambiente. Dessa forma, ao refletir sobre a abordagem CTS, entusiastas desse movimento acham desnecessário ressaltar o ambiente, pois ele está inevitavelmente incorporado à tríade CTS. Por outro lado, os fundadores do movimento Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA) priorizam resgatar o papel da Educação Ambiental do movimento inicial de CTS e por isso, salientam o ambiente fazendo com a téttrade CTSA uma oportunidade de demarcar a importância e o valor do ambiente nas relações humanas e de todos os demais seres vivos (DE SIQUEIRA, 2021). Por acreditar na importância de salientar o ambiente em todos os tipos de estudos ecológicos, optei neste trabalho pela abordagem CTSA.

Embora sejam recebidos com entusiasmo por muitas pessoas, os produtos do desenvolvimento científico-tecnológico não são independentes de interesses econômicos. Outro fato importante é que o uso de novas tecnologias também implica em riscos ambientais. Muitos cidadãos ainda têm dificuldades de perceber o porquê de se debater os assuntos relacionados às tecnologias e como o uso delas poderia causar problemas no decorrer do tempo. Por isso, a inserção da abordagem CTSA é desejável no contexto educativo do Ensino Médio, especialmente se considerado que os estudantes já alcançaram uma certa maturidade para tais reflexões. Afinal, a participação social deveria determinar o direcionamento do bom uso da ciência e tecnologia. Assim, a inserção de reflexões a esse respeito com estudantes do ensino

médio pode levar ao desenvolvimento da participação social, construção do pensamento crítico e à formação cidadã (SANTOS,2016).

Desde 1970, o movimento CTSA tem se manifestado em vários países do mundo. Neste período, tem destacado a importância de se priorizar a Alfabetização Científica nos currículos educacionais, em especial os de Ciências, interligando a tecnologia ao contexto social. Originou-se a partir de correntes de investigação em filosofia e sociologia da Ciência. Seus objetivos compreendem questionar as formas herdadas de estudar e agir sobre a natureza, combater a segmentação do conhecimento, promover a democratização verdadeira do conhecimento científico e tecnológico, além de refletir sobre a distinção entre o conhecimento teórico e prático na formação integral do cidadão (DE ABREU *et al.*,2013).

A proposta de inserção da abordagem CTSA nas salas de aula do Ensino Médio é orientada pela Lei de Diretrizes e Bases da Educação Brasileira (LDB nº 9394/96). O enfoque CTSA visa despertar inicialmente os alunos para que possam assumir uma postura questionadora e crítica. Neste sentido, os conhecimentos desenvolvidos na escola, serão também utilizados nos espaços sociais fora da escola. Ou seja, na comunidade de pertencimento de cada estudante, complementando a formação integral e cidadã do indivíduo. Assim, o conhecimento escolar deve servir de apoio teórico na resolução de problemas práticos e coletivos, presentes na realidade local dos alunos (SANTOS; MORTIMER, 2000).

Uma das preocupações do Ensino Médio refere-se à função social desse nível de ensino. Na história da Educação Brasileira, a função do Ensino Médio assumiu a preparação para o Ensino Superior ou a formação profissionalizante. Atualmente, a sociedade moderna exige do cidadão, além dos conhecimentos escolares, também os saberes sobre o uso de tecnologias e uma formação ética e responsável perante a democracia. Não menos importante, o cidadão deste século precisa refletir e criticar antes de agir. Tais exigências tornam necessárias novas formas de trabalho em sala de aula, estimulando a iniciativa dos estudantes, para que possam, em sociedade, tomar decisões conscientes e mais humanas. Nesse sentido, os pressupostos da LDB entram em sintonia com o enfoque CTSA (PINHEIRO *et al.*,2007) e com a abordagem do EnCI.

A experiência docente e o meu entendimento de que questões pedagógicas no Ensino de Biologia e questões científicas, tecnológicas, sociais e ambientais podem ser interligadas por meio do ensino investigativo, fortaleceram a consciência da proposta de uma sequência de ensino inspirada pelos biodigestores. Diante do exposto, propõe-se os objetivos do presente trabalho.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Construir uma sequência de ensino investigativa sobre as condições de geração de biogás a partir de resíduos orgânicos, de maneira que os estudantes atuem como cidadãos atentos às questões ambientais e sejam capazes de desenvolver soluções (reflexão-ação) para problemas de sua comunidade.

3.2 Objetivos Específicos

- Elaborar e executar atividades experimentais investigativas com biodigestor simples (miniatura experimental) que possam ser realizadas por estudantes de ensino médio para avaliar a possibilidade de se converter resíduos rurais em produtos úteis;
- Montar um biodigestor caseiro de maior capacidade, a fim de testar a viabilidade da proposta delineada na sequência de ensino, a possibilidade de inserção deste dispositivo nas pequenas propriedades rurais da região e a aplicação de conhecimentos científicos/escolares na resolução de problemas ambientais locais;
- Promover uma reflexão crítica sobre a sequência de ensino, identificando as limitações/potencialidades que podem influenciar a compreensão dos estudantes sobre o processo de construção de conhecimentos científicos e os desdobramentos para a geração de benefícios econômicos e ambientais;
- Confeccionar uma cartilha educativa sobre sugestões de boas práticas rurais, tendo como ponto de partida a montagem de um biodigestor caseiro, servindo como modelo alternativo para o professor aplicador da sequência de ensino.

4. METODOLOGIA

4.1 Características e construção da Sequência de Ensino Investigativa

As Sequências de Ensino são também chamadas de Sequências Didáticas. Elas são ferramentas de ensino e aprendizagem, cuidadosamente planejadas pelo professor, geralmente estruturadas em ações pedagógicas, com objetivo de otimizar o trabalho com determinado tema. Numa sequência de ensino, são estabelecidos métodos, materiais e etapas a serem desenvolvidas pelos estudantes. Com a utilização das sequências de ensino, o professor pode inserir materiais que julgar significativos no trabalho docente. Outra possibilidade consiste na adaptação ao contexto local, com aprofundamentos variados. Assim, turmas diferentes podem percorrer trajetórias de ensino e aprendizagem variadas, mesmo se utilizarem a mesma sequência de ensino. Nesse sentido, as experiências prévias dos alunos são importantes e determinam os caminhos da aprendizagem, mediada pelo professor.

O uso de sequências de ensino pode privilegiar desde abordagens de ensino tradicional até abordagens construtivistas. Quando uma sequência de ensino, atribui graus de liberdade intelectual aos estudantes, de modo que estejam ativamente trabalhando na construção de seu conhecimento, considera-se uma Sequência de Ensino Investigativa - SEI (SASSERON, 2013). A diferença está no processo desenvolvido e no tipo de mediação do professor. Na abordagem investigativa, os alunos participam ativamente das atividades, de modo a propor hipóteses sobre problemas que observam, investigam suas suposições, fazem registros e conclusões, comunicam os resultados intelectuais e/ou experimentais, refutando ou confirmando suas hipóteses. A construção da aprendizagem tende a conferir mais autonomia aos estudantes. Dessa forma, caracteriza-se o Ensino de Ciências por Investigação (EnCI).

A sequência de ensino construída foi planejada para ser desenvolvida durante 17 aulas regulares do componente curricular de Biologia com turmas do 3º ano da Escola Estadual Américo Alves, localizada em Lagamar, região noroeste de Minas Gerais. É nessa escola que leciono para as turmas do 1º ao 3º ano do Ensino Médio.

Essa escola está inserida em uma cidade interiorana de pequeno porte e é a única escola que oferece o Ensino Médio Regular no município, atendendo os alunos da área urbana e rural. A principal atividade econômica local é a agropecuária. Os alunos que residem na área rural geralmente auxiliam suas famílias nas tarefas domésticas e laborais das pequenas propriedades onde vivem e/ou trabalham. São estudantes de baixa renda e certo desinteresse pelos estudos.

A frequência desses alunos às atividades escolares é um desafio condicionado a vários fatores, como por exemplo o transporte escolar de responsabilidade da prefeitura municipal. Quando utilizam o transporte regular, alguns alunos levam de uma a três horas para percorrer o trajeto de suas casas até a escola. Essa situação é desgastante, sendo comum os alunos chegarem no ambiente escolar famintos e cansados.

Cabe informar que a aplicação da sequência de ensino elaborada não se mostrou viável no momento planejado. Em 2020, todos os protocolos éticos que precedem a aplicação da sequência de ensino foram cumpridos. Em decorrência da suspensão das aulas presenciais, devido à pandemia do novo coronavírus, foi necessário reorientar o projeto de aplicação da sequência de ensino para a modalidade remota. Assim, por solicitação do Comitê de Ética e Pesquisa (CEP), novos termos de consentimento e assentimento foram elaborados para atender ao formato de aplicação virtual do projeto. O projeto de aplicação foi aprovado pelo CEP/UFMG pelo Parecer nº 4.684.137 de 30/04/2021.

Um novo desafio à aplicação remota da sequência de ensino ocorreu, uma vez que os estudantes (público-alvo da zona rural atendido pela escola) não possuíam as condições necessárias de acesso (internet) para acompanhamento de aulas remotas. Outro empecilho foi evidenciado após o retorno às atividades escolares presenciais no mês de setembro de 2021. A turma de alunos do 3º ano do Ensino Médio não aderiu ao retorno escolar presencial. Dos 23 alunos matriculados, apenas três retomaram os estudos. Naquele momento, os alunos residentes na zona rural não dispunham do transporte escolar que era anteriormente oferecido pela prefeitura local. Até mesmo os três alunos que retornaram ao convívio presencial, residentes na zona urbana, não foram assíduos. Houve dias em que a turma não recebeu nenhum aluno. Em novembro de 2021, quando o retorno presencial às escolas de Minas Gerais foi retomado em caráter obrigatório, os problemas com o transporte dos alunos residentes na área rural do município perduraram. O transporte escolar foi restabelecido em dezembro de 2021, faltando duas semanas para o encerramento do ano letivo. Essa situação tornou impraticável a retomada da proposta de aplicação da sequência de ensino, uma vez que a demanda do número de aulas necessárias, não se ajustaria ao tempo planejado à aplicação da sequência de ensino, nem ao tempo disponível para o cumprimento dos prazos do PROFBIO.

Como alternativa, construí os biodigestores, analisei os dados do experimento e a partir dos resultados do experimento com as garrafas plásticas e balões, simulando um mini biodigestor, construí o biodigestor de maior capacidade. Por meio da apresentação dos

resultados dos experimentos, pude avaliar a possibilidade real de inserir esses dispositivos na sequência de ensino, que elaborei como produto desse trabalho.

A temática da sequência didática construída, “Aproveitamento de Resíduos Orgânicos”, se conecta com os objetos de conhecimento da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), previstos para o Ensino Médio. Esse assunto se relaciona com a interação entre os seres vivos e a qualidade de vida das populações humanas. É importante, ainda, para pautar reflexões sobre alguns tipos de impactos ambientais nos ecossistemas causados por ações antrópicas. Outros pontos de interesse são as considerações sobre ética, cidadania e responsabilidade socioambiental. A expectativa é de que os estudantes participantes sejam capazes de identificar as fontes geradoras de resíduos orgânicos em sua comunidade, produzam conhecimentos sobre as melhores condições para geração de biogás e se tornem atuantes na proposição de soluções para questões ambientais (reflexão-ação).

A construção da sequência de ensino considerou aspectos teóricos-metodológicos do Ensino de Ciências por Investigação (CARVALHO, 2018; MUNFORD; LIMA, 2007; SASSERON, 2013; SCARPA; CAMPOS, 2018). Tal abordagem didática propõe, durante a realização das ações pedagógicas, um constante estímulo ao protagonismo dos estudantes para que busquem revisar seus conhecimentos prévios e levantar hipóteses sobre o problema motivador. Outra habilidade desejável é que os alunos desenvolvam a capacidade de trabalhar em grupo de forma cooperativa. No momento de exposição das ideias aos colegas e por meio das experimentações, os estudantes têm oportunidade de refutar suas hipóteses iniciais ou confirmá-las. O registro da construção por etapas também é importante pois auxilia a compreensão do processo de “fazer ciência” com base na análise de dados que geram resultados de pesquisa (ZÔMPERO; LABURÚ, 2011).

4.2 Construção de Experimento com biodigestor simples (miniatura experimental) para a indicação de práticas na construção de uma sequência de ensino investigativa

Para avaliar a possibilidade de se converter resíduos rurais em produtos úteis no contexto de uma sequência didática voltada para o ensino médio, realizei atividades experimentais investigativas com montagem/manipulação de biodigestores simples (miniaturas

experimentais). Para a construção dos dispositivos, foram utilizadas garrafas plásticas de Politereftalato de Etileno (PET) e balões de borracha. O modelo foi baseado no trabalho de Costa *et al.* (2012). Com estas atividades, é esperado que os estudantes testem as melhores condições para geração de biogás a partir de resíduos orgânicos presentes em suas realidades. Nos experimentos, foram testadas as seguintes variáveis: condições de hidratação, temperatura e tipo de resíduos orgânicos. Essas variáveis foram testadas para descobrir quais são as melhores condições de transformação dos resíduos orgânicos em biogás por ação das bactérias. Essa atividade experimental está proposta na sequência de ensino no momento 2 – aula 6. O protocolo experimental adotado neste estudo é descrito a seguir.

Inicialmente, as garrafas plásticas PET vazias com volume de dois litros foram etiquetadas e pesadas em uma pequena balança digital de cozinha. Em seguida, amostras (100 g) de esterco bovino, suíno, equino e galináceo foram inseridas nas garrafas. O tipo de esterco (bovino, suíno, equino ou galináceo) se repetiu em duas garrafas: uma amostra completamente seca e outra hidratada. Para se manterem hidratadas, as amostras foram misturadas com 500 ml de água não tratada. Todas as garrafas do experimento foram novamente pesadas e tiveram suas aberturas superiores tampadas com balões de borracha (Figura 1). Alguns dispositivos foram expostos ao sol e outros mantidos em ambiente sombreado. Os dispositivos foram monitorados por 30 dias de modo a detectar a produção do biogás. O enchimento dos balões foi considerado como indicador da produção de gás no interior dos biodigestores.

Figura 1 - Experimento simulando um mini biodigestor simples. Dia 1 (montagem)



Fonte: Cássia Solange Silva. 09/08/2021.

4.3 Construção de um biodigestor caseiro de maior capacidade

O contexto específico do biodigestor de maior capacidade foi pensado para propiciar a aplicação dos resultados obtidos com as garrafas plásticas e oportunizar aos estudantes o acompanhamento da construção e operação de um dispositivo, que tem aplicabilidade concreta. Ele pode ser utilizado em pequenas propriedades rurais ou até mesmo em domicílios urbanos, como alternativa para a gestão sustentável de resíduos orgânicos.

Para a montagem do biodigestor caseiro de maior capacidade foram utilizados os seguintes materiais: tambor plástico com tampa 200 litros, cola Policloreto de Polivinila (PVC), luva soldável, luva e plugue roscáveis, bico para torneira plástica, flange caixa d'água, abraçadeiras, mangueira, lixa massa, espigão macho, regulador de gás, cap tampão soldável, cap roscável, nípel roscável, cola araldite 16 g 10 minutos, veda calha alumínio, válvula esfera, adaptador curto soldável com rosca, câmara de ar emborrachada para pneu de carro, fogareiro de uma chama, bico de Bunsen, balde plástico, furadeira e serra copo. O detalhamento da quantidade, valores e características dos materiais utilizados encontram-se nos Apêndices II e III. Após a montagem do dispositivo utilizando os itens anteriormente relacionados, foi necessário aguardar alguns dias para a secagem do material impermeabilizante das aberturas. O início da operação do biodigestor se refere ao primeiro dia de inserção da biomassa em seu interior. O modelo do biodigestor caseiro de maior capacidade foi baseado no trabalho de Barreira (2011).

O biodigestor caseiro de maior capacidade que construí inserido neste trabalho foi financiado com recursos próprios. Os materiais utilizados também podem ser adquiridos com auxílio de empresas, entidades ou pessoas da comunidade local. São materiais de baixo/médio custo e de fácil aquisição em lojas de materiais para construção, mesmo em cidades pequenas. É provável que algumas escolas tenham condições de custear esses materiais. Contudo, essa possibilidade pode não ser efetiva na maioria dos casos. Portanto, a proposta de construção sugerida durante a aplicação da sequência de ensino, pode ser viabilizada de diversas formas a depender do interesse do professor em manter ou não, a montagem desse dispositivo como parte integrante da sequência didática.

O biodigestor construído (Figura 2) é intitulado biodigestor de batelada. Trata-se de um modelo apropriado para fermentação de quantidades pequenas de biomassa. Conforme a

disponibilidade dos materiais para a montagem, algumas adaptações podem gerar variações estéticas, porém o princípio de funcionamento e o resultado final são equivalentes.

Figura 2 – Biodigestor construído no primeiro dia de operação



Fonte: Cássia Solange Silva. 01/01/2022.

4.4 Reflexão crítica sobre a sequência de ensino

A análise da sequência de ensino visa, sob a perspectiva da abordagem investigativa, discutir a importância dessa atividade, seu potencial didático, bem como as percepções pré-aplicação. O método de análise da sequência de ensino partiu das considerações de Pedaste *et al.* (2015) e Scarpa e Campos (2018).

Para tanto, trago a análise e conexão da sequência de ensino com o ciclo investigativo. A literatura descreve várias fases de investigação em quantidade e flexibilidade. O trabalho de Pedaste *et al.* (2015) aponta a existência de nove fases de investigação dotadas de subfases. Contudo, considerando semelhanças entre algumas fases, elas podem ser resumidas num processo de identificação de cinco fases principais: orientação, conceituação (ou

conceitualização), investigação, conclusão e discussão. Apesar de definidas, essas fases se entrelaçam e inter-relacionam de modo a promover uma dada dialética entre os momentos desenvolvidos durante o ciclo de investigação. Os currículos científicos e projetos de pesquisa e desenvolvimento atuais têm popularizado a aprendizagem baseada em ciclos investigativos. Isso se deve ao fato de o sucesso da aprendizagem estar significativamente relacionado às melhorias advindas da abordagem investigativa, aliada ao desenvolvimento de ambientes de aprendizagem variados, apoiados por técnicas capazes de construir diferentes caminhos, entre as fases do ciclo investigativo. Outro fator benéfico pode ser a possibilidade de constantes adaptações e reconstruções no delineamento do ensino de ciências por investigação.

Outra ideia da estruturação do ciclo investigativo de Pedaste *et al.* (2015) está apresentada no trabalho de Scarpa e Campos (2018) em que as autoras exploram as potencialidades do ensino de Biologia por investigação. Neste trabalho, são apresentadas razões capazes de levar à reflexão dos pontos positivos para o ensino de biologia e ciências afins, quando ideias construtivistas são aliadas aos princípios da Alfabetização Científica. O resultado dessas potencialidades é mensurável pelo processo de ensino e aprendizagem, capaz de auxiliar os estudantes na conquista gradativa de autonomia intelectual e compreensão da ciência. As autoras também consideram que o ensino de ciências por investigação ainda é mal compreendido por muitos profissionais da educação. Assim, a elaboração de sequências de ensino estruturadas por um ciclo investigativo bem planejado, aliado ao perfil do professor mediador, pode gerar a construção de habilidades, conhecimentos e autonomia de pensamento entre os estudantes. Tudo isso de forma ativa, integrada e colaborativa. Esse fato impulsionou meu entendimento de que o ciclo investigativo pode agregar mais valor e levar ao alcance dos objetivos deste trabalho.

4.5 Confecção da Cartilha de Sugestões de boas práticas rurais

A cartilha foi pensada inicialmente como uma ferramenta para sistematizar a aprendizagem dos estudantes. A elaboração dela seria uma forma de construção coletiva e colaborativa dos alunos para divulgar na comunidade local, o resultado do trabalho escolar experimental com o biodigestor.

Após a reorientação do trabalho para a não-aplicação, a proposta de confecção da cartilha foi mantida. No entanto, sua construção foi feita sem a participação dos estudantes, para servir de modelo alternativo ao professor interessado em aplicar a sequência de ensino. Ela representa um subproduto gerado pela Sequência de Ensino Investigativa para exemplificar a culminância do trabalho.

A confecção foi feita em ambiente virtual utilizando imagens do Canva. A formatação foi realizada com o auxílio das ferramentas digitais de edição de texto do Microsoft Word. Foram inseridas informações e fotos baseadas no experimento com o biodigestor. O texto foi redigido numa linguagem simples, clara e objetiva, imaginando ser esta, uma forma de alcançar o público alvo da comunidade local.

A cartilha foi pensada também para se desdobrar futuramente em outros volumes incorporados à proposta do trabalho, como por exemplo, o cultivo de horta, a adubação orgânica e compostagem.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Sequência de Ensino Investigativa

A sequência de ensino foi construída conforme as seguintes etapas/momentos:

Figura 3 – Quadro resumo das etapas e momentos a serem percorridos durante a proposta de aplicação da sequência de ensino investigativa sobre a biodigestão

ETAPAS	DETALHAMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA
Momento 01 – Orientação e conceitualização (3 aulas de 50 minutos)	<p><u>Aula 1:</u> Problematização. Exposição do tema. Interpretação do texto motivador.</p> <p><u>Aula 2:</u> “Roda de conversa” verificando conhecimentos prévios.</p> <p><u>Aula 3:</u> Levantamento de hipóteses por “tempestade cerebral” em grupos. Comunicação das hipóteses levantadas pelos grupos. Inserção da questão-problema.</p>
Momento 02 – Investigação/ exploração (3 aulas de 50 minutos)	<p><u>Aula 4:</u> Pesquisa de resíduos gerados nos domicílios que possam ser reaproveitados. Anotações dos nomes dos compostos encontrados. Comunicação dos dados obtidos. Construção de tabela e gráfico com os dados da pesquisa domiciliar de resíduos gerados.</p> <p><u>Aula 5:</u> Sugestão/definição de possibilidade de teste das hipóteses.</p> <p><u>Aula 6:</u> Montagem do experimento. Observação, coleta e registro dos dados experimentais.</p>
Momento 03 – Exploração/ Reflexão (2 aulas de 50 minutos)	<p><u>Aula 7:</u> Organização/sistematização dos resultados obtidos com a construção de tabelas e gráficos.</p> <p><u>Aula 8:</u></p>

	<p>“Roda de conversa” para apresentação do entendimento dos alunos e exposição de dúvidas.</p> <p>Decisão coletiva sobre quais seriam as melhores condições para a produção de biogás.</p> <p>Retomada e avaliação das hipóteses elaboradas pelos grupos na aula 3.</p>
Momento 04 – Exploração/ Reflexão (6 aulas de 50 minutos)	<p><u>Aulas 9 e 10:</u> Aula expositiva dialogada para alinhamento dos conceitos.</p> <p><u>Aula 11:</u> Roda de conversa sobre a utilização dos conhecimentos construídos e planejamento dos materiais para montagem do biodigestor de maior porte</p> <p><u>Aulas 12 e 13:</u> Construção de um biodigestor de maior porte.</p> <p><u>Aula 14:</u> Carregamento do biodigestor com os resíduos orgânicos. Observação, coleta e registro de dados do experimento.</p>
Momento 05 – Conclusão (3 aulas de 50 minutos)	<p><u>Aula 15:</u> Roda de conversa sobre o trabalho experimental</p> <p><u>Aula 16:</u> Associação dos conhecimentos escolares ao cotidiano das pessoas. Proposta de compartilhar o aprendizado na comunidade local. Construção de material de divulgação do que foi aprendido.</p> <p><u>Aula 17:</u> Apresentação do material elaborado para a turma. Apresentação do material elaborado para a comunidade local.</p>

Fonte: Cássia Solange Silva. Junho/2021.

Segue o detalhamento da sequência de ensino com abordagem investigativa, de acordo com as sugestões para a aplicação conforme as etapas/momentos planejados:

Momento 1 – Problematização, roda de conversa, exposição do tema e levantamento de hipóteses por “tempestade cerebral” (3 aulas de 50 minutos – Aulas 1, 2 e 3): o ponto de partida das atividades é uma roda de conversa para contextualização do tema

que leve os alunos a refletirem e identificarem os principais resíduos gerados nas suas casas. Sugere-se que textos, reportagens e imagens sejam utilizados para fomentar esta discussão e direcionar o foco para os resíduos orgânicos.

Aula 1 – Apresentação de quatro imagens (Figuras 4 a 7) para observação e interpretação dos alunos (grupos de quatro a seis estudantes). Os alunos devem ser provocados a refletir sobre a existência ou não, de alguma conexão entre as imagens. Durante a conversa, poderá ser escolhido um aluno redator para registrar resumidamente as principais ideias do grupo. Essa atividade poderá ser planejada para acontecer durante 15 a 20 minutos. Decorrido este tempo, os alunos poderão expor, numa roda de conversa, as conclusões do grupo sobre as imagens. Todos serão convidados a se manifestar ou escolher um relator representante do grupo.

Algumas considerações são brevemente sugeridas a seguir, no intuito de apresentar ao professor(a) o objetivo principal de cada figura e algumas possibilidades pensadas para a conexão entre a leitura das imagens e seus significados.

Figura 4 – Manejo de gado bovino em propriedade rural



Fonte: Disponível em: <https://www.konexaomoveissjc.com.br/admin/imovel/20200604T1406180300-301375689.jpg>. Acesso em: 20/08/2021.

A Figura 4 apresenta uma pequena propriedade rural, tipicamente inserida no bioma cerrado, caracterizado por morros no plano de fundo. O gado, em pequena quantidade, está fechado no curral cascalhado e construído manualmente com madeiramento assimétrico. As

casas edificadas na propriedade são de pequeno porte. Há pastagens e uma plantação de eucaliptos, o que denota a retirada da vegetação nativa substituída pela atividade agropecuária.

Ao passar pelos grupos durante a observação e comentários sobre a imagem, o(a) professor(a) poderá guiar os estudantes a comentar os elementos objetivos (visíveis) e também os elementos subjetivos (possivelmente presentes embora não visíveis). Também podem ser instigados a comentar sobre as transformações do ambiente decorrentes da ocupação e atividade humana enquadrada na imagem. Espera-se que os alunos comentem sobre os resíduos orgânicos (excrementos) produzidos pelos animais.

Figura 5 – MANZONI, Piero. Merda d'artista (1961)



Fonte: Disponível em: https://berlin89.info/images/COVER/merda_d_artista.jpg. Acesso em: 20/08/2021.

A Figura 5 apresenta uma obra de arte conceitual do artista italiano Piero Manzoni (1933-1963). Nesta criação artística, Manzoni colocou em um recipiente suas próprias fezes. Ele lacrou a embalagem e personalizou o rótulo inserindo características sobre o conteúdo. Também precificou a quantidade de gramas de cada uma das latas produzidas, pelo mesmo valor do grama de ouro em 1961. Essa obra de arte foi vendida por mais de um milhão de libras. Em 2002, uma das latas (30 gramas) foi adquirida por vinte e três mil euros (THE ART STORY, 2022).

Em relação a essa imagem devido ao rótulo conter informações em língua estrangeira, talvez os alunos não compreendam todos os elementos. No entanto, o foco principal da imagem está em seu título (letras maiores em negrito). O significado da palavra “merda” explica a

imagem por si só. É possível que a análise dessa imagem provoque risos e dúvidas sobre a confirmação do entendimento dos alunos e a real mensagem da figura.

Ainda que seja questionado pelos alunos, o(a) professor(a) não deve “entregar” as respostas. É adequado deixar a dúvida dos alunos “no ar” (até que leiam o texto motivador) para que possam gerar mais comentários e reflexões. Não é necessário que pesquisem sobre a obra, o objetivo dessa imagem será explicado no instante em que forem convidados a fazer a leitura do texto “Ecoeconomia”. Espera-se que os estudantes consigam conectar a imagem vista às informações sobre essa obra de arte mencionadas no texto.

Figura 6 – Sabonete Angarag



Fonte: Disponível em: <https://mahabazar.club/images/thumbnails/342/450/detailed/6/2005-Angarag-Natural-Bathing-Soap-100g-Gomata-Products.jpg>. Acesso em: 20/08/2021.

A Figura 6 mostra um sabonete em barra (sólido) de cor escura com a indicação da marca *Gomata* em baixo relevo. Este sabonete é um produto feito à base de esterco de vacas indianas chamadas *Hare Krishna* e ervas. Os indianos acreditam que as vacas são animais sagrados e tudo o que é produzido por elas é igualmente sagrado para eles, inclusive suas fezes. Na cultura indiana, esses sabonetes são vendidos por um preço razoável, equivalente ao preço de produtos naturais de boa qualidade.

É provável que em um primeiro momento, os estudantes não relacionem o sabonete à matéria-prima utilizada para sua confecção, durante a conversa nos grupos. Além da diferença cultural, esse produto não é um item de consumo comum no Brasil. No entanto, após a leitura

do texto motivador, espera-se que eles façam a conexão da imagem à menção desse sabonete no texto “Ecoeconomia”.

Figura 7 – Café Kopi Luwak produzido a partir de grãos consumidos e excretados pelos civetas asiáticos



Fonte: Disponível em: <https://whatsnewindonesia.com/bali/wp-content/uploads/sites/4/2018/11/coffeeplantation-luwakcoffee1.jpg>. Acesso em: 20/08/2021.

A Figura 7 traz vários elementos inter-relacionados: o café mais raro, por isso o mais caro do mundo e o mamífero responsável pela transformação do grão desse café. Trata-se do felino silvestre asiático chamado civeta. Ele tem pequeno porte e invade as plantações de café da Indonésia para se alimentar dos grãos de café mais maduros e por isso mais doces. Ao passarem pelo trato digestório do mamífero, esses grãos selecionados de café, sofrem transformações em contato com uma enzima gastrointestinal e pela ação de bactérias, digerindo a polpa do fruto, mas os grãos não são digeridos. Quando são eliminados junto com as fezes do civeta, os grãos de café são coletados manualmente, beneficiados e resultam em um café com sabor característico: uma mistura de chocolate com suco de uva, com menor acidez e amargor. O nome do café foi formado pela união de duas palavras no dialeto asiático que significam kopi = café e luwak = civeta (PAIVA, 2021).

Não é esperado que os estudantes saibam inter-relacionar esses elementos à primeira vista. Porém, trazer elementos novos, capazes de instigar a curiosidade e a dúvida, fazem parte da proposta investigativa. Contudo, após a leitura do texto motivador, a conexão dos elementos será superficialmente revelada.

A análise das imagens apresentadas e a busca de alguma conexão entre elas tem o objetivo de provocar os estudantes, acerca das situações variadas em que os resíduos orgânicos são produzidos e algumas formas de como são aproveitados. Espera-se que os(as) alunos(as) percebam que em todas as imagens são mostradas situações de produção e/ou aproveitamento de resíduos orgânicos (excrementos animais). Muitas vezes, esse tipo de resíduo não é aproveitado por não haver conhecimento sobre o possível valor que podem adquirir sob certas circunstâncias. A proposta da sequência de ensino visa oportunizar o conhecimento de que os resíduos podem e devem ser aproveitados, não apenas pelo aspecto econômico, mas também pelo aspecto social e ambiental.

A fala do(a) professor(a) para o fechamento da primeira aula da sequência, logo após o término da comunicação das percepções dos grupos para a turma, levará os alunos a se familiarizarem com a elaboração de hipóteses. Após os relatos dos estudantes sobre a conexão entre as quatro imagens, novamente em grupo, serão orientados à leitura e discussão de um texto motivador: *Ecoeconomia* (Anexo A).

Aula 2 - Por meio de uma roda de conversa com a turma, ocorrerá a retomada das ideias principais do texto, conectando-as às imagens apresentadas na aula 1. Dessa forma, os estudantes já sensibilizados com o tema serão confrontados com a seguinte pergunta: *Como reaproveitar os resíduos orgânicos de modo que eles gerem energia para a população?* O trabalho envolvendo essa segunda questão seguirá a dinâmica de grupos, empregada na aula 1. As respostas serão utilizadas como mote para introduzir a temática a respeito da produção de biogás a partir de resíduos orgânicos e os processos ecológicos associados.

Aula 3 - Os estudantes serão divididos em pequenos grupos (podendo manter ou não os mesmos grupos da aula 1) e encorajados a levantar hipóteses sobre quais são os fatores que podem interferir na produção do biogás (por exemplo, a quantidade de resíduo orgânico usado para a produção do biogás, tipo de resíduo orgânico utilizado como substrato, o grau de hidratação desse material, a temperatura). Cada grupo deverá registrar a(s) hipótese(s) elaboradas em seu caderno com a ajuda de um(a) aluno(a) redator. A questão-problema a ser investigada será apresentada aos estudantes: *“Úmido, seco, misturado ou exposto ao sol? Quais condições podem favorecer a produção de biogás a partir de resíduos orgânicos?”* Utilizando as respostas dos alunos e outros aspectos levantados pelo (a) professor (a), caso seja oportuno, eles serão, então, estimulados a iniciarem um experimento para testar as hipóteses levantadas.

Momento 2 – Coletando dados e testando as hipóteses através de experimentos (3 aulas de 50 minutos – Aulas 4, 5 e 6): Nos grupos de trabalho, organizados no laboratório de Ciências da escola, as hipóteses dos alunos sobre as condições que podem interferir na produção do biogás serão testadas. Para isso, os estudantes farão a montagem de experimentos que possam verificar as circunstâncias mais apropriadas para produzir biogás. Os experimentos poderão ser sugeridos pelos alunos e/ou pelo(a) professor(a). A sugestão desta sequência de ensino, caso não haja proposta discente são as “miniaturas de biodigestores” usando garrafas plásticas com balões de borracha amarrados nas extremidades. Esses modelos são baseados no trabalho de Costa *et al.* (2012).

Os laboratórios de Ciências são espaços apropriados para o desenvolvimento de atividades experimentais, pois apresentam em sua infraestrutura, mobiliário e equipamentos adequados à experimentação. Alguns laboratórios escolares dispõem somente do mínimo necessário ao trabalho das Ciências da Natureza, como algumas vidrarias específicas e bancadas com pias. Caso o(a) professor(a) aplicador da sequência de ensino não disponha de laboratório na escola, os experimentos podem ser montados na sala de aula ou no pátio. No entanto, quando houver laboratório na escola, o deslocamento dos alunos para este espaço oferece uma oportunidade de conscientizar e discutir sobre os ambientes de pesquisa e se existe uma imagem mais apropriada e segura para o trabalho científico, que também pode e deve acontecer dentro das escolas.

Para a realização da atividade experimental sugerida não é necessário haver um espaço diferenciado como o laboratório. No entanto, existem vantagens em realizar experimentos nos laboratórios pelos motivos apresentados anteriormente e também pelo controle maior dos experimentos. Dentro destes espaços serão evitadas algumas interferências nos dispositivos como por exemplo, queda das garrafas decorrentes das correntes de vento, toque de outros alunos não participantes do experimento ou até contato com alguns animais que habitualmente invadem o espaço escolar.

Aula 4 – Será solicitado a cada aluno que faça uma pesquisa domiciliar para identificar quais são os tipos de resíduos orgânicos gerados em suas residências, sejam domicílios urbanos ou rurais. Para maior sucesso dessa fase da exploração, poderão tomar nota dos resultados encontrados e anotarem também observações livres do que mais chamar a atenção. A comunicação dos resultados para a turma toda servirá de ocasião para uma roda de conversa a respeito de quantidades, destinação e um possível aproveitamento dos resíduos identificados.

As respostas dos alunos serão organizadas e registradas no quadro da sala de aula pelo (a) professor (a). Os dados pesquisados pela turma serão usados para a montagem de uma tabela coletiva com os tipos de resíduos orgânicos identificados. Após a tabulação dos dados na tabela, o (a) professor (a) e os alunos construirão em conjunto, um gráfico com tais informações. Para essa atividade, o (a) professor (a) poderá questionar os alunos qual seria o melhor tipo de gráfico para ilustrar os dados (por exemplo, gráfico de colunas, de barras, linhas, pizza, entre outros). Caso disponha, o (a) professor (a) poderá levar para a sala de aula, papel quadriculado ou milimetrado. Não havendo essa possibilidade, os gráficos poderão ser feitos em uma folha quadriculada à caneta e fotocopiada na escola. Nada impede que o gráfico seja elaborado na folha do caderno, no entanto, utilizar o papel quadriculado, pode proporcionar aos alunos uma experiência matemática interessante. Essa atividade visa preparar os alunos para o registro da coleta de dados experimentais, construindo tabelas e gráficos representativos, que serão novamente requeridos nas aulas posteriores.

Aula 5 – Usando os dados da pesquisa, a depender do tipo de resíduo orgânico mais abundante, os alunos serão estimulados a comunicar as hipóteses para investigar a questão problema (aula 3). Depois de comunicadas as hipóteses à turma, os grupos serão questionados sobre qual seria uma forma possível de testar as hipóteses elaboradas.

Nessa etapa, se dará a exploração do entorno e discussões nos grupos de alunos sobre o planejamento de uma possibilidade experimental para teste das hipóteses, levantamento de dados, a experimentação em si e a interpretação dos dados coletados. Serão solicitados redatores e relatores em cada grupo. Assim, os registros servirão de apoio à discussão e estratégia de vivência das etapas do método científico. Terminada a discussão dos grupos, cada um deles, apresentará aos colegas, as opiniões do grupo. Será pedido aos estudantes que pensem numa possibilidade experimental capaz de testar a hipótese apresentada pelo grupo. Nesse primeiro momento, não há a pretensão de que os estudantes apresentem o experimento escolhido para ser aplicado na sequência. Contudo, a oportunidade de tentar fazê-los pensar sobre isso é importante. Havendo espaço de mediação, a depender do que for apresentado pelos alunos, inserções poderão guiar ou aperfeiçoar as ideias para se chegar ao experimento. Entretanto, se nada for apresentado para permitir esse fio condutor, a experiência será apresentada de forma alternativa, a fim de possibilitar a testagem das hipóteses.

No caso de nenhum experimento sugerido ou uma sugestão de difícil execução, o (a) professor (a) poderá sugerir o experimento de montagem de mini biodigestores com garrafas

PET. As garrafas plásticas poderão receber diferentes proporções e tipos de resíduos orgânicos trazidos pelos alunos (por exemplo, fezes de boi, galinha, porco, restos de alimento, etc.) e serão mantidas em diferentes condições (ex., temperatura, luminosidade, etc.). Durante uma semana, os estudantes irão observar as condições que mais favorecerem a produção do biogás através da avaliação do enchimento dos balões de borracha amarrados nas extremidades das garrafas. Com esse tipo de dispositivo, cada grupo terá autonomia para propor e analisar diferentes condições experimentais.

A análise será qualitativa, partindo da observação dos balões de borracha, se foi produzido o biogás ou não. O quantitativo de gás gerado poderá ser presumido visualmente pela observação simples do maior ou menor enchimento dos balões, presos nas extremidades das garrafas plásticas. Essas observações sobre as diferenças no volume de gás aprisionado nos balões podem ser fotografadas pelos alunos com as câmeras dos seus aparelhos celulares ou na ausência de aparelhos próprios dos estudantes, poderão solicitar a colaboração do (a) professor(a). Caso não seja de interesse dos envolvidos utilizarem fotografias do experimento, podem registrar no caderno, as percepções de qual(is) dos balões apresentarem visualmente elevações verticais ou maior/menor enchimento, decorrente da produção do biogás. Vale destacar que caso o(a) professor(a) aplicador da sequência de ensino tenha interesse em aprofundar a métrica, existem kits comerciais capazes de realizar medições precisas da quantidade de biogás produzido bem como sua composição. Um exemplo destes equipamentos é o “Kit Análise de Biogás com Biofoto Microprocessado”, fabricado no Brasil e comercializado pela empresa “Alfakit”. No entanto, considerando a realidade financeira da maioria das escolas e docentes, inseridos em contextos que se assemelham a minha região, considero complicado cogitar esse investimento, por se tratar de um valor elevado.

Aula 6 – Montagem do experimento: os materiais a serem utilizados deverão ser previamente listados e preparados. Será necessário definir os responsáveis pela coleta, transporte e manuseio dos materiais. Garrafas PET vazias não costumam ser de difícil aquisição. Os balões de borracha são de baixo custo e facilmente encontrados em comércios como supermercados. No caso dos resíduos orgânicos, principalmente excrementos animais, é possível encontrar alguns alunos que se disponham a manuseá-los, como também é possível que os estudantes não se sintam à vontade para essa tarefa. Se nenhum aluno se dispuser a coletar e transportar os resíduos, mesmo recebendo luvas e potes, o (a) professor (a) poderá assumir essa tarefa. A sugestão de proporção de resíduos e água neste experimento pode surgir

dos grupos de alunos. Uma vez concluída a montagem, parte dos dispositivos serão mantidos no laboratório protegidos do sol. A outra parte das garrafas será exposta ao sol, em um local que não ofereça desconforto às atividades cotidianas da escola. Os estudantes serão orientados a observar diariamente o experimento e a registrar as alterações por escrito durante uma semana.

Os possíveis riscos para quem participar desta parte da sequência de ensino são pequenos, isto é, os estudantes participantes poderão sentir algum desconforto quando carregarem ou mexerem com os restos orgânicos que serão depositados no interior das garrafas. Poderão ainda, sentir calor quando as atividades forem realizadas no pátio da escola ou mesmo ficarem aborrecidos porque quebraram algum dos materiais utilizados. Para diminuir esses problemas, os alunos poderão receber máscaras, luvas e potes do(a) professor(a) quando forem mexer com os restos orgânicos. Também, poderão descansar e beber água quando sentirem calor. O(a) professor(a) aplicador da sequência, deve acompanhar a turma o tempo todo e ajudar caso algum material seja quebrado.

Nos experimentos do presente estudo, utilizamos diferentes tipos de resíduos de modo a representar a realidade dos estudantes da escola em que leciono (residentes da área rural e urbana). Restos de alimentos, esterco bovino, esterco de galinha, esterco suíno e esterco equino possivelmente seriam indicados por eles como exemplos de resíduos gerados no contexto de suas residências. Proponho que, em atividades experimentais dessa natureza, se possível, sempre sejam considerados os resíduos gerados nos próprios domicílios dos estudantes. No entanto, não vejo nenhum problema ou impedimento em acrescentar outras possibilidades indicadas por eles, pois tende a valorizar o conhecimento prévio deles e dar mais significado ao trabalho. Também há que se considerar a quantidade de grupos de alunos participantes ou até mesmo a disponibilidade de coleta do material orgânico.

Momento 3 – Interpretando os dados, comunicando os resultados e tomando uma decisão coletiva (2 aulas de 50 minutos – Aulas 7 e 8): Após a conclusão dos experimentos, os grupos interpretarão os dados, redigirão relatórios e confrontarão as informações obtidas com as hipóteses levantadas de modo a corroborá-las ou refutá-las.

A fase de interpretação de dados, em grupos, visa mobilizar conceitos explicativos ajudando a compreensão e construção de novos conhecimentos e aprendizagens. Nessa fase,

conceitos matemáticos e científicos são requeridos. A análise de padrões encontrados nos resultados experimentais apresenta alguns aspectos do trabalho desenvolvido pelos cientistas. “Aos alunos, todo o processo de elaboração de registros gráficos pode servir para organizar dados, sintetizar informações ou para apresentar aos demais colegas o que se fez” (SASSERON, 2013, p.3). O esforço empregado trará aos estudantes a compreensão dos fenômenos estudados de modo a aprender ciências, aprender como fazer ciências e aprender sobre ciências (SCARPA; CAMPOS, 2018).

Aula 7 - Para a organização dos dados pretende-se convidar o (a) professor (a) de matemática da turma, para colaborar na sistematização dos resultados obtidos. Nos grupos de trabalho, os estudantes serão os responsáveis por organizar os dados coletados em tabelas e gráficos. Todos os dados poderão ser registrados no caderno de Biologia ou em material à parte, no caso de elaboração de um portfólio relacionado ao trabalho. Os dados coletados consistirão nas anotações realizadas pelos estudantes, durante o período de observação do experimento. Por exemplo, o registro das datas das observações, quais garrafas apresentarão alterações, qual o conteúdo das garrafas alteradas, a quantidade visualmente percebida de gás dentro dos balões de borracha e em qual dos ambientes as observações foram feitas, se ao sol ou à sombra. Uma sugestão de tabela para organização dos dados do experimento pode ser visualizada na Tabela 1.

Após a tabulação dos dados, os alunos construirão gráficos para representar matematicamente os resultados obtidos no experimento. Em grupos, decidirão o tipo de gráfico a ser utilizado. A construção dos gráficos poderá ser feita no formato físico (em folhas de papel) ou com auxílio de alguma ferramenta digital (caso prefiram).

A colaboração do (a) professor (a) de matemática não é obrigatória, mas traria um enfoque interdisciplinar para os alunos e o envolvimento de outro docente.

Aula 8 - Os alunos serão estimulados a argumentarem baseados em evidências obtidas durante as observações. Cada grupo também irá analisar os gráficos gerados e apresentar os resultados para toda a sala, de modo que seja tomada uma decisão coletiva sobre quais seriam as melhores condições para a produção de biogás. As hipóteses elaboradas pelos grupos na aula 3 deverão ser retomadas e avaliadas. O (a) professor (a) terá um papel mediador do processo, de modo a estimular os questionamentos e confrontar as informações, auxiliando os alunos no processo de tomada de decisão e conclusão. Os estudantes devem chegar às respostas de seus

questionamentos sozinhos, sem receber as respostas prontas, mas guiados pela presença docente.

Momento 4 – Aplicando os conhecimentos gerados (5 aulas de 50 minutos – Aulas 9, 10, 11, 12, 13 e 14): Após a tomada de decisão coletiva sobre as melhores condições para a produção de biogás, os estudantes serão convidados a aplicar esses conhecimentos em uma atividade de construção de um biodigestor de maior porte. A construção do biodigestor maior visa avaliar a possibilidade de inserção deste dispositivo nas pequenas propriedades rurais da região e a aplicação de conhecimentos científicos/escolares na resolução de problemas ambientais locais. Para isso, serão utilizados materiais comuns e de baixo custo como: tambor plástico de 200 litros, tubos, conexões e insumos diversos facilmente encontrados em mercado local. Com a montagem e manutenção operacional do equipamento, os estudantes terão oportunidades de registrar dados em uma nova condição experimental com um biodigestor mais amplo e com maior volume de biogás produzido. Durante esse momento, serão realizadas reflexões sobre a aplicação de conhecimentos científicos em contextos reais para resolução de problemas de importância social.

Aulas 9 e 10 – O (a) professor (a) preparará uma aula expositiva dialogada sobre a biodigestão, usando os dados experimentais obtidos e apresentados pelos alunos. Serão consideradas abordagens complementares como, por exemplo, paralelos entre o biodigestor e a digestão dos ruminantes. Poderão ainda ser abordadas as ideias do cultivo experimental de plantas com os resíduos gerados pelo biodigestor, em comparação com o cultivo das mesmas plantas, sem a utilização deles. O enfoque da fermentação e da respiração anaeróbica servirá para ressaltar a atividade das bactérias e sua importância para a vida na Terra. A abordagem ecológica favorecerá a retomada dos ciclos biogeoquímicos da matéria e princípios da sustentabilidade ambiental. Podem ser oportunos comentários sobre a utilização dos biodigestores em diversos locais do mundo, além de outras oportunidades temáticas levantadas pelos comentários dos alunos. Também devem ser consideradas situações reais do dia a dia, em que a utilização do biodigestor poderia ajudar a minimizar problemas ambientais, econômicos e sociais. Todas essas ideias servirão para incentivá-los a participarem de uma nova etapa da atividade investigativa sobre este processo (montagem de um biodigestor de maior porte). Essa montagem envolverá os resíduos orgânicos identificados por eles nas suas realidades, bem como a aplicação da conclusão do experimento com as garrafas PET.

Aula 11 – Numa roda de conversa com a turma, os alunos serão indagados pelo(a) professor(a) se haveria alguma forma de utilizar os conhecimentos construídos nas aulas sobre os resíduos orgânicos, em nossas casas para reduzir os problemas ambientais locais. Espera-se que os estudantes tenham uma resposta afirmativa e associem as informações do texto motivador (aula 1), do experimento realizado (aula 6, 7 e 8) e da exposição dialogada (aula 9 e 10). Várias sugestões podem ser apresentadas, sendo o objetivo dessa discussão evidenciar que os estudos escolares podem e devem ser aproveitados na vida real para colaborar na resolução de problemas locais. Nesse intuito, se for de interesse do(a) professor(a) aplicador da sequência de ensino, os estudantes podem ser convidados a participar da montagem coletiva de um biodigestor de maior capacidade. Esse novo experimento servirá para aplicar as conclusões a que chegaram após a experimentação com as garrafas PET. Para a construção do biodigestor, será necessário que o(a) professor(a) informe aos alunos que existem vários modelos e tamanhos de biodigestor, mas o princípio de funcionamento é similar. Antecedendo a construção, deverá ser feito um planejamento e uma lista de materiais, estabelecendo a forma de aquisição dos mesmos. Se a escola não dispuser de recursos, será necessário confirmar quem fará a compra dos itens. No caso de haver a possibilidade de conseguir alguns itens da construção, por meio de patrocínio do comércio local, deverá ser definido quem fará as visitas aos comerciantes. Se os materiais forem adquiridos com recursos próprios do (a) professor (a), ele (a) mesmo (a) deverá providenciar os materiais. Após adquiridos os materiais necessários, passa-se à montagem.

É válido ressaltar que na ausência de interesse ou condições financeiras para a construção do biodigestor de maior capacidade, a sequência de ensino investigativa pode ser concluída na aula 10, pela associação dos conceitos ecológicos às atividades experimentais com o mini biodigestor. As reflexões construídas até esse momento da sequência de ensino são coerentes com os objetivos da proposta e as aulas subsequentes, de acordo com a realidade de cada docente, podem ser suprimidas.

Respeitadas as decisões docentes em encerrar ou prosseguir a aplicação da proposta, segue-se a montagem do biodigestor de maior capacidade. Insistir na montagem do biodigestor maior talvez não faça sentido para algumas pessoas, mas na minha realidade, considero significativo e viável.

Aulas 12 e 13 – Montagem do biodigestor caseiro de maior capacidade com os materiais combinados na aula anterior. A lista de materiais e as imagens deles podem ser consultadas nos

Apêndices B e C. O passo a passo da montagem do biodigestor sugerido para essa sequência de ensino encontra-se no Apêndice D. A construção do biodigestor pode acontecer com os alunos e professores e/ou contar também com colaboradores da confiança do(a) professor(a). As ações podem ser divididas com os alunos participantes por indicação do(a) professor(a) na tarefas mais simples e seguras como separar/segurar o material ou ficar apenas observando. As ações que envolvem furos, cortes e manuseio de ferramentas são adequadas aos adultos (professores/colaboradores).

Ao concluir a montagem, o (a) professor (a) irá conversar com os alunos, de modo a indagar qual é o papel funcional de cada parte utilizada. Outra situação que precisa ser combinada é a coleta e o transporte dos resíduos orgânicos que serão utilizados para carregar o biodigestor. Os resíduos orgânicos podem ser trazidos pelos estudantes de suas casas, podem ser utilizados os resíduos da cozinha da escola ou serem providenciados pelo (a) professor(a), na impossibilidade dos alunos participarem dessa parte do trabalho. Sendo operado no espaço escolar, além da escolha de um local aberto e exposto ao sol, também deve ser um local livre de movimentação de pessoas.

Aula 14 – Após a definição da forma de coleta e transporte dos resíduos que servirão para alimentar o biodigestor, o material deverá ser hidratado. A quantidade de água a ser utilizada, seguirá a mesma proporção dos resultados obtidos com o experimento do mini biodigestor. Se for possível utilizar água não tratada (coletada diretamente de uma fonte natural como um rio ou córrego), favorecerá a multiplicação bacteriana. Contudo, não havendo outra fonte de água, poderá ser utilizada a água tratada (coletada na rede de distribuição urbana), como uma nova variável experimental. Os resíduos orgânicos podem ser misturados com a água em um balde, utilizando uma pá ou alguma ferramenta similar e devem ser colocados no tubo de entrada do biodigestor.

Depois de carregado, deve ser fechado com a tampa do tubo (cap), e mantido em repouso durante o período de observação. O(a) professor(a) poderá perguntar aos alunos por qual motivo o biodigestor deverá ser tampado. Espera-se que os alunos tendo participado da aula 10, consigam associar a produção do biogás à respiração anaeróbica. Os estudantes farão observações diárias, identificando qualquer alteração na temperatura do tambor, no enchimento da câmara de ar ou até mesmo na percepção de algum som ou odor proveniente do dispositivo. O período de observação pode variar de 30 a 60 dias. O pico de produção do biogás nesse tipo de biodigestor geralmente ocorre entre 30 a 45 dias (BARREIRA, 2011; COMASTRI FILHO,

1981). Durante as observações, os alunos também devem ser incentivados a registrar no caderno de campo ou em outro material de registro, o dia ou data da observação e a ocorrência ou não de alterações.

Momento 5 – Socializando o conhecimento (3 aulas de 50 minutos – Aulas 15, 16 e 17): Nesta etapa, ocorrerá a conclusão da sequência didática a partir de uma nova roda de conversa em que os participantes terão a oportunidade de relatar o que julgaram ter aprendido durante o trabalho. Também serão incentivados a divulgar os resultados da aprendizagem, para outras pessoas que não tiveram a oportunidade de participar do trabalho.

Aula 15 – Decorrido o período de observações e registros, o(a) professor(a) testará na presença dos alunos a qualidade combustível do biogás produzido. Isso pode ser feito através de uma conexão entre a câmara de ar inflada pelo biogás e um fogareiro simples. Caso o biogás produzido alcance uma concentração ideal de metano (igual ou superior a 60%), o biogás se tornará inflamável. Essa etapa demanda um cuidado extra. O (a) professor (a) deve manipular o fogareiro e dar instruções à turma para evitar queimaduras, como por exemplo, manter certa distância do fogareiro. No caso de o biogás não conseguir acender a chama do fogareiro, uma nova oportunidade investigativa poderá surgir, na qual os estudantes serão incentivados a pesquisar os motivos que poderiam explicar essa situação.

Esta verificação apresenta uma possibilidade adicional de experimentação. No entanto, caso o(a) professor(a) não disponha de um fogareiro, ou não considere necessário demonstrar a queima do biogás, essa ação pode ser suprimida. Depois da verificação da produção de biogás no biodigestor, produto da atividade bacteriana, o trabalho experimental estará encerrado.

Para a conclusão da investigação, os estudantes participarão de uma nova roda de conversa em que poderão relatar espontaneamente sobre o aprendizado construído durante o trabalho. Poderão dizer sobre os conceitos elaborados, conhecimentos construídos, momentos ou atividades preferidas, dificuldades vencidas, entre outras argumentações. O (a) professor (a) ficará atento aos relatos, avaliando a aprendizagem de conceitos, habilidades e competências adquiridas. Vale ressaltar que essa oportunidade de diálogo evidenciará também os pontos a melhorar do trabalho e o que não foi assimilado pelos alunos.

Aula 16 – A atividade final da sequência de ensino será uma reflexão de como os conceitos escolares trabalhados nas aulas de Biologia se relacionam com o dia a dia das pessoas.

Em grupos, os alunos farão o registro das ideias que façam a conexão entre o que se aprende na escola com o que utilizam na vida real para resolver os problemas cotidianos. Um exemplo de problema cotidiano que a sequência de ensino busca resolver é a falta de aproveitamento de resíduos orgânicos rurais. A consequência desse aproveitamento será benéfica ao ambiente, reduzindo a poluição pelo descarte dos resíduos e transformando-os em adubo orgânico e biogás. Esses produtos podem ser utilizados nas atividades humanas. Assim, a ideia de sustentabilidade pode fazer mais sentido para os alunos.

Paralelamente, os estudantes serão confrontados com uma nova pergunta: “*Como podemos compartilhar os conhecimentos gerados com aqueles que não tiveram a mesma oportunidade de aprendizado?*” Desta forma, através das soluções apresentadas, o grupo construirá uma proposta socializadora dos resultados (por exemplo, uma cartilha de boas práticas ambientais nas propriedades rurais). Outras ideias poderão surgir como a elaboração de panfletos ou produtos de divulgação similares.

Socializando o conhecimento, a etapa subsequente ocorrerá para a conclusão da sequência de ensino. O material a ser elaborado pelos alunos servirá para sistematizar os conceitos-chave. Nele constará explicações e ilustrações de apresentação e montagem do biodigestor rural, como uma estratégia de aproveitar resíduos orgânicos para obtenção de energia térmica (biogás) e adubo orgânico (biofertilizante). Essa etapa propiciará aos alunos o entendimento do trabalho dos pesquisadores, comunicação de resultados e divulgação de conteúdo científico a outros públicos.

A proposta da sequência de ensino sugere que a cartilha ou outro tipo de produto, seja elaborado com base no aprendizado sobre o biodigestor como alternativa de aproveitamento dos resíduos orgânicos. Um modelo de cartilha confeccionada como subproduto da sequência de ensino sobre o biodigestor, pode ser consultada no Apêndice E. Esse modelo, se destina ao professor(a) interessado(a) na aplicação da sequência de ensino, como uma sugestão alternativa.

Porém, no caso de interesse docente e/ou discente pela continuidade do trabalho, outros desdobramentos podem ser cogitados, como por exemplo, a cartilha pode oferecer volumes consecutivos utilizando temas relacionados (adubação orgânica, compostagem, cultivo de mudas, entre outros).

Aula 17 – Essa aula poderá ser empregada para a continuação da construção do material de divulgação sobre o que foi aprendido durante o trabalho. Caso os estudantes prefiram finalizar o trabalho em casa, poderão combinar o dia de apresentar as propostas de divulgação para a turma. Uma sugestão de cartilha elaborada neste trabalho, para servir de modelo alternativo ao(à) professor(a) aplicador(a), pode ser consultada no Apêndice E.

Considerando a organização e apresentação do material elaborado pelos alunos, pode ser decidido se alguma alteração ou acréscimo seria oportuno. Outra situação a ser pensada, seria qual a melhor maneira da cartilha ser conhecida pelas pessoas da comunidade local. O objetivo desta ação é promover a divulgação de resultados dos estudos, uma forma de vivenciar com os estudantes uma das fases do trabalho científico. Ao envolver a comunidade local no trabalho, espera-se completar a tétrede Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente.

5.2 Resultados do Experimento com biodigestor simples (miniatura experimental)

Os resultados obtidos nos experimentos com biodigestor simples indicaram que a produção de biogás é afetada pelo tipo de dejetos animal, grau de hidratação da amostra e pela exposição do dispositivo a luz solar (TABELA 1). Notou-se que a produção do biogás começou antes (Dia 2) nos dispositivos expostos ao sol que continham dejetos de aves e suínos. Esses dados vão ao encontro da literatura especializada. A capacidade de produzir biogás é variável em função dos tipos de dejetos animais. Os balões começam a inflar lentamente pela produção de biogás. Conforme os dias vão passando, o volume de gás coletado provoca a elevação vertical dos balões.

O biogás é um subproduto da respiração anaeróbica de bactérias metanogênicas³. Para que ele seja produzido são necessárias três fases bem-sucedidas: a primeira fase (fermentação ou hidrólise enzimática) é realizada por bactérias fermentativas, que convertem o material orgânico biodegradável insolúvel, em matéria orgânica solúvel (quebra de partículas em meio

³-Espécies de bactérias produtoras de gás metano como produto da respiração anaeróbica desses organismos. Podem ser encontradas no solo e nos intestinos de animais ruminantes. São sensíveis às variações de temperatura (COMASTRI FILHO, 1981).

aquoso). Por isso, o material a ser transformado precisa de hidratação. A segunda fase (ácida) é realizada por um grupo de bactérias chamadas de acidogênicas⁴ que transformam a matéria orgânica solúvel em ácidos graxos, álcoois, gás carbônico (CO₂) e gás hidrogênio (H₂). Na terceira fase do processo de biodigestão, as bactérias metanogênicas realizam a respiração anaeróbica atuando sobre o CO₂ e o H₂, transformando-os em metano. O biogás é uma mistura gasosa combustível, incolor, produz chama azul clara, queima com um mínimo de poluição e tem alto poder calorífico. Quanto maior for a porcentagem de metano no biogás, melhor será a sua qualidade inflamável (COMASTRI FILHO, 1981; DE LUCA BONTURI; VAN DIJK,2012).

Tabela 1 - Detalhes do experimento realizado com miniaturas de biodigestor em garrafas PET

<i>Etiqueta da garrafa</i>	<i>Conteúdo (resíduo orgânico utilizado)</i>	<i>Hidratação (adição de água)</i>	<i>Peso inicial</i>	<i>Peso final</i>	<i>Produção de biogás inicial à sombra</i>	<i>Produção de biogás inicial ao sol</i>
A	Esterco de Cavalo	Seco	100g	99g	Sem alteração perceptível	Sem alteração perceptível
B	Esterco de cavalo	Úmido	600g	595g	Sem alteração perceptível	Dia 5
C	Esterco de galinha	Seco	100g	99g	Dia 5	Dia 2
D	Esterco de galinha	Úmido	600g	590g	Dia 4	Dia 2
E	Esterco de porco	Seco	100g	95g	Dia 4	Dia 2
F	Esterco de porco	Úmido	600g	594g	Sem alteração perceptível	Dia 7
G	Esterco de vaca	Seco	100g	96g	Sem alteração perceptível	Sem alteração perceptível
H	Esterco de vaca	Úmido	600g	593g	Sem alteração perceptível	Dia 11
I	Esterco misto	Seco	100g	95g	Sem alteração perceptível	Dia 7
J	Esterco misto	úmido	600g	590g	Sem alteração perceptível	Dia 7

Fonte: Cássia Solange Silva. Dezembro/2021.

4- Espécies de bactérias produtoras de ácidos como produto da respiração anaeróbica a partir de moléculas de carboidratos, proteínas e lipídios, convertendo essas substâncias em ácido butílico, ácido láctico, etanol, hidrogênio, dióxido de carbono, entre outros (DE LUCA BONTURI; VAN DIJK,2012).

Os dejetos de aves e suínos (TABELA 2) têm um alto potencial para a geração de biogás, mesmo em pequenas quantidades. Quando comparados aos dejetos de bovinos, equinos e ovinos, os dejetos de aves e porcos sobressaem na produtividade de biogás. Apesar de não serem os mais eficientes na geração de biogás, os dejetos disponíveis em maior volume e fácil acesso, são os dejetos bovinos. Essa condição varia de acordo com a região considerada, mas representa o cenário da maioria das pequenas propriedades rurais de muitos municípios brasileiros (IBGE, 2017).

Tabela 2 – Alguns exemplos de dejetos animais e sua capacidade de produzir biogás

DEJETOS	PRODUÇÃO DIÁRIA	PRODUÇÃO DE BIOGÁS
Bovinos	15kg/animal	270 m ³ por tonelada
Suínos	2,25kg/animal	560 m ³ por tonelada
Equinos	10kg/animal	260 m ³ por tonelada
Ovinos	2,80kg/animal	250 m ³ por tonelada
Aves	0,18kg/animal	285 m ³ por tonelada

Fonte: BARREIRA, 2011, p.12.

No experimento que produzi, com base no trabalho de Costa *et al.* (2012) algumas dificuldades foram percebidas durante o tempo de seu desenvolvimento. Por exemplo, o desgaste da borracha dos balões, especialmente nos dispositivos que foram expostos ao sol. Em busca de minimizar esse problema, pesquisei diferentes marcas de balões de borracha para comparar sua qualidade e resistência. Também tentei entrar em contato (por correio eletrônico), com os autores do trabalho no qual o experimento foi baseado. Não obtive resposta de nenhum dos sete autores mencionados no artigo de Costa *et al.* (2012). Das marcas de balões pesquisadas e encontradas no mercado local, usei duas opções: “São Roque” e “Pic Pic”. Ambas duraram sete dias ao sol antes de rasgarem na região de encaixe com a garrafa plástica. Como o experimento tinha previsão de ser mantido por duas semanas, se fez necessário efetuar a troca por novos balões. Esse fato trouxe um outro problema ao experimento, o escape do gás produzido, até o dia da troca do balão. Contudo, após substituído, os balões começam a inflar novamente.

A abertura total das garrafas para troca dos balões danificados traz uma variável que deve ser considerada: a entrada de oxigênio nos dispositivos interfere na produção e qualidade

combustível do biogás. Essa interferência se deve ao fato do favorecimento do metabolismo e proliferação das bactérias aeróbicas fermentadoras, que vão produzir o gás carbônico (CO_2) pela decomposição da matéria orgânica. Neste processo de adição de CO_2 , o teor de metano do biogás é reduzido e sua capacidade de combustão torna-se inferior (COMASTRI FILHO, 1981).

Diante das observações realizadas e dos resultados obtidos com este experimento, mostrou-se necessária a readequação do tempo sugerido para a manutenção do experimento pelos alunos. Na ocasião da aplicação da sequência de ensino proposta, o tempo poderá ser reduzido para sete dias de observação, para que não ocorra a perda do biogás produzido, com os danos da borracha do balão. Como o tempo de produção de biogás no sétimo dia, já foi suficiente, não haverá nenhum inconveniente.

Os tipos de resíduos do meu experimento, buscaram representar a realidade dos estudantes da escola em que leciono (residentes da área rural e urbana). Restos de alimentos, esterco bovino, esterco de galinha, esterco suíno e esterco equino possivelmente seriam indicados por eles como exemplos de resíduos gerados no contexto de suas residências. Sugiro que, em atividades experimentais dessa natureza, se possível, sempre sejam considerados os resíduos gerados nos próprios domicílios dos estudantes. No entanto, não vejo nenhum problema ou impedimento em acrescentar outras possibilidades indicadas por eles, pois isso tende a valorizar o conhecimento prévio deles e dar mais significado ao trabalho. Também há que se considerar a quantidade de grupos de alunos participantes ou até mesmo a disponibilidade de coleta do material orgânico.

Figura 8 –Experimento simulando um mini biodigestor simples. Dia 7 (à sombra)



Fonte: Cássia Solange Silva. 15/08/2021.

Figura 9 – Experimento simulando um mini biodigestor simples. Dia 11 (ao sol)



Fonte: Cássia Solange Silva. 19/08/2021.

Quando observadas em períodos diferentes do dia, as garrafas expostas ao sol, apresentaram os balões de borracha elevados verticalmente, durante o período de maior insolação. Os mesmos balões, ainda que inflados, permaneceram na posição horizontal nos períodos de insolação menor ou ausente. Essa observação pode fomentar discussões a respeito da velocidade do metabolismo das bactérias anaeróbias sob variação de temperatura. Além da influência do metabolismo da bactéria, podemos também discutir/contextualizar a teoria cinética molecular. Os gases se expandem sob condições de temperaturas mais altas.

Figuras 10 e 11 – Experimento simulando um mini biodigestor em detalhe parcial. Dia 11 (ao sol)



Fonte: Cássia Solange Silva. 19/08/2021.

O experimento com biodigestor simples (miniatura experimental) se destina à observação, coleta de dados e discussão da influência do tipo de biomassa, grau de hidratação e condições de temperatura no processo de produção do biogás. O biodigestor trabalha com qualquer tipo de material que possa ser decomposto biologicamente sob ação de bactérias anaeróbias. Isso significa que praticamente todo resíduo/produto de resto animal ou vegetal é biomassa capaz de gerar biogás através do biodigestor.

Vários conteúdos podem ser trabalhados em potencial por meio desse experimento. Por exemplo: decomposição, produção de biogás, fermentação, condições de reprodução dos microrganismos, fluxo energético nos ecossistemas, sustentabilidade ambiental, impacto ambiental, ciclos biogeoquímicos, animais ruminantes, interações ecológicas, entre outros. As possibilidades são inesgotáveis, especialmente em propostas interdisciplinares, que integram os diferentes componentes curriculares como Química, Matemática, Geografia, Física e Biologia. Considerando as abordagens biológicas, conteúdos trabalhados nos três anos do Ensino Médio são oportunos. Desde Ecologia no 1º ano até Bactérias no 2º ano ou Digestão no 3º ano. A escolha de um, ou alguns dos temas possíveis, tende a possibilitar maior detalhamento e talvez um desenvolvimento mais eficiente para alcançar os objetivos de aprendizagem do tema escolhido.

A meu ver, a maior riqueza desse experimento não reside apenas na possibilidade do engajamento dos grupos para colaborar na montagem, nem tampouco na perspicácia da observação, mas sim, em todo o processo envolvido. Todas as etapas são importantes. Na primeira etapa de uma sequência de ensino investigativa (orientação), também conhecida por problematização, a curiosidade dos estudantes é instigada pela apresentação de elementos que inserem a temática a ser estudada. Esta etapa propicia elaboração de questões a serem investigadas em sala de aula. Na segunda etapa (conceitualização), os conhecimentos prévios dos alunos são requeridos para tentar responder às questões-problema. Na tentativa de elaborar hipóteses, ocorre a busca de possíveis respostas às questões iniciais orientando-as em conceitos. A terceira etapa (investigação) é realizada por meio de estratégias diversas que possibilitem coletar dados e informações. Dessa forma, o processo de exploração permite a organização e construção de explicações capazes, ou não, de responder as questões formuladas. A quarta etapa é a conclusão do processo investigativo. As quatro etapas proporcionam momentos de discussão, comunicação de resultados e reflexão (SCARPA; CAMPOS, 2018).

A montagem e manutenção do experimento, a observação, o registro de dados e as conclusões precisam se articular para os objetivos serem alcançados. A dúvida, a curiosidade,

a pesquisa e a discussão de cada evento são chaves para o enriquecimento, apropriação do conhecimento e construção do entendimento coletivo. Nesse processo, os registros são cruciais para guiar os passos dos estudantes. No caso de alunos ainda inexperientes com o EnCI, é possível que eles se sintam inseguros com o processo investigativo. Por isso, o professor mediador da aprendizagem deve ficar atento à curiosidade dos estudantes.

As características do professor que atua como intermediário da aprendizagem decorrem de um minucioso planejamento, dedicação à pesquisa e leitura de estratégias e materiais capazes de promover “interações discursivas” (SASSERON, 2013). Essa postura difere da apresentação dos conteúdos de forma expositiva e tradicional, pois exige esforços docentes para saber perguntar e saber ouvir. Por exemplo, ao receber as perguntas dos alunos, o docente deve guiá-las à resolução, sem respondê-las. Assim, o professor traz à tona novos questionamentos que orientam o estudante, a comparar seus conhecimentos prévios com novas situações. Dessa forma, o aluno percorre o caminho investigativo a partir de sua dúvida. Deduz, reflete e constrói conclusões, apoiadas em dados científicos e/ou experimentais. Professores e alunos podem e devem aprender juntos no ensino investigativo, pois a ciência é construída coletivamente.

5.3 Resultados do biodigestor caseiro

O biodigestor de batelada adaptado que construí apresentou a primeira alteração após o 12º dia de operação. As mudanças observadas foram um leve aquecimento na região do tambor (200 litros), próximo ao nível de carga da biomassa inserida. Também foi percebida uma pequena quantidade de biogás no interior da câmara de ar emborrachada sem, no entanto, causar dilatação significativa (Figura 12).

No 15º dia de operação do biodigestor (Figura 13), a elevação de temperatura no interior do tambor, decorrente da atividade bacteriana, foi mais perceptível. Esse parâmetro também foi influenciado pela exposição do tambor ao sol. A câmara de ar inflou aproximadamente $\frac{1}{4}$ de sua capacidade. É necessário relatar que, mesmo tendo sido montado em local exposto ao sol para favorecer o gradiente ótimo de temperatura relacionado à atividade das bactérias (entre 30º e 40ºC), o experimento com o biodigestor ocorreu nos meses de dezembro/2021 e janeiro/2022. Esses meses foram marcados por elevados índices pluviométricos na região onde habito com valores similares aos de grande parte do estado de Minas Gerais. Com as chuvas diárias durante

mais de 15 dias consecutivos e consequente queda da temperatura, é provável que a fermentação tenha sido desacelerada. Dependendo das condições de temperatura, os biodigestores de batelada geralmente começam a gerar biogás entre 15 a 20 dias após receber a carga de biomassa (BARREIRA, 2011; CASTRO; CORTEZ, 1998; GALBIATTI *et al.*, 2010).

Figura 12 – Câmara de ar no 12º dia de operação do biodigestor



Fonte: Cássia Solange Silva. 12/ 01/2022.

Figura 13 –Câmara de ar no 15º dia de operação do biodigestor



Fonte: Cássia Solange Silva. 15/ 01/2022.

Após 20 dias de operação do biodigestor (Figura 14), a produção de biogás aumentou sendo esse fenômeno facilmente evidenciado pelo enchimento da câmara de ar. A temperatura externa do tambor se mostrou bastante elevada em relação aos dias anteriores tornando difícil manter o toque em algumas partes. No 30º dia de experimento, a câmara de ar ficou bem inflada (Figura 15). Dessa forma, foi conectada ao fogareiro por meio da mangueira transparente. Esta mangueira conduz o biogás armazenado na câmara de ar de modo a alimentar a chama do fogareiro (Figura 16).

Figura 14 –Câmara de ar no 20º dia de operação do biodigestor



Fonte: Cássia Solange Silva. 20/01/2022.

Figura 15 –Câmara de ar no 30º dia de operação do biodigestor



Fonte: Cássia Solange Silva. 30/01/2022.

Figura 16 –Câmara de ar conectada ao fogareiro



Fonte: Cássia Solange Silva.30/01/2022.

O conhecimento gerado na atividade experimental com os minis biodigestores serviu de base e foi importante para a montagem do biodigestor maior. A montagem, bem como a operação do biodigestor de maior porte, possibilitou a produção do biogás em maior volume. Para a sua implementação, além da interpretação dos dados dos biodigestores simples, vários trabalhos técnicos-científicos foram consultados, como, por exemplo, Barreira (2011), Castro e Cortez (1998), Comastri Filho (1981), Deganutti (2002), entre outros. Há grande variedade de propostas e materiais para a construção de biodigestores, no entanto, o processo é similar e os produtos finais são os mesmos. Durante a montagem, alguns procedimentos exigiram apoio devido ao esforço físico ou habilidades como perfurar materiais plásticos resistentes e o manuseio de ferramentas incomuns no dia a dia de uma professora. Contudo, nenhuma das ações teve um grau de dificuldade extremo, apesar de exigirem paciência, persistência e dedicação.

Conforme já mencionado anteriormente, a construção do biodigestor, como parte integrante da sequência de ensino que proponho neste trabalho, pode não ser de interesse de todos os professores que decidirem utilizar a proposta. No entanto, para a minha realidade, considerei importante insistir na construção do biodigestor de maior capacidade, pois ele representa uma ponte concreta entre a incorporação do conhecimento na sala de aula e a utilização desse conhecimento no contexto social de inserção dos meus alunos.

Embora o objetivo principal do biodigestor de maior capacidade seja propiciar a discussão dos conteúdos durante a aplicação da sequência de ensino, o resultado desse

experimento demonstrou ser possível produzir biogás à base de biomassa, com materiais alternativos, sem custos elevados ou grande desconforto. A simplicidade de operação, o pequeno espaço ocupado pelo biodigestor de batelada e a importância de seus produtos finais viabilizaram sua utilização em locais como uma pequena propriedade da área rural ou urbana. Se a vedação dos orifícios do biodigestor for eficiente, não há escape de gás nem mau cheiro. Nas escolas em que houver pequenos espaços para experimentação, não ocorrerá restrições espaciais decorrentes do experimento.

Um ponto observado durante a operação do biodigestor de batelada coincidiu com a situação registrada nas miniaturas experimentais de biodigestor construídas com garrafas PET e balões de borracha. Durante os períodos de maior insolação, a câmara de ar permanecia mais inflada, enquanto nos períodos matutinos e noturnos, de insolação menor ou ausente, a câmara de ar desinflava. Esse mesmo comportamento do biogás foi observado nos balões de borracha, durante o período do experimento. Esse dado corrobora com a influência da temperatura no processo de fermentação e produção do biogás. A expansão dos gases em temperatura mais elevada durante as horas mais quentes do dia promove a dilatação da câmara de ar. Nas horas mais frias, o gás contrai, provocando o efeito contrário. Essa ocorrência durante as horas mais quentes também pode expressar uma maior atividade bacteriana devido à aceleração do metabolismo.

Essa constatação viabiliza a discussão de diversos conceitos como por exemplo a Lei dos Gases Ideais na Termodinâmica, as relações do ambiente com os seres vivos nos processos bioenergéticos, entre outros. Dessa forma, os estudantes terão condições de perceber que a geração de biogás a partir de resíduos orgânicos, associa os processos biológicos, químicos e físicos inerentes aos seres vivos, com as condições ambientais decorrentes da localização geográfica. Tais pontos de reflexão podem ser guiados pelo professor, a fim de motivar os estudantes a considerar os pontos fortes e frágeis do uso de certas tecnologias para solucionar problemas sociais e ambientais de sua comunidade.

Conforme destacado anteriormente, a faixa de temperatura considerada ideal para a atividade de bactérias metanogênicas é a mesofílica⁵, entre 30°C a 40°C (CASTRO; CORTEZ,

5-Capazes de se desenvolver apenas na faixa de temperatura mediana de 20° a 45°C, tendo como ponto ótimo de rendimento a temperatura de 35°C (COMASTRI FILHO, 1981).

1998). Barreira (2011) aponta a temperatura de 35°C como mais favorável para a fermentação no biodigestor de batelada, o que está de acordo com as observações de Castro e Cortez (1998).

Além das discussões a respeito de como os fatores ambientais (ex., a temperatura) afetam processos bioquímicos, o biodigestor rural pode ser utilizado como ferramenta em diversas situações de aprendizagem, seja durante o estudo de biologia das bactérias, ou de forma interdisciplinar/ multidisciplinar entre as Ciências da Natureza, juntamente com os professores de Química e Física, nos conteúdos afins. As fermentações podem ser associadas a outros produtos mais populares entre os estudantes, como por exemplo, a cerveja, o queijo, o vinho, o iogurte, os pães, entre outros. A respiração anaeróbica (sem consumo de oxigênio), constitui um dos temas pouco explorados nos estudos regulares do Ensino Médio e pode ser evidenciada pela associação entre a fermentação e a forma de obtenção de energia, pelas bactérias metanogênicas, o que resulta na produção do biogás.

Portanto, a montagem deste biodigestor caseiro de maior capacidade é uma atividade que pode ajudar os estudantes a aplicarem os conhecimentos científicos/escolares na resolução de problemas ambientais locais.

A proposta da sequência de ensino e o acompanhamento da montagem/operação pelos alunos e o professor podem desmistificar a ideia de que somente invenções tecnológicas complexas e de alto custo podem gerar benefícios e se mostrarem eficientes na resolução de problemas nas pequenas comunidades do interior do país. A utilização de biodigestores pode contribuir para o despertar da integração das atividades agropecuárias, aproveitando os resíduos animais, aos quais normalmente são atribuídos pouco ou nenhum valor comercial, convertendo-os em duas bases para o desenvolvimento sustentável: energia alternativa renovável e fertilizante orgânico.

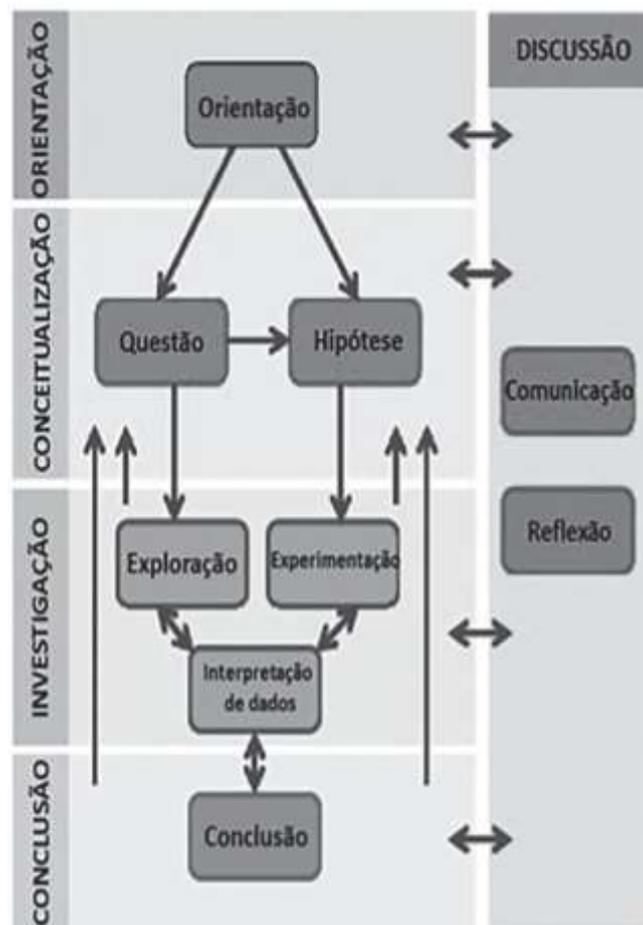
5.4 Reflexão crítica sobre a sequência de ensino

Na expectativa de colaborar para o desenvolvimento das habilidades e aprendizagem dos estudantes, a proposta desta sequência de ensino visa atender aos pressupostos do EnCI, levando os alunos a participar de algumas práticas da comunidade científica. Por exemplo, a

identificação de um problema, o levantamento de hipóteses e o diálogo entre pares. Paralelamente, a utilização da experimentação, a coleta de dados e o trabalho em grupos. Essas etapas levam à conclusão de um trabalho com o uso do método científico e a culminância pela divulgação de informações. A consequência é se envolverem na produção de conhecimento, partindo de suas experiências prévias para conduzi-los à construção coletiva de saberes ecológicos, vislumbrando possibilidades reais de intervenção em sua comunidade.

Diante do exposto, esta sequência de ensino foi elaborada à luz do ciclo investigativo apresentado no trabalho de Scarpa e Campos (2018) de modo a operacionalizar o planejamento e detalhamento das etapas que serão percorridas durante a aplicação da atividade em sala de aula. A representação desse ciclo está ilustrada a seguir (Figura 17).

Figura 17 - Representação do ciclo investigativo proposto por Pedaste *et al.* (2015)



Fonte: Scarpa e Campos, 2018, p.31.

O início do trabalho se dá pela *fase de orientação*, na qual a curiosidade dos estudantes é estimulada sobre determinado assunto, levando-os a elaborar questionamentos e suposições. Dessa forma, o primeiro momento da sequência proposta inicia-se pela apresentação de quatro imagens aos alunos (Figuras 4 a 7), projetadas com auxílio de um projetor multimídia na sala de aula. Nas escolas em que não houver esse equipamento, as imagens podem ser impressas em folhas de papel e mostradas aos alunos. Essas imagens visam defrontar os alunos com situações aparentemente desconectadas de ambientes e objetos, com os quais, eles ainda não têm total familiaridade, até que possam ler o texto motivador, no qual compreenderão a interconexão entre elas. Para isso, os estudantes necessitam participar do primeiro momento de discussão. A apresentação das ideias iniciais é enriquecida com as opiniões dos colegas. Essa parte da atividade exercita o processo de desinibição, medo de se expressar em público e desenvolve a habilidade de argumentação diante dos posicionamentos distintos. Essa etapa também caracteriza a busca pelo consenso das opiniões que serão selecionadas para a apresentação aos colegas. Essa etapa instiga os estudantes a contribuir por meio de seus conhecimentos prévios, a partir da observação e descrição da realidade articulando-as com teorias disponíveis (SCARPA; CAMPOS, 2018).

O texto traz elementos capazes de sugerir a conexão das imagens nas entrelinhas, oferecendo o esboço do assunto a ser abordado. Com a leitura feita nos grupos, os alunos farão a discussão e registro das ideias mais chamativas do texto para socialização com a turma toda. Nessa parte da atividade, onde são requeridas dos alunos, habilidades de refletir, discutir ideias, formular questionamentos e hipóteses sobre um assunto, bem como comunicar ideias, socializando opiniões, realiza-se a segunda fase do ciclo investigativo, denominada *conceitualização*. Os conceitos orientam as questões de investigação juntamente com as teorias e as hipóteses (SCARPA; CAMPOS, 2018). Uma vez envolvidos com a temática apresentada de forma indireta, os alunos serão preparados de acordo com as ideias socializadas, de maneira a serem guiados ao estudo dos resíduos orgânicos, para receber a questão-problema a ser investigada.

De acordo com Franco, Souto e Munford (2018), um dos grandes desafios do ensino de Ciências por investigação consiste na inserção de questões produtivas. Esses autores consideram como tal as indagações capazes de levar os alunos a lidar com dados, argumentações e adquirir uma postura ativa diante do problema. Nesse aspecto, o professor mediador estimula os estudantes a construírem questões que mobilizem o conhecimento científico e incentive a prática investigativa no processo de resolução de problemas. Opostas às

questões produtivas, certos questionamentos improdutivo podem comprometer o processo de aprendizagem pautado na abordagem investigativa. Consideram-se perguntas improdutivo aquelas cujas respostas já são conhecidas pelos estudantes ou não são capazes de receber contribuições adicionais dos alunos participantes. Essa situação merece atenção, pois muitos professores, talvez a maioria, encontrem dificuldades para elaborar “bons problemas”, uma vez que receberam a educação tradicional, bastante centrada em conceitos inertes apenas apresentados, sem abertura à formulação de perguntas próprias, contestações e argumentações. Portanto, ao elaborar a questão investigativa dessa sequência, esses aspectos foram ponderados.

A fim de responder à questão-problema, começa a terceira fase do ciclo investigativo, chamada *investigação*. A utilização de estratégias didáticas que estimulam os estudantes a assumir uma postura mais ativa, diante das tarefas propostas durante a sequência de ensino, pode contribuir para desenvolver olhares mais coerentes com a construção do conhecimento científico e valorizar a diversidade de perfis discentes (SCARPA; CAMPOS, 2018). Esta etapa, que inclui experimentos, valoriza a liberdade intelectual dos alunos ao permitir que suas escolhas sejam testadas. Dessa forma, integraliza-se a fase de *exploração* do ciclo investigativo apoiada pela *reflexão* e incorporação das ideias construídas nas etapas anteriores.

A temática e as atividades propostas na sequência de ensino buscam evidenciar a interconexão da tétrede ciência, tecnologia, sociedade e ambiente. Em contextos práticos é muito difícil dissociá-las, embora cada uma possua individualidade própria. Elas atuam como pilares para o desenvolvimento do pensamento crítico-reflexivo, entendimento de mundo e suporte para a tomada de decisão em sociedades e culturas diferentes (CARVALHO DE SIQUEIRA *et al.*, 2021).

De acordo com Scarpa e Campos (2018) a argumentação deve estar presente em todo o ciclo investigativo. No entanto, “é na fase de conclusão que os argumentos finais, que articulam as evidências, os conhecimentos prévios e científicos e a explicação, são construídos ou sistematizados” (SCARPA; CAMPOS, 2018, p.31). O resultado esperado com a aplicação da sequência de ensino investigativa perpassa um entendimento consciente, autônomo e consistente por parte dos estudantes, acerca dos assuntos estudados. Ao alcançar a fase de *conclusão*, espera-se que a vivência das fases do ciclo investigativo proporcionará um maior entendimento dos conceitos ecológicos e por consequência, a aprendizagem dos envolvidos.

Diante do meu entendimento e apropriação pessoal das etapas do ciclo investigativo, bem como sua conexão com as atividades propostas na sequência de ensino elaborada neste trabalho, apresento a auto interpretação ilustrada a seguir (Figura 18).

Figura 18 – Representação infográfica do Ciclo Investigativo da Sequência de Ensino: Biodigestor rural como ferramenta para a aprendizagem de conceitos ecológicos e ambientais



Fonte: Template: www.canva.com. Adaptação: Cássia Solange Silva. 04/04//2022.

A revisão de literatura apresenta vantagens na organização da sequência de ensino em um ciclo investigativo (SCARPA E CAMPOS, 2018) e no oferecimento de diferentes graus de liberdade intelectual aos estudantes (CARVALHO, 2018). Durante o desenvolvimento desse ciclo investigativo, as questões-problema a serem trabalhadas, precisam ser versadas não apenas em conceitos, mas também em processos. Dessa forma, será favorecida a construção do conhecimento científico em sala de aula (DRIVER *et al.*, 1999), baseado no processo de elaboração de registros (SASSERON, 2013), no qual a exploração de dados constitui um instrumento-chave de análise. Assim, os alunos participarão do processo da alfabetização científica (SCARPA; CAMPOS, 2018), associando-a aos princípios de aprendizagem, em consonância com o Ensino de Ciências por Investigação.

Tão importante quanto a elaboração da sequência de ensino, como um produto que visa auxiliar os professores leitores deste trabalho, em eventual aplicação nas salas de aula, é delinear a possibilidade de adaptação, reconstrução e até desdobramentos da proposta apresentada. Cada docente está inserido em um dado contexto geográfico, social, econômico e ambiental. Ninguém melhor que o professor regente para conhecer a potencialidade de seus alunos e os desafios que eles enfrentam. Por isso, por mais interessante que uma sequência de ensino possa ser ou parecer, não é uma receita infalível ou enrijecida. Almejo que cada colega professor, ao ler e considerar esse produto, use sua liberdade para adaptar, refletir, alterar e replicar esse trabalho dentro de sua atuação pedagógica.

Ainda no intuito de testar as situações propostas na sequência de ensino elaborada, além de colaborar com a atuação de outros professores por meio da socialização desse produto, achei imprescindível realizar todas as atividades experimentais sugeridas. Os dados, coletados pela observação decorrente de cada montagem experimental, serviram para contemplar as possibilidades reais da proposta, conhecer algumas dificuldades do percurso e o mais importante: propiciar o uso dos dados para validar uma sequência de ensino como produto educacional. Se faz necessário considerar que as condições de localização geográfica, a quantidade de material utilizado e as circunstâncias de montagem podem provocar algumas variações dos resultados obtidos. No entanto, enquanto professores da área de Ciências da Natureza, devemos recordar que não há experimento que dê errado, e sim, condições que geram variáveis a serem investigadas. Essa é outra oportunidade de ensino e aprendizagem a ser valorizada, pois o trabalho científico é resultado de tentativas, erros, acertos, paciência, perseverança e construção colaborativa de muitos pensadores e pesquisadores.

Reconheço que o segundo experimento sugerido na sequência de ensino (construção do biodigestor caseiro de maior capacidade) pode não se aplicar ao contexto de todas as escolas por razões espaciais e/ou financeiras. No entanto, como eu conseguiria aplicar e ainda tenho essa pretensão, optei por manter a construção deste dispositivo na proposta. A supressão deste segundo experimento por decisão docente não afetará o caráter investigativo da sequência de ensino, mas deixará de pôr em prática os resultados obtidos no primeiro experimento (mini biodigestores). Penso que o aspecto financeiro pode ser limitante para muitos professores. No entanto, pela minha experiência docente, posso afirmar que um professor motivado é capaz de realizações vistas por muitos como improváveis.

Apesar de existirem dificuldades para a manutenção dos educandos na Educação Básica, de modo particular no Ensino Médio, o Ensino de Ciências por Investigação, abordado na

sequência de ensino proposta neste trabalho, intenciona conectar as atividades experimentais com algumas circunstâncias vivenciadas pelos alunos da zona rural do município. Os alunos residentes na área urbana também podem ser sensibilizados, mas os excrementos animais e o desconforto gerado pela grande produção deles sem algum tipo de aproveitamento, tende a ser mais específico para estudantes da área rural.

O principal impacto na vida dos estudantes ocasionado por este trabalho é auxiliar na aprendizagem de conteúdos curriculares relacionados à Ecologia. Esses saberes podem ser compreendidos para além da sala de aula, alcançando a vida social e familiar dos estudantes. De forma similar a um efeito cascata, ao encontrar espaço na vivência familiar e social dos alunos, a aplicação dos conhecimentos de mundo para resolução de problemas, inevitavelmente percorre a dimensão ambiental.

Ao propiciar a participação científica por meio de etapas relacionadas ao método científico, os alunos poderão experimentar ações não enrijecidas, acompanhadas em tempo real de forma relativamente simples e metódica. Espera-se que todas as fases do trabalho durante a sequência de ensino sirvam para gerar dúvidas, conexões entre a vida real e o ambiente de estudos, promovendo reflexões e comparações apresentadas pela teoria estudada e a aplicação dos princípios abordados durante as aulas. Desse modo, os estudantes podem perceber, em níveis de profundidade e maturidade diferentes, que os seus conhecimentos prévios têm valor e são o ponto de partida para criar pontes entre o conhecimento escolar e a possibilidade de criação dos mecanismos coletivos para superação de problemas, independentemente da área onde residem. Essas intenções se inter-relacionam com o eixo CTSA e perpassam pela Alfabetização Científica.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Ensino de Ciências por Investigação leva o aluno a realizar variadas atividades, de acordo com um planejamento docente não convencional, centrado na gradação de níveis de liberdade intelectual dos estudantes, percorrendo as etapas do método científico. O processo de investigação parte de determinado tema, mediado pela atuação do professor. A aprendizagem é construída de forma colaborativa e anseia atingir os pilares da alfabetização científica.

O trabalho didático do EnCI é organizado em um ciclo investigativo, dotado de fases metodológicas relacionadas aos recursos escolhidos. Por se tratar de um trabalho estruturado, reflexivo e gerador de desdobramentos, que conectam a realidade do educando à sociedade, torna-se amplo e demanda certo tempo das aulas disponíveis. Esse fato explicita que não é possível trabalhar todos os conteúdos de forma investigativa todo o tempo, de acordo com os parâmetros educacionais vigentes. Contudo, algumas oportunidades em que forem utilizadas, as abordagens investigativas têm potencial para colaborar na formação integral do aluno, como cidadão atuante em seu meio.

A proposta investigativa que este trabalho propõe emergiu do desejo de conectar os alunos das localidades rurais com os estudos biológicos, gerando resultados de interesse concreto. Os eventos direcionados pela pandemia de covid-19 reorientaram a forma de finalizar o trabalho. As circunstâncias foram alteradas, mas a essência se manteve. A sequência de ensino não foi aplicada, mas foi extensivamente planejada, reestruturada, testada e detalhada para se configurar como um bom produto educacional. Espero que seja útil e possa ajudar outros professores em seu trabalho.

De acordo com os testes e reflexões deste trabalho, baseados em experimentações e revisões literárias, o biodigestor rural pode ser uma ferramenta real para colaborar na aprendizagem de conceitos ecológicos e saberes ambientais. Ele pode propiciar aos estudantes e professores envolvidos nas atividades da sequência de ensino, uma experiência científica, tecnológica, social e ambiental.

No percurso da abordagem CTSA, além de construir aprendizagens, reconhecer as implicações sociais e econômicas do entorno, as reflexões e discussões sobre as questões ambientais, perpassam pelos recursos tecnológicos e a necessidade de interferir assertivamente na comunidade local. Por isso, ao compreender o funcionamento do processo de biodigestão,

os participantes do trabalho poderão compartilhar aprendizagens e divulgar alternativas ligadas a ideias de sustentabilidade. De modo prático, simples e econômico, dispositivos tecnológicos podem aplicar conhecimentos científicos e atuar na resolução ou minimizar problemas reais do dia a dia.

Nenhuma proposta ou trabalho, por mais interessante e promissor que pareça ser, traz receitas infalíveis ou soluções mágicas para os muitos desafios que se erguem no contexto educacional. Entretanto, a formação continuada dos professores, a vontade de acertar e a busca por abordagens que levem mais significado ao aprendizado dos jovens estudantes são mecanismos portadores de esperança e valor. A abordagem investigativa pode colaborar rumo à formação de cidadãos alfabetizados cientificamente e atentos às questões sociais e ambientais, para as quais precisam estar preparados para intervir.

Por fim, a proposição do biodigestor como ferramenta para a aprendizagem de conceitos ecológicos e ambientais decorre da capacidade de suscitar a reflexão e discussão sobre o desenvolvimento sustentável. A partir do momento em que os estudantes se tornem capazes de questionar se esse dispositivo é capaz de resolver os problemas mundiais e depreender criticamente que apenas uma iniciativa como essa não é capaz de resolver todos os problemas, a sequência de ensino investigativa terá cumprido o seu papel.

Caso algum dos momentos detalhados na SEI não alcancem os resultados esperados, mais uma vez é importante se apropriar do fazer ciências. No processo de experimentação não há teste de hipóteses que dê errado, não há experimento que não dê certo, há variáveis envolvidas. Essas circunstâncias inesperadas nos tiram da zona de conforto e permitem outros caminhos metodológicos e, por conseguinte, a contra argumentação. Os estudantes podem e devem duvidar se o biodigestor dará certo, ou não, caso venha a ser instalado em sua propriedade. Para que a produção do biogás aconteça é necessário o trabalho e o conhecimento dos envolvidos no processo. Essa capacidade de criticar evidencia que o processo investigativo está conseguindo atuar na formação de cidadãos críticos.

A dimensão crítica/reflexiva da construção de um biodigestor maior, como outras tecnologias existentes, envolve vantagens e também desvantagens. Algumas ponderações são oportunas como o consumo de água: o sistema exige uma disponibilidade de água para realizar uma mistura. O controle de temperatura: para o bom funcionamento do biodigestor é necessário manter uma temperatura constante próxima a 35 ° C e dentro de uma faixa entre 20 e 60 °C. Portanto, pode ser necessária uma fonte de calor externa. Alguns subprodutos nocivos: no

processo de biodigestão pode ser produzido sulfeto de hidrogênio (H_2S), siloxenos derivados de silicone contidos em produtos cosméticos e na mistura de resíduos orgânicos. Quanto ao acúmulo de resíduos orgânicos: para manter os biodigestores sempre funcionando é necessário acumular resíduos orgânicos o que pode trazer consigo problemas de saúde pública. Para muitas pessoas o custo benefício de instalação dos biodigestores pode ser considerado relativamente alto. As vantagens dos biodigestores na produção de biogás para consumo próprio, biofertilizante para a adubação orgânica e a redução de resíduos orgânicos por meio de sua transformação, devem ser contrabalanceadas às desvantagens/dificuldades para sua instalação/uso.

Se conseguirmos despertar nos estudantes, esse olhar refinado sobre o mundo que os cerca, cumprimos o nosso papel de educadores ambientais. Esse aluno capaz de atuar em sua realidade de forma consciente e crítica, apoiado no conhecimento científico, será de fato, um elemento decisivo para a transformação da sociedade de forma responsável.

REFERÊNCIAS

ABREU-JUNIOR, Cassio Hamilton; BOARETTO, Antonio Enedi; MURAOKA, Takashi; KIEHL, Jorge de Castro. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: Propriedades químicas do solo e produção vegetal. *Tópicos em ciência do solo*, v. 4, p. 391-470, 2005. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Antonio-Boaretto/publication/267968223_Uso_agricola_de_residuos_organicos_potencialmente_poluentes_propriedades_quimicas_do_solo_e_producao_vegetal/links/54cbd3180cf24601c0899f13/Usa-agricola-de-residuos-organicos-potencialmente-poluentespropriedades-quimicas-do-solo-e-producao-vegetal.pdf. Acesso em: 12/09/2020.

BARREIRA, Paulo. *Biodigestores: energia, fertilidade e Saneamento para a Zona Rural*. 3 ed. São Paulo: Ícone, 2011, 106p.

BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular: educação é a base*. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em 09/09/2020.

BRASIL. *Constituição da República Federativa do Brasil*. Brasília: Senado Federal, 1988. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf. Acesso em 09/09/2020.

BRASIL. Ministério da Educação. *Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio) Parte III*. Brasília: MEC, 2000. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em 31/08/2020.

BRASIL. Ministério da Educação. *Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA)*. Publicado em 31/08/2020. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/avaliacao-e-exames-educacionais/pisa>. Acesso em: 01/08/2021.

CARTAXO, Amanda da Silva Barbosa; LEITE, Valderi Duarte; ALBUQUERQUE, Maria Virgínia Conceição; LOPES, Wilton Silva; CARTAXO, Mailson Silva Almeida. Biodigestor caseiro como ferramenta metodológica para o ensino de educação ambiental nas escolas. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, n. 2, p. 214-230, 2020. Disponível em: https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/download/7928/5200. Acesso em: 13/11/2020.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Fundamentos Teóricos e Metodológicos do Ensino por Investigação. *Revista Brasileira de pesquisa em Educação em Ciências*. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v.18, n.3, p.765-794, 2018.

CARVALHO DE SIQUEIRA, Gisele; RIBEIRO, Sílvia Andréia Fernandes; FREITAS, Carlos César Garcia; SOVIERZOSKI, Hilda Helena; LUCAS, Lucken Bueno. CTS e CTSA: em busca de uma diferenciação. *Revista Tecnologia e Sociedade*, Curitiba, v.17, n. 48, p. 16-34, jul/set., 2021. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/14128>. Acesso em: 20/04/2022.

CASTRO, Larissa Rodrigues de; CORTEZ, Luís Augusto Barbosa. Influência da temperatura no desempenho de biodigestores com esterco bovino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 2, n. 1, p. 97-102, 1998. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/pzGTyb55WSmP8Bf3DDvqRhs/?lang=pt>. Acesso em: 21/01/2022.

CASANOVA, Ananda. “*A consciência muito grande*” da educação ambiental: a experiência escolar no município de Garopaba/Santa Catarina. 2013. 185f. Trabalho de Conclusão de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Educação da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul). Porto Alegre, 2014.

COMASTRI FILHO, José Anibal. *Biogás: independência energética do Pantanal Mato-Grossense*. Embrapa Pantanal-Circular Técnica (INFOTECA-E), 1981. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/787706>. Acesso em: 26/01/2022.

COSTA, Hudson Rhomer da Silva; ASSAYAG, Elias Simão; CONTENTE, Ellem Cristiane Moraes de Souza; FRANÇA, Yara Neres; GARCEZ, Lilyanne Rocha; SILVA, Jairo Wilson Souza da; SILVA, Maria de Nazaré Alves da. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia da UFAM, 09, 2012, Belém, PA. *Atividade de extensão para desenvolvimento de Biodigestores caseiros em comunidades amazônicas*. Disponível em: <http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/7/artigos/104404.pdf>. Acesso em: 07/09/ 2020.

DE ABREU, Teo Bueno; FERNANDES, João Paulo; MARTINS, Isabel. Levantamento sobre a produção CTS no Brasil no período de 1980-2008 no campo de ensino de ciências. Alexandria: *Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 6, n. 2, p. 3-32, 2013. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6170814>. Acesso em: 25/06/2022.

DEGANUTTI, Roberto; PALHACI, Maria do Carmo Jampaulo Plácido; ROSSI, Marco; TAVARES, Roberto; SANTOS, Claudemilson dos. *Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada*. Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural, 2002. Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000100031&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 26/01/2022.

DE LUCA BONTURI, Guilherme; VAN DIJK, Michel. Instalação de biodigestores em pequenas propriedades rurais: análise de vantagens socioambientais. *Revista Ciências do Ambiente On-Line*, v. 8, n. 2, 2012. Disponível em:

<http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/nova/index.php/be310/article/viewFile/338/266>. Acesso em: 16/07/2022.

DRIVER, Rosalind, ASOKO, Hilary, LEACH, John, MORTIMER, Eduardo, SCOTT, Philip. Construindo conhecimento científico na sala de aula. Tradução: Eduardo Mortimer. *Química Nova na Escola*, nº 9, maio 1999. Disponível em: https://www.academia.edu/download/54499409/01_-Construindo_Conhecimento_Cientifico_na_Sala_de_Aula_1.pdf. Acesso em: 03/10/2020.

FRANCO, Luiz Gustavo; SOUTO, Kely Cristina Nogueira; MUNFORD, Danusa. Articulações entre práticas investigativas, conceitos científicos e tomada de decisão: estudando o micro-estrela nos anos iniciais do Ensino Fundamental. *Experiências em Ensino de Ciências*, v.13, n.3, p. 1-18, 2018.

GALBIATTI, João A.; CAMELO, Anaira D.; SILVA, Flávia G.; GERARDI, Eliana A. B.; CHICONATO, Denise A. Estudo qualiquantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, p. 432-437, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/xYwqQcNLwQr6yZ4kTFk5sxs/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 21/01/2022.

GODOY, Arilda Schimidt. Pesquisa Qualitativa: tipo fundamentais. *Revista de Administração de Empresas*. São Paulo, v. 35, n.3, p. 20-29 Mai./Jun. 1995.

GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciência & saúde coletiva*, v. 17, p. 1503-1510, 2012.

HORTA, Maurício. Ecoeconomia. *Revista Eletrônica Superinteressante*. Grupo Abril. Publicação em 15/07/2010. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ideias/economia/>. Acesso em: 31/01/2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Censo Agropecuário 2017*. Disponível em: https://censoagro2017.ibge.gov.br/templates/censo_agro/resultadosagro/index.html. Acesso em: 20/04/2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Rebanho bovino cresce 1,5% e atinge 218,2 milhões de cabeças em 2020*. Publicação em 29/09/2021. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/31725-rebanho-bovino-cresce-1-5-e-atinge-218-2-milhoes-de-cabecas-em-2020>. Acesso em: 11/02/2022.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES – MCTI. *Melhora na produtividade do rebanho bovino brasileiro influencia redução per capita animal das emissões de metano, aponta estudo*. Publicação em 22/06/2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2021/06/melhora-na-produtividade-do-rebanho-bovino-brasileiro-influencia-reducao-per-capita-animal-das-emissoes-de-metano-aponta-estudo>. Acesso em: 11/02/2022.

MOREIRA, Antônio Flávio Barbosa. Os parâmetros curriculares nacionais em questão. *Educação & Realidade*, v. 21, n. 1, 1996. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/educacaoerealidade/article/view/71637>. Acesso em: 24/06/2022.

MOTOKANE, Marcelo Tadeu. Sequências didáticas investigativas e argumentação no ensino de Ecologia. *Ensaio Pesquisa em educação em Ciências*, vol.17, nº especial. Belo Horizonte, nov/2015.

MUNFORD, Danusa; LIMA, Maria Emília Caixeta de Castro. Ensinar ciências por investigação: em quê estamos de acordo?. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências* (Belo Horizonte), v. 9, p. 89-111, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/epec/a/ZfTN4WwscpKqvwZdxcsT84s/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 28/04/2020.

PAIVA, Lucas. Kopi Luwak: O café mais raro e caro do mundo. *Review Café*. Publicação em 09/06/2021. Disponível em: <https://reviewcafe.com.br/dicas-e-receitas/kopi-luwak/>. Acesso em: 09/07/2022.

PAIXÃO, Valéria Vieira Moura; BATISTA, Carlos Henrique; CRUZ, Maria Clara Pinto. Construção de um biodigestor na escola: um estudo de caso fundamentado numa perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). *Química Nova Escola*, São Paulo, v. 41, n.4, p. 351-359, nov. 2019.

PAIXÃO, Valéria Vieira Moura; SANTOS, Augusto Levi Esquivel; BATISTA, Carlos Henrique. Experimentação numa perspectiva investigativa sobre a produção do biogás no ensino de química. *Encontro Internacional de Formação de Professores e Fórum Permanente de Inovação Educacional*, v. 10, n. 1, 2017.

PEDASTE, Margus; MAEOTS, Mario; SIIMAN, Leo A.; JONG, Ton D.; VAN RIESEN, Siswa A. N.; KAMP, Ellen T.; MANOLI, Constantinos C.; ZACHARIA, Zacharias C.; TSOURLIDAKI, Eleftheria. *Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle*. *Educational research review*, v. 14, p. 47-61, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1747938X15000068>. Acesso em: 07/10/2021.

PINHEIRO, Nilcéia Aparecida Maciel; SILVEIRA, Rosemari Monteiro Castilho Foggiatto; BAZZO, Walter Antonio. Ciência, tecnologia e sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio. *Ciência & Educação* (Bauru), v. 13, p. 71-84, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/S97k6qQ6QxbyfyGZ5KysNqs/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 19/03/2022.

PINHEIRO, Adalberto Pastana. *Planejamento no ensino de ciências: prospecções e reflexões*. 2012. 115f. Trabalho de Conclusão de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/48/48134/tde-08112012-131138/en.php>. Acesso em: 26/06/2022.

POTT, Crisla Maciel; ESTRELA, Carina Costa. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. *Estudos avançados*, v. 31, n. 89, p. 271-283, 2017.

REECE, Jane B.; URRY, Lisa A.; CAIN, Michael L.; WASSERMAN, Steven A.; MINORSKI, Peter V.; JACKSON, Robert B. *Biologia de Campbell*. Artmed Editora, 2019. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=BkI4DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR1&dq=biologia+de+campbell&ots=Akn9iyRvFj&sig=WD2ZZbMF6ZqxkwQ9qrr1FVIF-C4#v=onepage&q=biologia%20de%20campbell&f=false>. Acesso em: 26/01/2022.

ROBY, Thomas W. *Joseph Schwab (1909-1988)*. Education Encyclopedia. Copyright 2022. Disponível em: <https://education.stateuniversity.com/pages/2401/Schwab-Joseph-1909-1988.html>. Acesso em: 24/06/2022.

RODRIGUES, Bruno A.; BORGES, A. Tarciso. O ensino de ciências por investigação: reconstrução histórica. *Anais do XI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física*, p. 1-12, 2008. Disponível em: http://www.contagem.mg.gov.br/arquivos/comunicacao/femcitec_ensinodeciencia06.pdf. Acesso em: 18/08/2021.

RODRIGUES, Victor Cruz; THEODORO, Vanessa Cristina de Almeida; ANDRADE, Ivo Francisco de; NETO, Antônio Inácio; RODRIGUES, Victor do Nascimento; ALVES, Fabiana Villa. Produção de minhocas e composição mineral do vermicomposto e das fezes procedentes de bubalinos e bovinos. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 27, p. 1408-1418, 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/dZP4ZXvSJ86kK9BqMts8XtL/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 14/01/2022.

SANTANA, Ronaldo Santos; FRANZOLIN, Fernanda. *O ensino de ciências por investigação e os desafios da implementação na práxis dos professores*. 2018. Disponível em: <https://revistapos.cruzeirodosul.edu.br/index.php/rencima/article/view/1427>. Acesso em: 24/06/2022.

SANTOS, Rosemar Ayres dos. *Busca de uma participação social para além da avaliação de impactos da Ciência-Tecnologia na Sociedade: sinalizações de práticas educativas CTS*. 2016. Trabalho de Conclusão de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria - RS, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3513>. Acesso em: 24/06/2022.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira; MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. *Ensaio Pesquisa em educação em ciências*, v. 2, n. 2, p. 1-23, 2000.

SASSERON, Lúcia Helena. Interações discursivas e investigação em sala de aula: o papel do professor. *Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula*. São Paulo: Cengage Learning, p. 41-62, 2013. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/81246/mod_resource/content/1/Texto%206%20-%20Intera%C3%A7%C3%B5es%20discursivas.pdf. Acesso em: 01/05/2020.

SCARPA, Daniela Lopes; CAMPOS, Natália Ferreira. Potencialidades do ensino de Biologia por Investigação. *Estudos avançados*, v. 32, n. 94, p. 25-41, 2018. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142018000300025&script=sci_art_text. Acesso em: 08/02/2021.

SCHWAB, Joseph J.; HARPER, William Rainey. *The practical: A language for curriculum*. 1970. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=ED038332>. Acesso em: 16/06/2022.

SIQUEIRA, Cláudia Machado; GURGEL-GIANNETTI, Juliana. Mau desempenho escolar: uma visão atual. *Revista da Associação Médica Brasileira*, v. 57, p. 78-87, 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ramb/a/vrDgSbhJq5nBDjysppPyYzj/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18/08/2021.

THE ART STORY. *Artist: Piero Manzoni*. Disponível em: <https://www.theartstory.org/artist/manzoni-piero/>. Acesso em: 08/07/2022.

ZÔMPERO, Andreia Freitas; LABURÚ, Carlos Eduardo. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)*, v. 13, n. 3, p. 67-80, 2011.

APÊNDICE A: Imagens utilizadas no momento 1 (orientação) da sequência de ensino

Figura 19 – Foto de uma pequena propriedade rural



Fonte: Google imagens. Uso para fins didáticos. Disponível em: https://www.konexaomoveissjc.com.br/admin/imovel/20200604_T1406180_300-301375689.jpg. Acesso em: 20/08/2021.

Figura 20 – Foto de obra de arte conceitual italiana



Fonte: Google imagens. Uso para fins didáticos. MANZONI, Piero. Merda d'artista (1961). Disponível em: https://berlin89.info/images/COVER/merda_d_artista.jpg. Acesso em: 20/08/2021.

Figura 21 – Foto de embalagem e sabonete indiano



Fonte: Google imagens. Uso para fins didáticos. Sabonete Angarag à base de esterco de vaca e ervas. Disponível em: <https://mahabazar.club/images/thumbnails/342/450/detailed/6/2005-Angarag-Natural-Bathing-Soap-100g-Gomata-Products.jpg>. Acesso em: 20/08/2021.

Figura 22 – Foto de café produzido a partir de grãos consumidos e excretados pelo animal asiático civeta (luwak)



Fonte: Google imagens. Uso para fins didáticos. Café Kopi Luwak produzido a partir de grãos ingeridos e excretados pelos civetas asiáticos. Disponível em: <https://whatsnewindonesia.com/bali/wp-content/uploads/sites/4/2018/11/coffee-plantation-luwakcoffee1.jpg>. Acesso em: 20/08/2021.

APÊNDICE B: Quadro de preços dos materiais utilizados para a construção de um biodigestor de batelada adaptado.

Figura 23 – Quadro de materiais utilizados na montagem do biodigestor de batelada adaptado e respectivos preços

MATERIAL UTILIZADO	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO	FUNÇÃO	VALOR PARCIAL
Abraçadeiras metálicas 13mm	4	R\$ 2,25	Prender a mangueira e evitar o escape do gás	R\$ 9,00
Adaptador curto soldável com rosca 50mm	3	R\$ 13,70	Encaixe de tubos	R\$ 41,10
Bico inflador metálico tipo presilha para encher pneus e câmara de ar	1	R\$ 21,00	Inflar a câmara de ar durante a produção do biogás	R\$ 21,00
Bico preto plástico para torneira de jardim ½ polegada	2	R\$ 2,25	Ligar nípel e mangueira na montagem do registro de gás	R\$ 4,50
Câmara para pneu emborrachada	1	R\$ 50,00	Armazenar o biogás produzido	R\$ 50,00
Cap (tampão) roscável 100mm	1	R\$ 14,60	Tampar o tubo de carga do biodigestor	R\$ 14,60

Cola araldite hobby 16 gramas 10 minutos	1	R\$ 21,30	Colar tubos entre si e ao tambor	R\$ 21,30
Cola PVC com pincel	1	R\$ 14,46	Unir conexões e tubos sem vazamento	R\$ 14,46
Curva soldável 50mm	1	R\$ 15,56	Conduzir o biofertilizante produzido do interior ao exterior do tambor	R\$ 15,56
Espigão macho fixo ¼ x 3/8	1	R\$ 4,00	Conectar a mangueira e a abertura na tampa do tambor	R\$ 4,00
Flange caixa d'água 50mm	1	R\$ 30,00	Conectar o interior/exterior do tambor plástico sem vazamento	R\$ 30,00
Fogareiro chama única	1	R\$ 50,00	Realizar a queima do biogás produzido	R\$ 42,00
Lixa massa 180	1	R\$ 1,67	Reduzir aspereza dos cortes feitos no tambor	R\$ 1,67
Luva roscável pvc ½ polegada	1	R\$ 8,90	Ligar o segmento de tubo pvc ao registro esfera	R\$ 8,90

Mangueira nível 3/8	3 metros	R\$ 4,45 (o metro)	Conduzir o biogás produzido	R\$ 13,35
Nípel plástico roscável 1/2 polegada	2	R\$ 0,99	Conectar o registro com os bicos de torneira	R\$ 1,98
Válvula registro esfera 1/2 polegada	1	R\$ 35,98	Regular a passagem do biogás produzido do tambor até a câmara	R\$ 35,98
Tambor plástico 200 litros	1	R\$ 100,00	Câmara de fermentação da biomassa	R\$ 100,00
Tubo pvc 50mm	50 cm	R\$10,00 (o metro)	Conectar o flange com a luva	R\$ 5,00
Tubo pvc 100mm	1,20 m	R\$16,50 (o metro)	Receber a carga de biomassa	R\$ 19,80
Veda calha alumínio 400 gramas	1	R\$ 12,40	Vedar espaços de contato entre tubos e aberturas feitas no tambor	R\$ 12,40
Valor total: R\$466,60				

Fonte: Cássia Solange Silva. Janeiro/2022.

Observações:

- 1) Os materiais foram adquiridos por financiamento próprio.
- 2) Os valores listados refletem o preço de mercado local (região noroeste do interior do Estado de Minas Gerais) durante os meses de outubro e novembro/2021.
- 3) Ferramentas como furadeira, serra-copo, alavanca para empurrar veda calha, chaves (fenda, rosca, Philips, boca), pá, carrinho-de-mão e balde não foram comprados (obtenção de empréstimo).

APÊNDICE C: Imagens dos materiais utilizados para a construção de um biodigestor de batelada adaptado.

As imagens a seguir fornecem o detalhamento da maioria dos materiais adquiridos:

Figura 24 – Tambor plástico com tampa 200 litros



Fonte: Cássia Solange Silva. Outubro/2021.

Figura 25 – Alguns materiais utilizados na montagem do biodigestor de batelada adaptado



Fonte: Cássia Solange Silva. Outubro/2021. Da esquerda para a direita: 1- Câmara de ar emborrachada para pneu de carro, 2- cap pvc ½ polegada, 3- cola araldite 16g 10 minutos, 4- bico para enchimento de câmara de ar com presilha, 5- fogareiro de uma chama, 6 e 7- registros metálicos galvanizados ½ polegada, 8- veda calha alumínio, 9- nípel plástico ½ polegada, 10- registro regulador de gás.

Figura 26 – Alguns materiais utilizados na montagem do biodigestor de batelada adaptado



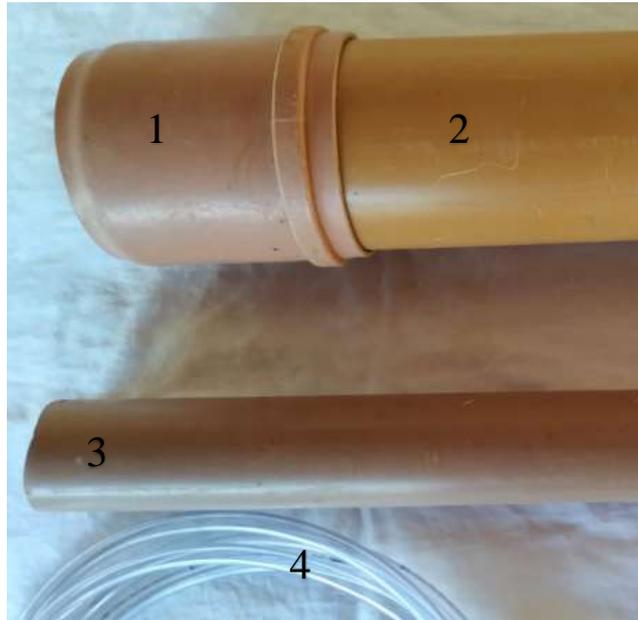
Fonte: Cássia Solange Silva. Outubro/2021. Da esquerda para a direita: 1- adaptador pvc 40mm, 2- luvas pvc ½ polegada, 3- luva roscável pvc 40mm, 4 e 5- bicos plásticos de mangueira de jardim, 6- níquel metálico roscável ½ polegada, 7- abraçadeiras metálicas 13mm, 8- espigão macho fixo metálico ¼ x 3/8, 9- cap pvc 40mm, 10- flange caixa d'água pvc 50mm, 11- torneira de jardim, 12- cola pvc, 13- tubo pvc 50mm (50cm).

Figura 27 – Alguns materiais utilizados na montagem do biodigestor de batelada adaptado



Fonte: Cássia Solange Silva. Outubro/2021. Da esquerda para a direita: 1- lixa massa, 2- curva pvc 50mm.

Figura 28 – Alguns materiais utilizados na montagem do biodigestor de batelada adaptado



Fonte: Cássia Solange Silva. Outubro/2021. Da esquerda para a direita: 1- cap pvc 100mm, 2- tubo pvc 100mm (1,20m), 3- tubo pvc 50mm (50cm), 4- mangueira de jardim transparente (3 m).

APÊNDICE D: Roteiro detalhado de construção de um biodigestor de batelada adaptado

Barreira (2011) discorreu sobre a simplicidade do biodigestor destacando que ele representa uma alternativa poderosa para pequenas comunidades rurais brasileiras gerarem biogás e reduzirem custos. Por exemplo, a substituição do gás butano pelo biogás na manutenção da chama do fogão a gás e, a troca dos fertilizantes químicos pelo biofertilizante, na adubação de hortas e pastagens. As situações exemplificadas podem representar uma economia financeira para pequenos produtores rurais. À medida que a civilização se expandiu, este autor argumenta que hábitos foram modificados, cidades foram construídas e tecnologias para a obtenção de novas energias se fizeram necessárias para sustentar tal crescimento.

Desde a década de 1970, cada vez mais, as pessoas se tornam dependentes de fontes de energia não renováveis como os combustíveis fósseis. É importante substituir essa dependência por outras fontes de energia como, por exemplo, a biomassa. Segundo o autor, a biomassa “é o combustível mais inesgotável e renovável que se conhece (...), ao contrário de ser um fator de poluição, o biogás transforma-se em um auxiliar do saneamento ambiental” (BARREIRA, 2011, p.8-9). Por sua simplicidade, baixo custo e eficiência energética, o biodigestor é uma estratégia de grande potencial. Essa câmara fechada, na qual a biomassa é fermentada anaerobicamente, produz o biogás de alto poder calorífico que pode ser empregado nos mais diversos fins. Além da geração de energia térmica, o biodigestor produz um biofertilizante.

Na realidade agropecuária brasileira, a disponibilidade de resíduos orgânicos dos rebanhos bovinos é exuberante. Apesar dos biodigestores terem começado a ganhar maior visibilidade em vários países do mundo somente na segunda metade dos anos 1970, muitas nações, dentre elas o Brasil, poderiam empregá-los para reduzir resíduos, gastos energéticos com combustíveis fósseis, combater a pobreza e a poluição ambiental. Nesse sentido, a divulgação e a implementação de biodigestores poderiam se configurar como mais uma opção energética alternativa e de baixo custo.

Após a aquisição dos materiais listados anteriormente, para colocar o biodigestor em operação foram necessários também balde plástico, pá, carrinho-de-mão e funil plástico. O passo-a-passo para montagem do biodigestor foi feito da seguinte forma:

1º - Foram feitos dois orifícios no tambor plástico (200 litros): um furo central superior (Figura 29), utilizando a serra copo, para introdução do tubo pelo qual a biomassa é colocada no biodigestor para fermentação. O diâmetro desse primeiro orifício (Figura 30) foi determinado pelo calibre do tubo pvc 100mm. O segundo furo (Figura 31) foi feito lateralmente,

à altura de 65 cm da base do tambor plástico, com um cano metálico 50mm aquecido no fogo, para perfurar o plástico do tambor. Esse orifício destina-se à passagem do biofertilizante, ao exterior do tambor, quando ocorrer o esvaziamento, para nova recarga de biomassa.

Figura 29 –Tambor plástico (200 litros) com orifício central superior, realizado com a serra copo



Fonte: Cássia Solange Silva. Novembro/2021.

Figura 30 –Detalhe do tambor plástico (200 litros) com orifício central superior, realizado com a serra copo (100mm = 10cm).



Fonte: Cássia Solange Silva. Novembro/2021.

Figura 31 – Detalhe do tambor plástico (200 litros) com furo aberto a 65 cm de altura da base, por cano 50mm aquecido



Fonte: Cássia Solange Silva. Novembro/2021.

2º- Foi feito o encaixe do flange caixa d'água (pvc) 50mm, junto ao orifício aberto na parte lateral do tambor plástico (200 litros). Foi adicionada uma peça de borracha entre o flange e o tambor em busca de uma vedação mais eficiente (Figura 32). Essa peça de borracha foi adaptada com o corte de um chinelo de borracha sem correia de dedos.

Figura 32 – Detalhe do tambor plástico (frente e perfil), com o furo lateral, encaixado com flange e borracha.



Fonte: Cássia Solange Silva. Novembro/2021.

3º- A curva pvc 50mm foi unida ao adaptador pvc 50mm. A parte rosqueável foi envolvida com fita veda rosca (Figura 33). Em seguida, as duas peças foram encaixadas no flange, pelo lado interno do tambor plástico. Essa conexão (Figura 34) tem o objetivo de conduzir o biofertilizante, produzido após a fermentação ao lado externo, no momento de esvaziamento do tambor.

Figura 33 –Curva pvc 50mm, encaixada no adaptador curto soldável com rosca. A extremidade rosqueável do adaptador, está envolvida com fita veda rosca.



Fonte: Cássia Solange Silva. Novembro/2021.

Figura 34 –Curva e adaptador encaixados no flange pelo lado interno do tambor plástico.



Fonte: Cássia Solange Silva. Novembro/2021.

4º - Perfuração de orifício central, em uma das tampas de abertura do tambor plástico (200 litros), para encaixe do nípel metálico, pelo qual a mangueira transparente (2,80m), conduzirá o biogás até a câmara emborrachada (Figura 35). O furo foi realizado com a furadeira e o nípel foi encaixado, com ajuda de uma chave estrela em movimentos giratórios. Após a junção das três peças (tampa + nípel + mangueira), foi feita a vedação do espaço entre a tampa menor e o tambor com veda calha. A seguir, foi colocada uma abraçadeira metálica (13mm) para segurar a mangueira e o nípel (Figura 37).

Figura 35, 36 e 37 -- Detalhe com uma das tampas menores do tambor plástico, perfurada para encaixe do nípel, mangueira de gás e abraçadeira.



Fonte: Cássia Solange Silva. Novembro/2021.

Figura 38 –Veda calha utilizado para vedação dos encaixes das peças e tubos nas aberturas do tambor plástico.



Fonte: Cássia Solange Silva. Novembro/2021.

5° - Montagem do registro de mangueira de gás com os bicos de torneira de jardim, ajustados com fita veda rosca, ao nípel plástico (um de cada lado do registro). A finalidade do registro é regular a passagem do biogás, permitindo a abertura durante o processo de fermentação, para passagem do gás até a câmara de ar. Outra possibilidade do registro é o fechamento da passagem do biogás produzido, durante o processo de troca da câmara de ar e/ou durante o uso do gás armazenado nela, no momento de cocção. A montagem do registro foi completada, com o ajuste dos bicos das torneiras de jardim, à mangueira transparente. A fim de garantir a firmeza da mangueira nos bicos, foram inseridas abraçadeiras metálicas (13mm) conforme detalhe na Figura 39.

Figura 39 –Montagem do registro para regulação de passagem do biogás.



Fonte: Cássia Solange Silva. Novembro/2021.

6°- Ajuste do bico metálico para enchimento da câmara de ar, na mangueira transparente, por meio da fixação de abraçadeira metálica (13mm). Esse bico inserido em uma das extremidades da mangueira, permitirá que o biogás produzido pela fermentação bacteriana, no interior do biodigestor, seja armazenado na câmara emborrachada até o limiar de sua capacidade. A praticidade do bico com alavanca de abertura/fechamento, visa facilitar o encaixe/desencaixe no momento de trocar a câmara de ar. Caso sejam utilizadas duas câmaras de ar, não haverá a necessidade de interromper o armazenamento do biogás enquanto a fermentação continuar acontecendo, dentro do biodigestor. Se houver somente uma câmara de ar, o bico será útil para interromper momentaneamente o escape do biogás.

Figura 40 –Mangueira de condução do biogás com registro e bico.



Fonte: Cássia Solange Silva. Novembro/2021.

Figura 41 – Ligação entre bico de enchimento e a câmara emborrachada que receberá o biogás produzido.



Fonte: Cássia Solange Silva. Novembro/2021.

Figura 42 –Detalhe da ligação entre bico de enchimento e a câmara emborrachada que receberá o biogás produzido.



Fonte: Cássia Solange Silva. Novembro/2021.

7º- Colocação do tubo pvc (100mm), no orifício superior central do tambor plástico. Após inserido, foi realizada a vedação ao redor do tubo, com o intuito de inviabilizar o escape de biogás. Outra utilidade da vedação é impedir a entrada de oxigênio no biodigestor. As bactérias anaeróbias obrigatórias não sobrevivem na presença de oxigênio. Por esse tubo de 1,20m de comprimento, o biodigestor será carregado de biomassa e essa matéria orgânica será a “matéria-prima” utilizada pelas bactérias durante a fermentação anaeróbia. Sobre esse tubo, deve ser colocado um cap pvc 100mm, para cobrir a abertura em que será colocada a carga de biomassa. Essa tampa (cap) será responsável por impedir o mau odor proveniente da fermentação, pelo escape do biogás. Também impedirá o contato interno do biodigestor, com o oxigênio do ar, proveniente do lado externo.

8º- Por último, foi colocado no orifício lateral do tambor plástico, um segmento de aproximadamente 30 cm de tubo pvc 50mm. Também foi adicionado, a esse segmento, um adaptador 50mm e foi encaixado nele, um registro pvc de esfera 50mm. Por meio desse registro, o biofertilizante poderá ser retirado do interior do biodigestor para ser aproveitado como adubo orgânico. Essa retirada ocorrerá quando a produção de biogás cessar e nova carga de excrementos for colocada.

Figura 43 –Visualização da colocação do tubo pvc, no orifício superior central e registro lateral.



Fonte: Cássia Solange Silva. Dezembro/2021.

Após a montagem do biodigestor e preferencialmente, após a secagem do veda calha impermeabilizante, ele está pronto para operação. Inicialmente, deve ser feita a coleta do

material, no caso, o esterco bovino fresco, como é aconselhável numa primeira carga de biomassa. É necessário adicionar água na proporção de 1:1. A quantidade de biomassa a ser utilizada, poderá ocupar o espaço disponível da capacidade do recipiente. No biodigestor de batelada, a produção de biogás é prevista para ocorrer entre 15 a 20 dias de fermentação, após ser carregado e fechado. Existe uma temperatura ótima para a atividade bacteriana dentro do biodigestor (cerca de 35°C). O aquecimento proveniente da fermentação, mantém as bactérias vivas e a água, deixará que fiquem hidratadas. Nessas condições favoráveis, a previsão de operação do biodigestor é positiva, caso não haja vazamento de biogás.

O início da operação experimental do biodigestor que montei foi marcada pela adoção de todas as recomendações encontradas na literatura revisada. Dessa forma, cumpri as etapas a seguir:

1º - Utilizando uma pá e um carrinho de mão, fiz a coleta do esterco bovino fresco e adicionei água não tratada em proporções iguais.

Geralmente, nas pequenas propriedades rurais, a água usada pelas pessoas e animais não recebe tratamento. Esse fato é oportuno para o trabalho das bactérias e um melhor funcionamento do biodigestor. O tratamento da água utiliza cloro para desinfecção, assim as bactérias são eliminadas pelo cloro. Sendo a atividade bacteriana, a responsável pela fermentação da biomassa e decomposição da matéria orgânica, torna-se importante o uso de água não tratada.

Figura 44 –Esterco bovino fresco com água.



Fonte: Cássia Solange Silva. Dezembro/2021.

2º - Com a ajuda de um balde plástico e um funil, foi inserido o material coletado no biodigestor. Existem baldes confeccionados com régua de medidas de volume e funis próprios no mercado. No entanto, não é necessário que esses materiais especializados sejam adquiridos, eles podem ser adaptados. Foi importante conhecer a capacidade do balde utilizado para o cálculo da biomassa inserida. Como funil, utilizei uma embalagem plástica vazia de amaciante. Fiz um corte no fundo da embalagem e a reutilizei como um funil adaptado. Optei pela colocação de 100 litros de biomassa, desses, 50 litros de esterco foram misturados com 50 litros de água não tratada. O tambor plástico tem a capacidade de 200 litros. Assim, a operação experimental contará com 100 litros de matéria orgânica para a biodigestão ocorrer.

Figura 45 –Colocação do material dentro do biodigestor.



Fonte: Cássia Solange Silva. Dezembro/2021.

3º- Após carregar o biodigestor, fiz a limpeza de sua superfície e coloquei o cap (tampa de tubo PVC) para tampar a abertura superior. Também verifiquei os registros da mangueira e os deixei abertos para o caminho do biogás até a câmara de ar.

Figura 46 – Biodigestor de batelada adaptado após a conclusão da montagem e carregamento de biomassa.



Fonte: Cássia Solange Silva. Dezembro/2021.

APÊNDICE E: Proposta de elaboração de uma Cartilha educativa de sugestões de boas práticas rurais

Figura 47 – Capa do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural



Figura 48 – Página 2 do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural



O que é um biodigestor?

O biodigestor é um equipamento simples e útil para melhorar o ambiente rural.

Pode variar como é construído, o local de instalação, os materiais utilizados e também o tamanho. Porém, o modo de funcionamento é o mesmo.

Pode ser entendido como um lugar fechado, com proteção para impedir que o ar entre e o gás escape, onde a matéria orgânica (restos de alimentos e esterco) pode ser decomposta por bactérias que não usam oxigênio para respirar.

Enquanto as bactérias são alimentadas pelos restos de plantas e animais, elas fabricam dois produtos: o biogás (combustível) e o biofertilizante (adubo orgânico).

De onde vêm essas bactérias?

As bactérias que atuam no funcionamento do biodigestor são as mesmas que sobrevivem nos intestinos dos animais e também são responsáveis pela formação das fezes.

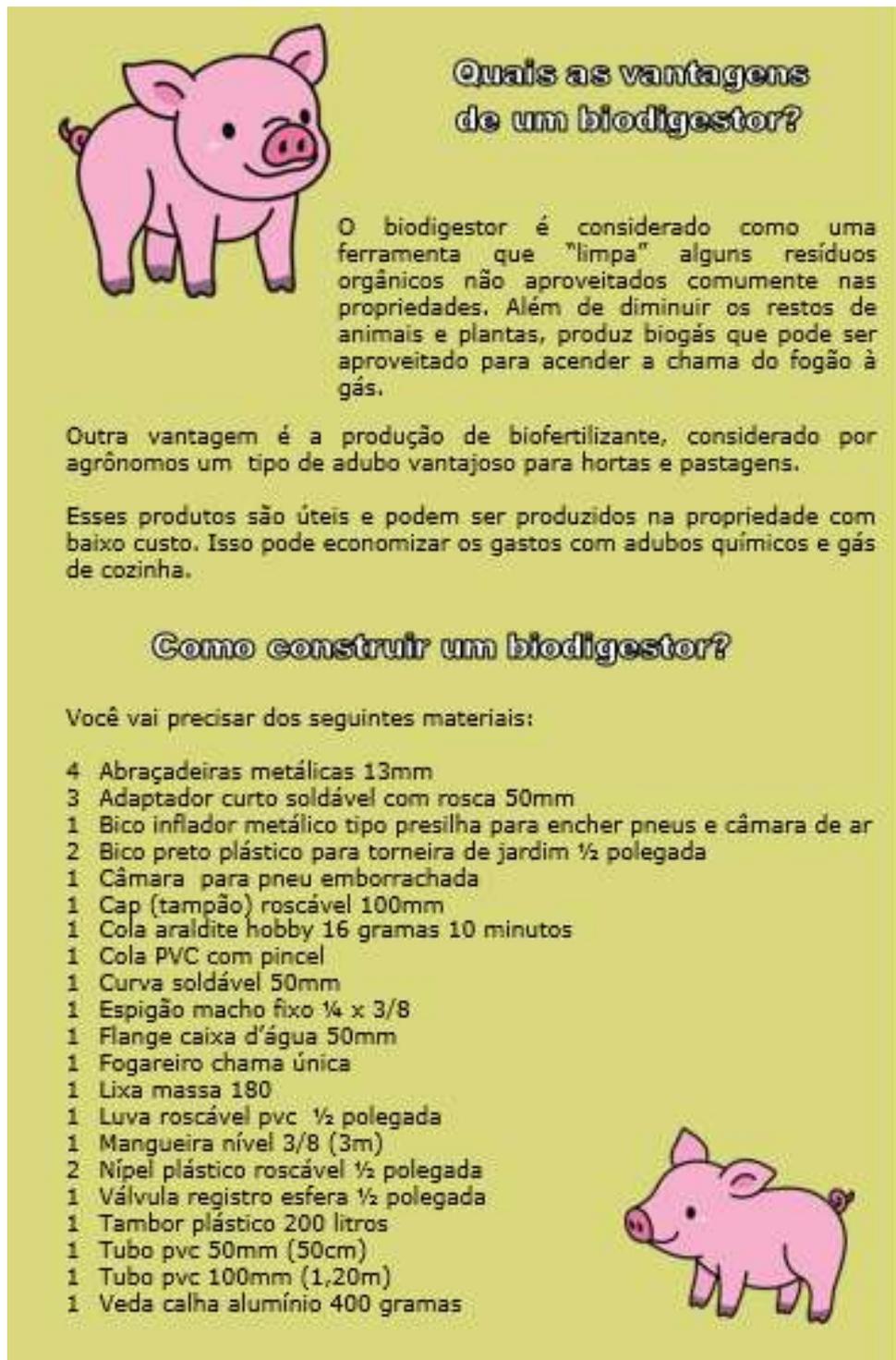
Esse processo natural produz um gás chamado metano. As fezes são fontes de nutrientes para a nutrição dessas bactérias.

As fezes frescas têm muitos minerais, como por exemplo nitrogênio, fósforo, cálcio, magnésio, ferro, zinco, enxofre, cobre e manganês. Essa quantidade de minerais é um dos fatos responsáveis pela adubação orgânica dos solos, quando recebem esterco de animais que se misturam à terra. Esses nutrientes, absorvidos pelas raízes das plantas, quando dissolvidos na água, conseguem melhorar o desenvolvimento dos vegetais.



Fonte: Cássia Solange Silva. 13/04/2022.

Figura 49 – Página 3 do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural



Quais as vantagens de um biodigestor?

O biodigestor é considerado como uma ferramenta que "limpa" alguns resíduos orgânicos não aproveitados comumente nas propriedades. Além de diminuir os restos de animais e plantas, produz biogás que pode ser aproveitado para acender a chama do fogão a gás.

Outra vantagem é a produção de biofertilizante, considerado por agrônomos um tipo de adubo vantajoso para hortas e pastagens.

Esses produtos são úteis e podem ser produzidos na propriedade com baixo custo. Isso pode economizar os gastos com adubos químicos e gás de cozinha.

Como construir um biodigestor?

Você vai precisar dos seguintes materiais:

- 4 Abraçadeiras metálicas 13mm
- 3 Adaptador curto soldável com rosca 50mm
- 1 Bico inflador metálico tipo presilha para encher pneus e câmara de ar
- 2 Bico preto plástico para torneira de jardim ½ polegada
- 1 Câmara para pneu emborrachada
- 1 Cap (tampão) roscável 100mm
- 1 Cola araldite hobby 16 gramas 10 minutos
- 1 Cola PVC com pincel
- 1 Curva soldável 50mm
- 1 Espigão macho fixo ¼ x 3/8
- 1 Flange caixa d'água 50mm
- 1 Fogareiro chama única
- 1 Lixa massa 180
- 1 Luva roscável pvc ½ polegada
- 1 Mangueira nível 3/8 (3m)
- 2 Nípel plástico roscável ½ polegada
- 1 Válvula registro esfera ½ polegada
- 1 Tambor plástico 200 litros
- 1 Tubo pvc 50mm (50cm)
- 1 Tubo pvc 100mm (1,20m)
- 1 Veda calha alumínio 400 gramas

Figura 50 – Página 4 do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural

Passo a passo para construir um biodigestor:



1º - Faça dois orifícios no tambor plástico (200 litros): um furo central superior para colocar o tubo pvc 100mm (Figura A), utilizando a serra copo. Faça o segundo furo (Figura C), lateralmente, à altura de 65 cm da base do tambor plástico, com um cano metálico 50mm aquecido no fogo, para perfurar o plástico do tambor.



A B C

2º- Faça o encaixe do flange caixa d'água (pvc) 50mm, junto ao orifício aberto na parte lateral do tambor plástico (200 litros). Adicione uma peça de borracha entre o flange e o tambor para uma vedação melhor. Para isso, corte a borracha de um chinelo sem a correia de dedos (Figura D),



D

Figura 51 – Página 5 do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural

3º - Encaixe a curva pvc 50mm ao adaptador pvc 50mm. Passe na parte rosqueável uma fita veda rosca (Figura E). Encaixe as duas peças no flange, pelo lado interno do tambor plástico (Figura F).



E



F

4º - Faça um furo no meio de uma das tampas de abertura do tambor plástico (200 litros). Encaixe o nípel metálico (Figura G). Para isso use a furadeira e uma chave estrela. Coloque uma abraçadeira metálica (13mm) para segurar a mangueira e o nípel (Figura I). Depois de unir as três peças (tampa + nípel + mangueira), passe veda calha (Figura J) para vedar o espaço entre a tampa menor e o tambor.



G



H



I



J

5º - Passe fita veda rosca no nípel plástico. Encaixe um nípel de cada lado do registro de metal. Do outro lado do nípel, coloque os bicos de torneira de jardim. No encontro da mangueira com a torneira, em cada lado, coloque uma abraçadeira 13mm (Figura K).



Figura 52 – Página 6 do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural



K

6º - Ajuste o bico metálico na ponta da mangueira transparente para enchimento da câmara de ar. Coloque uma abraçadeira metálica (13mm) para fixar (Figura M).



L



M



N

7º- Coloque o tubo pvc (100mm), no furo central na parte de cima do tambor plástico. Faça a vedação ao redor do tubo com veda calha. Tampe o tubo com um cap pvc 100mm (Figura O).



O

8º- Coloque no furo feito ao lado do tambor plástico, um pedaço de tubo pvc (50mm) com mais ou menos 30 cm. Na ponta desse tubo encaixe um adaptador 50mm e um registro pvc de esfera 50mm (Figura P).



Figura 53 – Página 7 do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural



P

Funcionamento do biodigestor:

1º- Use uma pá e um carrinho de mão para recolher esterco bovino fresco e misture a mesma quantidade de água (Figura Q).



Q

2º - Use um balde e um funil (pode ser adaptado) para colocar a mistura de esterco e água no biodigestor (Figura R).



R

Figura 54 – Página 8 do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural

3º- Lave a parte de cima do tambor e coloque o cap (tampa de tubo PVC). Deixe o registro para a câmara de ar aberto e o registro do lado do tambor fechado.



S

Use dos produtos do biodigestor:



T

Geralmente entre 15 e 20 dias, a câmara de ar começará a encher de biogás. Quando ela estiver cheia, o biogás pode ser usado para acender um pequeno fogareiro.



Figura 55 – Página 9 do modelo de Cartilha elaborada para a SEI sobre o biodigestor rural



Fonte: Cássia Solange Silva. 13/04/2022.

ANEXO A: Texto motivador da Roda de Conversa em grupos após a observação, interpretação e discussão sobre as imagens. Esse texto será utilizado na segunda etapa do momento I (orientação) da sequência de ensino.

Ecoeconomia

As fezes humanas já alimentam boa parte do mundo. E podem alimentar bem mais. De quebra, elas também são uma alternativa e energia (hum...) limpa. E se prepare: ainda existe um verdadeiro pré-sal de cocô a ser explorado!

Figura 56 – Foto de reportagem da revista eletrônica Superinteressante



Fonte: Reportagem da Revista Eletrônica Superinteressante. Ecoeconomia. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ideias/ecoeconomia/>. Acesso em: 31/01/2021.

Fonte:

HORTA, Maurício. Ecoeconomia. *Revista Eletrônica Superinteressante*. Grupo Abril. Publicação em 15/07/2010. Atualizado em 31/10/2016. Disponível em: <https://super.abril.com.br/ideias/ecoeconomia/>. Acesso em: 31/01/2021.



Para acessar a reportagem original disponível na WEB, posicione a câmera de seu aparelho celular, para leitura do QR CODE ao lado, por meio de um aplicativo leitor de códigos QR (*Quick Response*).

