

INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL - PROFQUI

**DANIEL DE SOUSA PIRES**

**ESTUDO SOBRE BIODIGESTORES E ENSINO EXPERIMENTAL DE QUÍMICA DE  
UM PLANO DE ENSINO PARA A CONSTRUÇÃO DE MODELOS DIDÁTICOS**

Vila Velha  
2023

**DANIEL DE SOUSA PIRES**

**ESTUDO SOBRE BIODIGESTORES E ENSINO EXPERIMENTAL DE QUÍMICA  
DE UM PLANO DE ENSINO PARA A CONSTRUÇÃO DE MODELOS DIDÁTICOS**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional - ProfQui do Campus Vila Velha do Instituto Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre Profissional em Química.

Orientadora: Professora Dra. Cristiane Pereira Zdradek

Coorientador: Professor Dr. Paulo Rogério Garcez de Moura

Vila Velha

2023

(Biblioteca do Campus Vila Velha)

P667e Pires, Daniel de Sousa.

Estudo sobre biodigestores e ensino experimental de química de um plano de ensino para a construção de modelos didáticos / Daniel de Sousa Pires. - 2023.

104 f. : il. ; 28 cm.

Orientador: Cristiane Pereira Zdradek

Coorientador: Paulo Rogerio Garcez de Moura

Dissertação (Mestrado) Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vila Velha, Mestrado Profissional em Química, 2023.

1. Química - estudo e ensino. 2. Ciências - experiências. 3. Biodigestores. I. Zdradek, Cristiane Pereira. II. Moura, Paulo Rogerio Garcez de. III. Título. IV. Instituto Federal do Espírito Santo.

CDD: 510.7

Bibliotecário/a: Hermelinda Peixoto Pereira Martins CRB6-ES nº 522

**DANIEL DE SOUSA PIRES**

**ESTUDO SOBRE BIODIGESTORES E ENSINO EXPERIMENTAL DE QUÍMICA  
DE UM PLANO DE ENSINO PARA A CONSTRUÇÃO DE MODELOS DIDÁTICOS**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional - ProfQui do Campus Vila Velha do Instituto Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre Profissional em Química.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

Prof<sup>a</sup>. Dra. Cristiane Pereira Zdradek  
Instituto Federal do Espírito Santo  
Orientadora

Prof. Dr. Paulo Rogerio Garcez de Moura  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Coorientador

Professor Dr. Joselito Nardy Ribeiro  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Membro titular interno

Professora Dra. Raquel Pellanda Dardengo  
Instituto Federal do Espírito Santo  
Membro titular externo

**ATA DE DEFESA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DO MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM**  
**REDE NACIONAL - PROFQUI**

No dia 04 de maio de 2023 às 17h, o aluno **Daniel de Sousa Pires** do Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional – Profqui do Instituto Federal do Espírito Santo, realizou defesa de mestrado com a apresentação da dissertação e do produto educacional. A dissertação tem o título “ESTUDO SOBRE BIODIGESTORES E ENSINO EXPERIMENTAL DE QUÍMICA: PROPOSIÇÃO DE UM PLANO DE ENSINO PARA A CONSTRUÇÃO DE MODELOS DIDÁTICOS”. A banca examinadora foi formada pela **Dra. Cristiane Pereira Zdradek**, **Dr. Paulo Rogério Garcez de Moura**, **Dr. Joselito Nardy Ribeiro** e **Dra. Raquel Pellanda Dardengo Victor**. Em sessão pública, após a exposição, a(o) candidata(o) foi arguida pelos membros da banca, tendo como resultado: **Aprovado com Modificação**. A defesa de mestrado ocorreu no Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Vila Velha, que fica localizado na Avenida Ministro Salgado Filho, 1000, Soteco, Vila Velha-Espírito Santo. Vale citar que o prazo para a entrega da versão final da dissertação e do produto educacional é de 60 (sessenta) dias a contar da data da defesa. A Banca Examinadora destaca a seguinte observação:.

**BANCA EXAMINADORA:**

<b>Local e Data:</b>	
<b>04/05/2023 17:00HS IFES/VV</b>	
<b>Membros da Banca Examinadora:</b>	
<b>Presidente:</b> Dra. Cristiane Pereira Zdradek Instituto Federal do Espírito Santo - IFES <b>Orientadora</b>	<b>Assinatura:</b>
<b>Coorientador:</b> Dr. Paulo Rogério Garcez de Moura Universidade Federal do Espírito Santo - Ufes	<b>Assinatura:</b>
<b>Membro Interno:</b> Dr. Joselito Nardy Ribeiro Universidade Federal do Espírito Santo - Ufes	<b>Assinatura:</b>
<b>Membro Externo:</b> Dra. Raquel Pellanda Dardengo Victor Instituto Federal do Espírito Santo - IFES	<b>Assinatura:</b>



Emitido em 04/05/2023

ATA DE DEFESA Nº 2/2023 - VVL-CMPQ (11.02.34.01.07.07)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

*(Assinado digitalmente em 08/05/2023 16:12)*  
ARACELI VERONICA FLORES NARDY RIBEIRO  
COORDENADOR DE CURSO - TITULAR  
VVL-CMPQ (11.02.34.01.07.07)  
Matricula: 1509696

*(Assinado digitalmente em 08/05/2023 20:11)*  
CRISTIANE PEREIRA ZDRADEK  
PROFESSOR DO ENSINO BASICO TECNICO E TECNOLOGICO  
VVL-CCTQ (11.02.34.01.08.02.06)  
Matricula: 1213801

*(Assinado digitalmente em 08/05/2023 15:37)*  
RAQUEL PELLANDA DARDENGO VICTOR  
PROFESSOR DO ENSINO BASICO TECNICO E TECNOLOGICO  
VVL-CCLQ (11.02.34.01.08.02.03)  
Matricula: 1567363

*(Assinado digitalmente em 09/05/2023 09:34)*  
JOSELITO NARDY RIBEIRO  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: \*\*\*.902.696-\*\*

*(Assinado digitalmente em 24/05/2023 10:45)*  
PAULO ROGERIO GARCEZ DE MOURA  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: \*\*\*.563.890-\*\*

Visualize o documento original em <https://sipac.ifes.edu.br/documentos/> informando seu número: 2, ano: 2023, tipo:  
ATA DE DEFESA, data de emissão: 08/05/2023 e o código de verificação: ab209396d9



**INSTITUTO FEDERAL**  
Espírito Santo



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CAMPUS VILA VELHA



Avenida Ministro Salgado Filho, 1000 – Bairro Soteco – 29106-010 – Vila Velha – ES  
27 3149-0700

## **TERMO DE CONSENTIMENTO DE TRANSMISSÃO EM REDES SOCIAIS**

Eu, **DANIEL DE SOUSA PIRES**, CPF, 008.050.497-38 declaro estar ciente e concordo que a minha apresentação na Banca de Qualificação/Defesa de Mestrado seja gravada e publicada nas redes sociais do Programa de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI/IFES), para fazer parte do seu acervo didático, sem fins lucrativo e como parte das atividades desenvolvidas por este programa.

Daniel de Sousa Pires

Vila Velha, 04 de maio de 2023.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, ao me permitir mais um grande momento de conquista.

À minha família, a minha esposa Flavia, ao meu filho Davi e a minha mãe Maria José. Não estaria aqui se não fosse vocês!

À minha orientadora Dra. Cristiane Pereira Zdradek e ao meu coorientador Dr. Paulo Rogerio Garcez de Moura muito obrigado pelo aprendizado!

Ao professor Dr. Joselito Nardy Ribeiro e à professora Dra. Raquel Pellanda Dardengo que gentilmente avaliaram e contribuíram para o aprimoramento dessa pesquisa, minha eterna gratidão e respeito por vocês!

Ao Ifes-VV pela oportunidade de cursar o Mestrado Profissional em Química, após muitos anos de espera!

Aos colegas e professores da turma do PROFQUI 2020, pela amizade e apoio.

*In memoriam* de meu pai José Pires, que nos deixou no ano de 2016, que se alegrava a cada vitória de seus filhos. Saudades eternas.



“O principal objetivo da educação é  
criar pessoas capazes de fazer  
coisas novas e não simplesmente  
repetir o que outras gerações fizeram”.

(Jean Piaget)

“A imaginação é mais importante  
que o conhecimento. Conhecimento auxilia por fora,  
mas só o amor socorre por dentro.  
Conhecimento vem, mas a sabedoria tarda”.

(Albert Einstein)

“A educação é a arma mais poderosa  
que você pode usar para mudar o mundo”.

(Nelson Mandela)

## RESUMO

O tema do plano de ensino experimental para a construção de um biodigestor de bancada envolve a elaboração de uma proposta didática para o ensino de ciências utilizando a tecnologia, a fim de desenvolver o conhecimento dos estudantes e promover a construção de um biodigestor de bancada por meio de experimentos, permitindo trabalhar o ensino da disciplina de Química por meio das propostas práticas para facilitar a aprendizagem do conteúdo. Na visão deste tema é comum o desenvolvimento de uma proposta onde os alunos possam compreender o processo de biodigestão e desenvolver habilidades na construção e operação do equipamento, além de conscientizá-los sobre a importância da sustentabilidade ambiental. Sendo assim o presente estudo tem como objetivo apresentar um plano de ensino experimental para a construção de biodigestores de bancada, demonstrando sua relevância para o processo de ensino e aprendizagem de Química. Desta forma o trabalho envolve uma proposta didática que utiliza o processo experimental para desenvolver o conhecimento e as habilidades dos alunos, onde se sugere que ao trabalhar a experimentação no ensino da Química, em conjunto com a construção de biodigestores de bancada, espera-se que os alunos desenvolvam senso crítico, habilidades analíticas e investigativas. A partir desta construção os resultados apresentam que a formação individual proporciona capacitação e potencial de interação e resolução de questões relacionadas às ciências da natureza, tornando os alunos questionadores ativos. Outra questão levantada nos resultados se trata da associação da atividade prática sobre biodigestores com temas do Ensino Médio, tornando possível aplicar os métodos e estratégias teóricas apresentadas nesta pesquisa, investigando e averiguando, na prática, a aplicação dessas metodologias em três aulas diferentes, seguindo o passo a passo apresentado, o que permite concluir que os dados científicos apresentados sugerem que a prática experimental de metodologias, ao permitir a visualização de um conteúdo químico normalmente abstrato e teórico, pode proporcionar uma experiência verdadeiramente eficaz e significativa para o desenvolvimento do aluno.

**Palavras-chave:** Biodigestores. Ensino Experimental. Modelos Didáticos. Plano de Ensino.

## ABSTRACT

The theme of the experimental teaching plan for the construction of a benchtop biodigester involves the elaboration of a didactic proposal for teaching science using technology, in order to develop students' knowledge and promote the construction of a benchtop biodigester through of experiments, allowing to work on teaching the subject of Chemistry through practical proposals to facilitate the learning of the content. In view of this theme, it is common to develop a proposal where students can understand the process of biodigestion and develop skills in the construction and operation of equipment, in addition to making them aware of the importance of environmental sustainability. Therefore, the present study aims to present an experimental teaching plan for the construction of bench biodigesters, demonstrating its relevance for the teaching and learning process of Chemistry. In this way, the work involves a didactic proposal that uses the experimental process to develop the students' knowledge and skills, where it is suggested that when working with experimentation in the teaching of Chemistry, together with the construction of benchtop biodigesters, it is expected that students develop critical thinking, analytical and investigative skills. From this construction, the results show that individual training provides training and potential for interaction and resolution of issues related to natural sciences, making students active questioners. Another issue raised in the results concerns the association of the practical activity on biodigesters with High School themes, making it possible to apply the methods and theoretical strategies presented in this research, investigating and verifying, in practice, the application of these methodologies in three different classes, following the presented step-by-step, which allows concluding that the scientific data presented suggest that the experimental practice of methodologies, by allowing the visualization of a normally abstract and theoretical chemical content, can provide a truly effective and meaningful experience for the student's development.

**Keywords:** Biodigesters; Chemistry; Development; Education; Experimental. Teaching-learning; Teaching plan.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Biodigestor modelo indiano .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 2 - Biodigestor modelo chinês .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 3 - Biodigestor modelo canadense .....</b>	<b>25</b>
<b>Figura 4 - Representação do esquema das principais etapas do biodigestor anaeróbio .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 5 - Alguns compostos químicos presentes durante o processo de biodigestão .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 6 - Grupos de bactérias Metanogênicas.....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 7- Bactéria Metanogênica - Estrutura .....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 8 - Reações das bactérias anaeróbias na metanogênese.....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 9 - Teoria da aprendizagem significativa.....</b>	<b>47</b>
<b>Figura 10- Estrutura Cognitiva .....</b>	<b>49</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Bactérias Metanogênicas.....</b>	<b>33</b>
<b>Tabela 2 - Resultados dos modelos propostos 1, 2 e 3.....</b>	<b>65</b>
<b>Tabela 3 - Resultados a partir do modelo didático 1.....</b>	<b>66</b>
<b>Tabela 4 - Resultados a partir do modelo didático 2.....</b>	<b>68</b>
<b>Tabela 5 - Resultados a partir do modelo didático 3.....</b>	<b>69</b>
<b>Tabela 6 - Parâmetros da validação.....</b>	<b>70</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 – Biodigestores didáticos 1 .....</b>	<b>27</b>
<b>Quadro 2 - Biodigestores didáticos 2.....</b>	<b>29</b>
<b>Quadro 3 – Fatores que influenciam a biodigestão anaeróbia.....</b>	<b>40</b>
<b>Quadro 4 - Plano de ensino experimental.....</b>	<b>62</b>
<b>Quadro 5 - Validação .....</b>	<b>63</b>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA.....	16
1.2 PROBLEMA .....	21
1.3 OBJETIVOS .....	22
1.3.1 Objetivo geral .....	22
1.3.2 Objetivos específicos.....	22
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>22</b>
2.1 BIODIGESTORES.....	22
2.1.1 Biodigestores industriais .....	22
2.1.2 Biodigestores de Bancada ou Biodigestores Didáticos .....	26
2.1.3 A biodigestão e as reações Químicas e Bioquímicas nos biodigestores ...	32
2.2 PLANEJAMENTO, EXPERIMENTAÇÃO E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA .....	43
2.3 BIODIGESTORES DIDÁTICOS E CONTEÚDOS CIENTÍFICOS E PEDAGÓGICOS ENVOLVIDOS .....	51
2.4 PERSPECTIVAS DISCIPLINARES E O PLANEJAMENTO DE ENSINO EXPERIENTAL SOBRE BIODIGESTORES DIDÁTICOS .....	53
2.5 BIOSSEGURANÇA .....	55
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>55</b>
3.1 PLANO DE ENSINO EXPERIMENTAL: APRESENTAÇÃO E VALIDAÇÃO.....	61
3.2 INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO: QUESTIONÁRIO.....	64
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>65</b>
4.1 RESULTADOS EXPERIMENTAIS .....	65
4.2 RESULTADOS DA VALIDAÇÃO DO PLANO EXPERIMENTAL.....	70
4.3 RESULTADOS ESPERADOS A PARTIR DA APLICAÇÃO DOS QUESTIONÁRIO PRÉ E PÓS TESTES .....	72
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>73</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>75</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>86</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o processo de ensino e aprendizagem vem passando por mudanças e atualizações em sua metodologia aplicada em sala de aula, onde ferramentas e estratégias didáticas voltadas ao desenvolvimento experimental e a participação ativa do indivíduo estão substituindo cada vez mais a antiga versão chamada educação tradicional. Nesse tipo de educação, o ensino era caracterizado pela transmissão do conhecimento, de modo unilateral, através de explicação predominantemente verbal, e o conteúdo não era condizente com as necessidades práticas aplicáveis ao contexto dos alunos (SILVA, MOURA, DEL PINO, 2017).

### 1.1 APRESENTAÇÃO DO TEMA

Nesse âmbito, torna-se fundamental tratar dos contextos educacionais que se articulam com os temas discutidos pela sociedade, como à diversificação das formas de produção de energia. Logo, a conjuntura do setor energético mundial a partir dos anos 1970, diante da crise do petróleo, demandou mudanças importantes no desenvolvimento e na exploração de novas fontes de energia. Com isso, uma das medidas apontadas para minimizar os impactos decorrentes da utilização de hidrocarbonetos na cadeia de produção energética, consiste no reaproveitamento dos resíduos orgânicos provenientes do descarte doméstico, industrial e agrícola (DA ROCHA, 2016).

A necessidade de reaproveitamento desses resíduos levou a difusão de uma tecnologia inicialmente desenvolvida na China e na Índia, mas que veio a ser bastante relevante para os demais países desenvolvidos e subdesenvolvidos, que foi a construção de biodigestores. A esse respeito Deubleinb Steinhauer (2008), destacam que:

O uso de biodigestores foi difundido através de várias pesquisas, e em 1939 foi criado em Kampur, na Índia, o Institute Gobár Gás (Instituto de Gás de Esterco), sede da primeira usina de gás de esterco, que objetivava tratar os dejetos animais, obter biogás e aproveitar o biofertilizante. Esse trabalho pioneiro permitiu a construção de quase meio milhão de biodigestores na Índia. A utilização do biogás na Índia, como fonte de energia, motivou a China a adotar tal tecnologia a partir de 1958, em 1972, já possuíam



aproximadamente 7,2 milhões de biodigestores em atividade (DEUBLEINB; STEINHAUSER, 2008, p.15).

Os biodigestores representam um grande potencial de produção de biomassa, pois são equipamentos herméticos e impermeáveis, onde materiais orgânicos são depositados e ficam retidos por tempo suficiente para que ocorra a digestão anaeróbica. Nesse processo, ocorre a decomposição da biomassa sem o contato com o ar, em que se obtém como resultado a formação e armazenagem de gases, principalmente metano e dióxido de carbono (biogás), bem como o descarte da parte líquida, que dá origem aos biofertilizantes (MAGALHÃES, 2018).

O biogás produzido nos biodigestores configura um importante produto para a geração de energia elétrica, térmica ou mecânica, com poder calorífico variando de 5.000 a 7.000 kcal/m<sup>3</sup>. Comparando as diferentes fontes de energia é possível perceber que 1 m<sup>3</sup> de biogás equivale a 0,61 litros de gasolina; 0,58 litros de querosene; 0,55 litros de óleo diesel; 0,45 litros de gás de cozinha; 1,50 quilos de lenha e 0,79 litros de álcool hidratado, o que o torna bastante atrativo e viável como mais um recurso a ser considerado na cadeia energética (NEPPA, 2015; PIMENTEL *et al.*, 2015).

Diante disso, apresenta-se a proposição da construção de protótipos de biodigestores de bancada, ou seja, de biodigestores didáticos, construídos em menor escala, como um recurso pedagógico que pode ser utilizado para pequena produção de biogás para fins educacionais. O biodigestor didático pode ser construído com diversos materiais de menor custo e de fácil acesso, tornando-o um recurso didático alternativo atrativo e interessante, podendo ser inserido em sala de aula e contextualizado de forma experimental. Souza e Miranda (2012) e Souza e Martins (2011) utilizaram biodigestores didáticos em sala de aula, demonstrando que é possível utilizá-los como recursos educacionais para fins de ensino e aprendizagem de temas científicos.

No estudo dos biodigestores, a utilização de uma metodologia de ensino experimental, que se utiliza da construção de um protótipo, ou de um modelo didático, como o de um biodigestor de bancada, parece indicar melhores resultados educacionais do que à metodologia tradicional. No processo convencional de ensino e aprendizagem os alunos são indivíduos ouvintes e não participativos, enquanto que o ensino experimental interativo tende a promover aspectos questionadores e investigativos. (DEL PINO; MOURA; SILVA, 2017).

No caso do ensino de Ciências da Natureza, a utilização de métodos tradicionais onde são explorados aspectos teóricos de forma predominante, é possível perceber que não existem fatores ligados ao desenvolvimento do aluno, assim como de seu interesse para aprender e compreender o conteúdo. Por se tratar de um campo diferenciado de investigação dos objetos do conhecimento, que envolve fatores dos meios naturais ao qual o aluno está envolvido, existe a necessidade que o mesmo demonstre interesse pelo ato de aprender e pelas relações com o contexto ao qual está inserido (SILVA; SOARES JR; VIEIRA, 2018). É como se verifica na argumentação que trata da experimentação como um recurso educacional importante:

No Ensino de Ciências, as Atividades Experimentais são consideradas importantes para a aprendizagem científica. Nos últimos anos, diversos pesquisadores têm procurado compreender especificamente qual seria o papel das Atividades Experimentais, suas formas de abordagem em sala de aula e as estratégias que favorecem sua aplicação; discutindo sobre os significados que podem assumir (OLIVEIRA, 2010 *apud* SOUZA, 2018, p. 190).

Neste aspecto, a parte prática do processo experimental tende a fornecer uma base científica favorável ao interesse e envolvimento do aluno quanto a busca pelo conhecimento, fazendo com que questões relacionadas ao seu cotidiano sejam esclarecidas por meio de associação. Desta forma, torna-se importante definir alguns critérios que devem ser considerados no ensino experimental de Ciências e que explorem o máximo de seu potencial para fins de aprendizagem:

(1) Apresentar situações problemáticas abertas; (2) Favorecer a reflexão dos estudantes sobre a relevância e o possível interesse das situações propostas; (3) Potencializar análises qualitativas, significativas, que ajudem a compreender as situações planejadas e a formular perguntas operativas sobre o que se busca; (4) Considerar a elaboração de hipóteses como atividade central de investigação científica, sendo este processo capaz de orientar o tratamento das situações e de fazer explícitas as concepções dos estudantes; (5) Considerar as análises, com atenção para os resultados (sua interpretação física, confiabilidade, etc.), a partir dos conhecimentos disponíveis, das hipóteses manejadas e dos resultados das demais equipes de estudantes; (6) Conceder uma importância especial a memórias científicas que reflitam o trabalho realizado e possam ressaltar o papel da comunicação e do debate na atividade científica; (7) Ressaltar a dimensão coletiva do trabalho científico, por intermédio de grupos de trabalho, que interajam entre si. (CASTO; GIL PEREZ, 1996, p. 155 *apud* DEL PINO; MOURA; SILVA, 2017, p. 178).

Vale ressaltar que, por se tratar de termos e conceitos complexos e abstratos, a compreensão e visualização prática do processo referente aos conteúdos de ciências, na disciplina de Química, existem inúmeras questões e conteúdo que normalmente

exigem grande trabalho para o processo educacional dos alunos. Neste sentido os planos de ensino propostos pelos docentes devem direcionar uma base científica que incentive o processo analítico e investigativo, onde o professor deve elaborar e promover aspectos práticos para melhor apresentação do conteúdo. A partir disso, os conteúdos de Química demonstram grande variabilidade de aplicações e de métodos de ensino e experimentação, permitindo que existam variações quanto a metodologia utilizada em sala de aula (SILVA; SOARES JR; VIEIRA, 2018).

Devido aos fatores que envolvem a docência, como à ausência dos conhecimentos pedagógicos contemporâneos e falta da formação continuada, torna necessário o desenvolvimento de pesquisas e de estudos de caráter científico para a apresentação e a aplicação de metodologias inovadoras de ensino.

Outro ponto significativo que permite uma base de relevância para este trabalho está relacionado à necessidade em se relacionar aspectos do ensino experimental com a disciplina de Química, uma vez que ela apresenta grande carga de conteúdo científico que permite aplicação prática associada à teoria, com o intuito de facilitar a compreensão dos conteúdos científicos, ao mesmo tempo em que o aluno consegue se orientar a partir das relações com o cotidiano, conforme apontam os documentos educacionais oficiais.

Os PCNEM têm como objetivo a construção da cidadania para o aluno em função dos processos sociais que se modificam, tendo como prioridade a formação ética, o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico. Para a ciência, o aluno ainda deve desenvolver competências e habilidades de compreensão e investigação (SILVA, 2015, p. 8).

Com as mudanças decorrentes da implantação da Nova Base Nacional Comum Curricular e da implantação do Novo Ensino Médio (BRASIL, 2018), serão necessárias as reformulações das redes educacionais, avaliando e propondo metodologias diferenciadas para atender as demandas que emergem desse contexto. Para Ferreira *et al* (2020), no contexto nacional, o desenvolvimento do ensino de ciências, e principalmente de Química, carecem de incrementos.

Traversi *et al* (2019), sugere que boa parte dos profissionais e os seus respectivos planejamentos não contemplam o uso do método experimental, de ensino, ou ainda utilizam inadequadamente as ferramentas e os processos químicos, tanto nos

ambientes laboratoriais quanto em sala de aula, deixando de oportunizar ao aluno o contato direto pela experimentação dos conteúdos teóricos.

Segundo Ferreira *et al* (2020), os experimentos químicos e científicos tendem a promover as articulações e as associações entre a teoria e a prática. Este autor ainda afirma que mesmo que não haja uma metodologia padronizada, é possível se obter um resultado favorável por meio da aplicação de práticas didáticas inovadoras.

Neste aspecto, destaca-se a importância de propor a introdução da experimentação por meio de um planejamento que contemple uma metodologia prática. Além disto, ressalta-se que a construção de protótipos pode auxiliar na compreensão dos conteúdos químicos.

Disso decorre a necessidade de tratar dos diversos fatores que tornaram ineficientes e ultrapassadas as metodologias tradicionais de ensino e da necessidade de se propor caminhos educacionais diferenciados, como: a experimentação no ensino de Química e a produção de protótipos de bancada. Para isso, surge a proposição do estudo dos biodigestores tratando de conteúdos químicos associado ao ensino experimental pela aplicação de um plano de ensino para a construção de modelos didáticos.

Ao analisar a utilização de biodigestores em modelos experimentais de ensino tem se tornando cada vez mais popular como uma proposta de fonte de energia renovável e sustentável. Mesmo com a existência de diferentes tipos de biodigestores, a proposta dos de bancada, que são pequenos sistemas que permitem avaliar diferentes substratos e condições de processo, demonstram ser uma melhor opção para tratar dos objetivos proposto pelo presente trabalho.

A utilização de biodigestores como fonte de energia, resíduos orgânicos, como resíduos agrícolas e esterco animal, são convertidos em biogás que pode ser utilizado como combustível. Desta forma o fator energético é um importante componente de sistemas de energia sustentáveis, pois permite a sua produção a partir de materiais orgânicos que seriam descartados, além de ajudar a reduzir emissões de gases de efeito estufa.

Desta forma a aplicação no ensino experimental de química, de forma complementar com a utilização de experimentos que envolvem biodigestores de bancada, e por meio de uma explicação de seu processo de conversão de resíduos orgânicos em biogás,

permite trabalhar o conteúdo didático e científico ao mesmo tempo que expõem uma alternativa sustentável e renovável de produção de energia.

## 1.2 PROBLEMA

Isso posto, emergiu o problema de pesquisa, que envolve o tratamento de um tema químico, que pode contribuir para o processo de aprendizagem, por meio da seguinte pergunta: Como o estudo teórico sobre biodigestores, articulado à experimentação, por meio da proposição de um plano de ensino para a construção de modelos didáticos, pode contribuir para a aprendizagem de Química?

Neste caso, o estudo teórico sobre biodigestores, bem como a experimentação prática, pode contribuir significativamente para a aprendizagem de Química pelos alunos. Ao oferecer uma abordagem interdisciplinar que une conceitos de química, biologia e física, eleva a qualidade do ensino sobre biodigestores, que pode auxiliar os alunos a compreender conceitos científicos complexos de forma mais clara e concreta.

A proposição de um plano de ensino para a construção de modelos didáticos de biodigestores permitiria que os alunos coloquem em prática os conceitos teóricos estudados e assim possam compreender melhor o processo químico de conversão de resíduos orgânicos em biogás. Essa abordagem também pode incentivar os alunos a pensar sobre soluções sustentáveis para resíduos orgânicos e a compreender a importância da energia renovável.

No entanto, é preciso lembrar que a utilização de biodigestores de forma segura e eficiente envolve também conhecimentos técnicos específicos, e cuidados relacionados a biossegurança, que devem ser incluídos no processo de ensino e na prática experimental.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo geral

Tratar do estudo teórico sobre biodigestores articulado à experimentação, por meio da proposição de um plano de ensino experimental, para a construção de modelos didáticos, com vistas à aprendizagem de Química.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Introduzir o estudo teórico sobre biodigestores para o contexto da sala de aula;
- Relacionar a importância do ensino experimental de Química atrelada à construção de modelos didáticos de biodigestores;
- Apresentar o plano de ensino experimental de Química, com três modelos didáticos para a aplicação em ambiente escolar, acompanhado dos instrumentos de avaliação de aprendizagem;
- Tratar sobre os aspectos de biossegurança em relação ao manuseio dos modelos didáticos de biodigestores.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 BIODIGESTORES

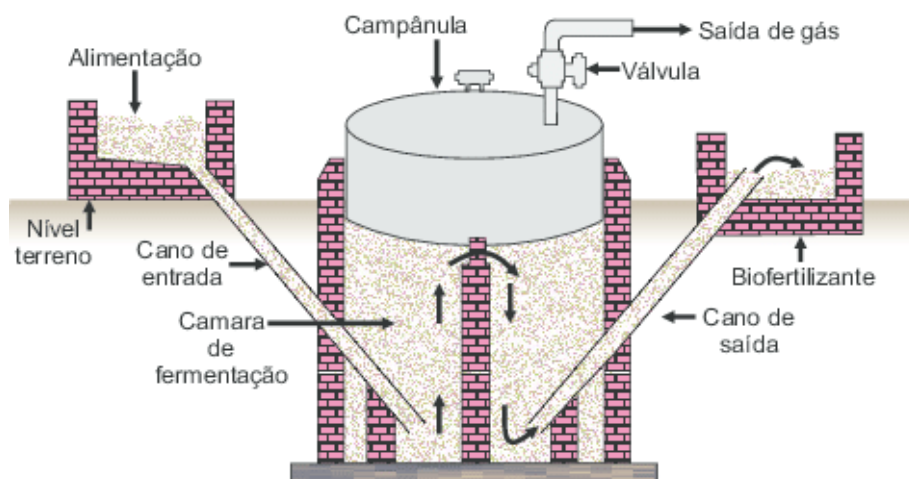
O biodigestor é uma câmara hermeticamente fechada em que é depositado o material orgânico onde ocorre o processo de digestão anaeróbia gerando o biogás (NISHIMURA, 2009, p. 17). Segundo Vichi (2009, p. 764) o biogás é um combustível renovável formado principalmente por metano que deriva de matéria-prima biológica assim como o bioetanol e o biodiesel.

#### 2.1.1 Biodigestores Industriais

Conforme Dhanalakshmi e Ramanujam (2012) os biodigestores apresentam tipos variados considerando a origem dos resíduos, sendo operados com cargas contínuas ou batelada. Dentre os principais modelos de biodigestores, destacam-se: o chinês, o indiano e o canadense. O modelo de biodigestor indiano, esquematizado na Figura 1,

consiste em uma construção cilíndrica, composta de tijolos e impermeabilizada internamente com cimento, e construída de câmara dupla separada por uma parede central (NISHIMURA, 2009).

Figura 1 - Biodigestor modelo indiano



Fonte: CASSINI *et al* (2014).

Pereira (2005) e Cassini *et al* (2014) reportam que o modelo indiano de biodigestor que tem como característica principal o uso de uma campânula flutuante como gasômetro, sendo que a mesma pode estar mergulhada ou inserida sobre a biomassa em fermentação. Existe ainda uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras, direcionando todo o material em processamento pelo interior da câmara de fermentação de forma homogênea. O biodigestor possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o biogás é produzido e não é consumido, o gasômetro desloca-se verticalmente, aumentando o volume deste, mantendo dessa forma a pressão constante em seu interior.

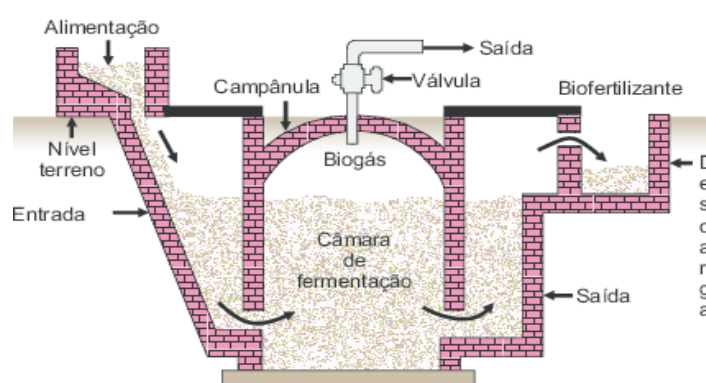
Deganutti *et al* (2008) destaca que a campânula (gasômetro) pode ser mergulhada na biomassa no interior do biodigestor ou externamente em um selo de água. Desse modo se o volume de gás produzido não for consumido de imediato, ocorre o deslocamento vertical do gasômetro, indicando o aumento de volume, o que mantém a pressão de operação constante. Para que não haja entupimentos ou danos nos sistemas de entrada e saída de material é recomendado ainda segundo o autor

supracitado, que o abastecimento seja contínuo e a concentração de sólidos totais (ST) não sejam superiores a 8%.

Do ponto de vista construtivo, o biodigestor modelo indiano apresenta-se de fácil construção. Entretanto, o gasômetro de metal pode encarecer o custo final e, também, a distância da propriedade pode dificultar e encarecer o transporte inviabilizando a implantação deste modelo de biodigestor (PEREIRA, 1999).

Conforme Deganutti *et al* (2008), o modelo de biodigestor chinês é constituído de uma câmara cilíndrica construída em alvenaria, impermeável, onde é realizada a fermentação e o biogás é armazenado, conforme a esquematização da Figura 2.

Figura 2 - Biodigestor modelo chinês



Fonte: CASSINI *et al* (2014).

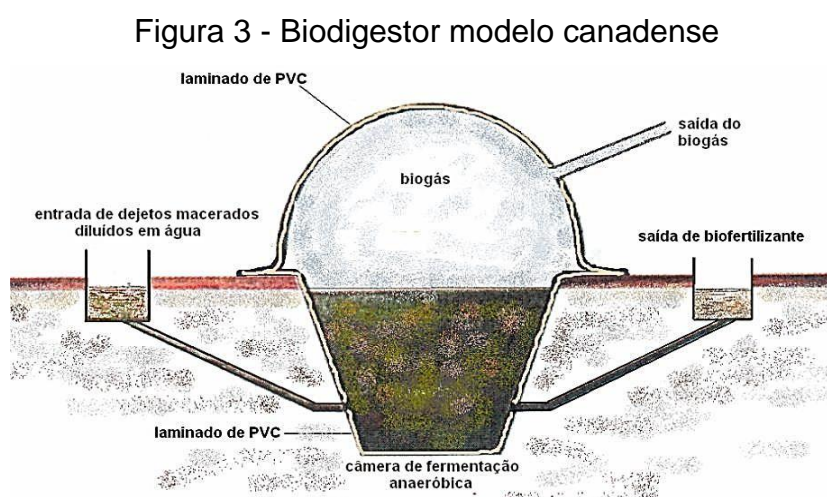
Na medida em que o biogás se acumula no interior da câmara, ocorre o aumento da pressão, resultando no deslocamento do efluente da câmara de fermentação para a saída. A semelhança deste modelo com o modelo indiano, deve ser que ambos precisam ser alimentados continuamente com substrato cuja concentração de sólidos totais seja em torno de 8%, evitando entupimentos do sistema de entrada e saída, facilitando a circulação de material (DEGANUTTI *et al*, 2008).

Oliveira (2009) salienta que modelo chinês trabalha com base no princípio de prensa hidráulica, aumentando a pressão em seu interior acumulando biogás, o que resulta em arrastos do efluente da câmara de metabolização para o reservatório de saída e em sentido contrário ocorre descompressão. Segundo Nishimura (2009), o biodigestor chinês não possui gasômetro, possui um custo de construção inferior ao modelo



indiano, por utilizar materiais de menor custo. É construído em alvenaria de tijolos, totalmente enterrado no solo. A redução de custos é resultado da não necessidade de utilização de partes de aço. Mas, o rendimento do reator será comprometido, caso o processo de impermeabilização do sistema apresente falhas que resultem em vazamento de efluentes ou gases.

Desenvolvido pela Marinha Brasileira na década de 1970, este modelo apesar da sua construção simples, possui tecnologia mais moderna reporta Pereira (2005). Sua composição básica é do tipo horizontal, a caixa de entrada construída em alvenaria, e constituída de uma câmara de digestão escavada no solo e um gasômetro inflamável de material plástico, conforme é esquematizado na Figura 3.



Fonte: OLIVER *et al* (2008).

Nesse modelo, o biogás produzido pode ser acumulado na cúpula plástica ou direcionado a um gasômetro separado, permitindo melhor controle do sistema operacional. Se comparado ao modelo Indiano, a vantagem deste modelo consiste no fato de que ele pode receber uma maior quantidade de resíduos (JUNQUEIRA2014).

Segundo Oliveira (2009), ao comparar o modelo canadense com o modelo chinês, nota-se que a vantagem está na estrutura, pois o modelo chinês é suscetível a rachaduras e danos relacionados à composição do solo brasileiro que possui dinâmica intensa de acomodação, resultando em perda de gás, exigência constante de manutenção e monitoramento. O fato de ser elaborado com base em padrões e condições físicas locais, torna esse modelo mais vantajoso em relação aos demais.

Como subproduto da fermentação anaeróbia de resíduos orgânicos, o biogás constituído principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), apresenta grande potencial de suprir necessidades energéticas. É considerado uma fonte de energia renovável com conteúdo energético semelhante ao gás natural, portanto, sua produção é limpa e não degrada o meio ambiente, além de diminuir a quantidade de resíduos orgânicos a serem depositados nos aterros e lixões (NEPPA, 2015; PIMENTEI *et al.*, 2015).

### **2.1.2 Biodigestores de Bancada ou Biodigestores Didáticos**

Os biodigestores de bancada são equipamentos confeccionados em menor escala capazes de produzir biogás a partir de resíduos orgânicos comuns e que podem ser utilizados com fins didáticos. A implantação destes biodigestores, pode ter vantagens incomensuráveis, visto que pode ser alvo de discussões e reflexões com os discentes quanto ao uso e preservação do meio ambiente, das prospecções de futuro e como forma de integração da população aos conhecimentos científicos (SANTOS *et al.*, 2017).

Desta forma alguns biodigestores didáticos e suas características podem ser visualizados nos quadros 1 e 2.



Quadro 1 - Biodigestores didáticos 1

<b>Biodigestor didático</b>	 <p>Fonte: PEREIRA <i>et al</i>, 2022, p. 531.</p>	 <p>Fonte: TEPERINO <i>et al</i>, 2017, p. 64.</p>
<b>Materiais</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. tubos de PVC</li> <li>2. torneira de plástico</li> <li>3. válvula de gás de alumínio</li> <li>4. tampas para vedar as extremidades dos canos PVC</li> <li>5. gasômetro</li> <li>6. material auxiliar: cola, fita adesiva, fita veda rosca e serrote</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. garrafa pet transparente</li> <li>2. mangueira fina transparente</li> <li>3. cano PVC, tampão</li> <li>4. suporte de madeira compensada</li> <li>5. material auxiliar: cola, furadeira, tesoura, barbante e corante vermelho</li> </ol>
<b>Substrato</b>	Resíduos de alimentos (500g) e 1L de água	Resíduos de alimentos (500g) e 1L de água

<b>Roteiro para construção</b>	<p>Etapa 1: Cortar os canos em tamanhos de aproximadamente 60 cm, e em seguida realizado um furo na peça de diâmetro maior para colocar a torneira, ao qual foi introduzida e instalada com o auxílio da fita e da cola.</p> <p>Etapa 2: Em seguida foi realizada um furo em uma das tampas para que fosse acoplado com o auxílio da cola, a válvula.</p> <p>Etapa 3: Após estes preparos se deve introduzir o cano de diâmetro menor, dentro do cano de diâmetro maior, fechar uma das extremidades sem a tampa com válvula de vazão utilizando a fita e a cola.</p>	<p>Etapa 1: Na segunda peça é necessário realizar um furo com a furadeira, direto no tampão de um dos lados do cano PVC, onde em seguida se deve pegar a outra extremidade da mangueira fina, alinhar com a tesoura e fixar no furo com o auxílio da cola.</p> <p>Etapa 2: Em seguida deve ser utilizada ou peça da mangueira e introduzida em um furo realizado na parte lateral do cano, além de amarra-lo na lateral do cano com o barbante. Etapa 3: Com o cano já na horizontal é importante despejar uma solução com água e anilina vermelha no seu interior.</p> <p>Etapa 4: No final será necessário montar a base de sustentação deste segundo modelo ao qual representa o gasômetro, utilizando as madeiras e a cola, e preparar o resíduo orgânico, ao qual pode ser utilizado uma proporção de água e resíduos orgânicos em medidas que se formem uma mistura grossa para se despejar na garrafa PET como demonstrado anteriormente.</p>
<b>Observações</b>	Utilizar gasômetro ou bexiga para detectar o biogás	Utilizar gasômetro
<b>Aspectos positivos</b>	Material de baixo custo Boa visualização do biogás	Material de baixo custo Boa visualização do biogás Ótimo roteiro explicativo
<b>Aspectos negativos</b>	Confecção cansativa Poucas explicações quanto aos resíduos e produção do substrato.	Poucas explicações quanto aos resíduos e produção do substrato. Falta de descrição do tempo de produção de biogás.

Fonte: autoria própria.

Quadro 2 - Biodigestores didáticos 2

<p><b>Biodigestor didático</b></p>	 <p>Fonte: LIMA, 2018, p. 33.</p>	 <p>Fonte: SILVA; KRELLING; FLORCZAK, 2018, p. 118.</p>
<p><b>Materiais</b></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. bombona plástica de 50 litros</li> <li>2. flange de 25 mm</li> <li>3. flange de 20 mm</li> <li>4. conexão T de 20 mm</li> <li>5. caps. de 20 mm</li> <li>6. registro válvulas de 20 mm</li> <li>7. registro válvula de 25 mm, cano de PVC 20 mm</li> <li>8. cano de PVC 25 mm</li> <li>9. conector joelho de PVC de 20 mm, abraçadeiras para mangueira</li> <li>10. mangueira de baixa pressão</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. garrafa PET de 5 litros</li> <li>2. cano PVC</li> <li>3. braçadeira com válvula</li> <li>4. braçadeira em T</li> <li>5. conector joelho</li> <li>6. registro, mangueira fina</li> <li>7. cola e fita adesiva</li> </ol>

	<p>11. válvula de saída de gás 12. tubo de cola plástica</p>	
<p><b>Roteiro para construção</b></p>	<p>Etapa 1 - Utilize uma serra copo com o diâmetro de 25 mm, acoplada na furadeira e prefere a bombona plástica a uma altura de três cm a partir da base. Em seguida perfure a bombona plástica com uma serra copo com diâmetro de 20 mm a uma altura de 10,5 cm de partir da base.</p> <p>Etapa 2 - Faça também duas perfurações com a serra copo com o diâmetro de 20 e 25 mm na tampa da bombona plástica, sendo a perfuração de 25 mm no centro da tampa e a perfuração de 20 mm ao lado.</p> <p>Etapa 3 - Em seguida monte os flanges de 20 e 25 mm na bombona conectando também os registros de válvulas de 20 e 25 mm aos flanges</p> <p>Etapa 4 e 5 - Monte os flanges de 20 e 25 mm na tampa e conecte registro de válvula de 20 mm ao flange de 20 mm, depois conecte a mangueira de gás com a abraçadeira na saída do registro de válvula de 20 mm, na outra parte da mangueira instale o registro de saída de gás fixando-o com a abraçadeira.</p> <p>Etapa 6 e 7 - Construindo a pá revolvedora do composto orgânico na tampa soldamos um cano de PVC de 35 cm de comprimento de diâmetro de 25 mm ao flange central da tampa interna. Utilizaremos um cano de PVC de diâmetro de 20 mm com 90 cm de comprimento para a confecção da pá revolvedora. Na parte superior do cano de PVC de 90 cm de comprimento soldamos um conector 1 de PVC de 20 mm. Depois soldamos dois pedaços de PVC de 20 mm de 15 cm de comprimento cada em cada lado da saída do conector soldamos um cap de PVC com diâmetro de 20 mm na extremidade de um lado do cano soldado no conector T, e na outra extremidade soldamos uma curva de PVC de 20mm. Na saída desta curva soldamos um</p>	<p>Etapa 1: Para preparo do modelo foi repartido o cano PVC em quatro pedaços, onde três deles possuem medidas simétricas e um com o comprimento mais curto, onde foram conectados entre se pelas braçadeiras, colocando a peça de comprimento menor virado para baixo na braçadeira de conector T.</p> <p>Etapa 2: Em seguida os joelhos foram colocados nas extremidades do cano e com o auxílio da cola e da fita adesiva foram fixadas no lugar da tampa de ambas as garrafas PET de 5 litros.</p> <p>Etapa 3: Então foi preparado o resíduo orgânico, utilizando restos de comida, carnes e esterco de origem bovina colocados em suspensão para dissolverem em água. Este produto foi colocado até a metade em uma das garrafas PET, enquanto a outra foi realizado um pequeno furo para introduzir a mangueira fina na parte inferior, onde foi fixada com cola e fita.</p>

	<p>cano de diâmetro de 20 mm com 5 cm de comprimento e finalizamos soldando um cap de diâmetro de 20 mm na extremidade deste cano</p> <p>Na parte inferior do cano de PVC soldar uma curva de PVC de diâmetro de 20 mm nesta curva de PVC solda um cano de PVC de diâmetro de 20 mm com 15 cm de comprimento, e na outra extremidade do cano solda um cap de 20 mm</p> <p>Etapa 8 - Com a finalização da confecção da pá removedora a colocamos dentro do flange de 25 mm fixado no centro da tampa acoplamos a tampa e fixamos a cinta de vedação a bombona</p>	
<b>Substrato</b>	Resíduos orgânicos agrícolas	Resíduos orgânicos domésticos
<b>Observações</b>	Maior cuidado com a biossegurança devido à grande produção do biogás	Utilizar bexiga para detectar o biogás
<b>Aspectos positivos</b>	Grande produção de biogás Utilização de resíduos orgânicos rurais	Material de baixo custo Boa visualização didática do biogás Fácil confecção
<b>Aspectos negativos</b>	Confecção muito trabalhosa Custo alto de produção Modelo indicado para escolas agrárias	Poucas informações do resíduo orgânico

Fonte: autoria própria.

Para a proposta deste trabalho, os dois primeiros biodigestores apresentam um trabalho muito superior os materiais e o espaço disponível para a construção dos modelos em sala de aula, tornando os dois últimos mais viáveis devido a possibilidade de construção mais compacta e com uma visualização mais clara do processo químico. Deste modo o conceito didático permite o desenvolvimento de uma proposta de aprendizagem mais objetiva e pratica para o processo experimental.

### **2.1.3 O Biodigestor e as Reações Químicas e Bioquímicas nos Biodigestores**

O crescimento global faz com que exista uma grande produção e descarte de resíduos orgânicos derivadas do consumo humano. Neste aspecto este produto final tende a ser descartado de forma inapropriada, sem a aplicação de seu material para elaboração de uma finalidade mais útil ao interesse do homem e o bem-estar do meio natural. Este fato apesar de ser uma realidade que vem sendo trabalhada e tratada nas últimas décadas ainda não atingiu padrões realmente favoráveis (DORNELAS *et al*, 2021).

O estudo e pesquisas demonstram que para todo descarte de resíduo orgânico realizado pelo homem, pode ter uma finalidade significativa para aspectos que criam vantagens ambientais e financeiras. Neste caso podemos mencionar a biodigestão anaeróbia como uma das principais ferramentas que promovem benefícios ao planeta, ao utilizar o seu material orgânico descartado para desenvolvimento de algo novo e útil ao seu interesse (DORNELAS *et al*, 2021).

Para Ros *et al.* (2017) os principais microrganismos responsáveis pela biodigestão nos biodigestores podem ser relacionadas da tabela 1.



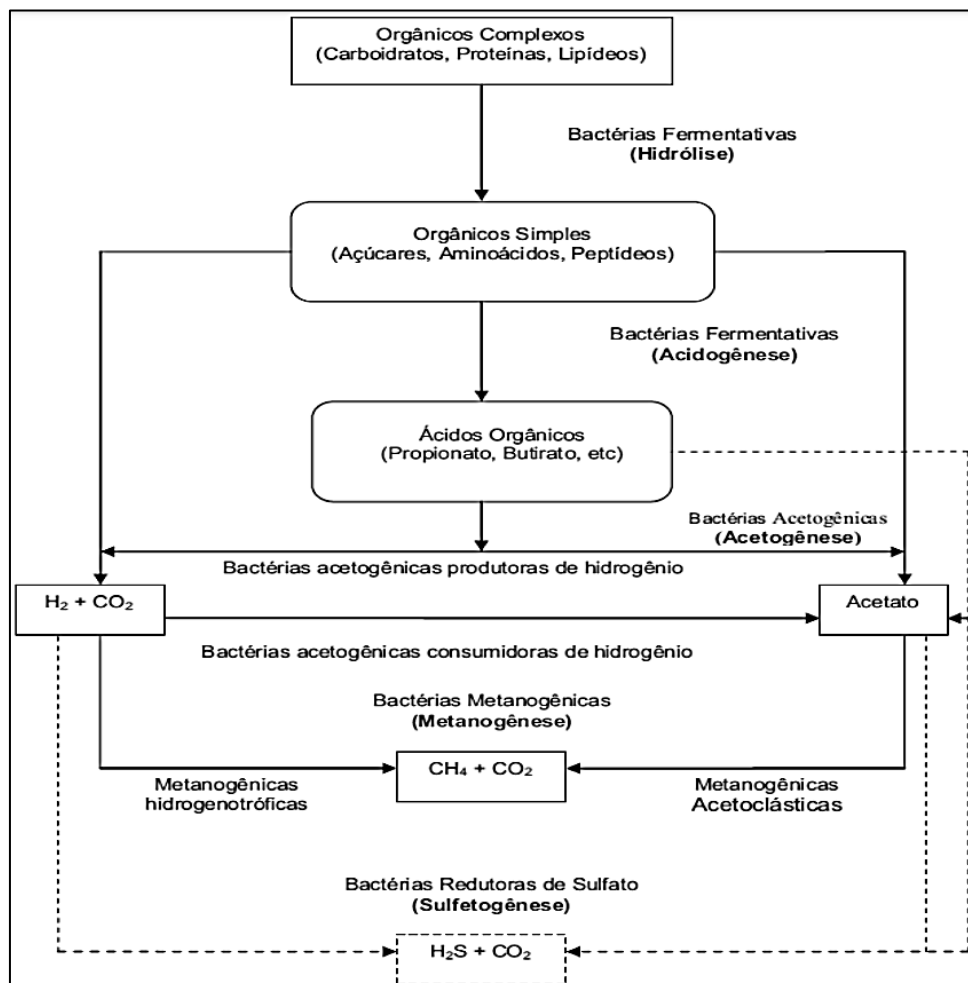
Tabela 1 - Bactérias Metanogênicas

<b>GRUPO</b>	<b>MICROORGANISMOS</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>Fermentativas</b>	<i>Bacteroides, Clostridium, Butyrivibrio, Eubacterium, Bifidobacterium e Lactobacillus</i>	Primeira etapa dos processos anaeróbios (hidrólise de biopolímeros)
<b>Acetogênicas</b>	<i>Syntrophobacterwolunii, Sytrophomonoswolfeii, Clostridium formicoaceticum</i>	Produção de H <sub>2</sub> e acetato
<b>Metanogênicas</b>	<i>Clostridia, Methanobacterium, Methanospirillum, Methanosarcinasp</i>	Produção de CH <sub>4</sub>

Fonte: Ros *et al.* (2017).

Essas bactérias promovem reações químicas nos biodigestores, que envolvem uma série de atividades anaeróbicas como a quebra das moléculas de água (hidrólise), produção de ácidos a partir da fermentação dos carboidratos (acidogênese), produção de acetato por meio de processo químico e biológico realizado por bactérias anaeróbicas (acetogênese), e por último a degradação realizada por meio de processo anaeróbico onde a matéria orgânica biodegradável em metano e dióxido de carbono (metanogênese) (BALDACIN; GMF, 2015).

Figura 4 - Representação do esquema das principais etapas do biodigestor anaeróbico



Fonte: BALDACIN; GMF, 2015, p. 11.

Como é possível observar na figura 1, o processo de biodigestão anaeróbica envolve vários fatores biológicos e algumas reações químicas para se obter biogás. Nestes, compostos orgânicos como os carboidratos, proteínas e lipídios são hidrolisados em outros compostos mais simples e de grande importância para o metabolismo e fermentação realizada pelas bactérias, que por sua vez realizam novos processos a partir destes componentes (BALDACIN; GMF, 2015).

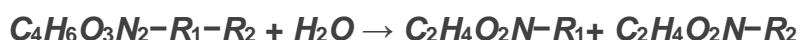
As quatro fases do processo de biodigestão compõem o esquema com maior taxa de sucesso na produção do biogás, permitindo que a sucessão de eventos realizados e o tratamento dos materiais orgânicos permitam a obtenção dos componentes necessários e essenciais para se maximizar tal resultado. (CREMONEZ *et al.*, 2013).

Para Stroski (2020), é possível descrever detalhadamente a sequência de reações químicas da biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos no biodigestor:

### Etapa 1 - Hidrólise:



- $C_{12}H_{22}O_{11}$  = sacarose.
- $C_6H_{12}O_6$  = glicose e frutose



- $C_{57}H_{104}O_6$  = gordura chamada trioleína.
- $C_3H_8O_3$  = glicerina ou glicerol.
- $C_{18}H_{34}O_2$  = ácido oleico.



- $C_4H_6O_3N_2-R_1-R_2$  = proteína di-peptídeo.
- $C_2H_4O_2N-R_1$  e  $C_2H_4O_2N-R_2$  são aminoácidos.

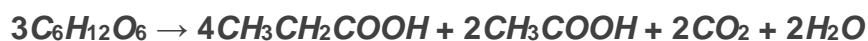
### Etapa 2 - Acidogênese:



- $HCO_3^-$  = íon bicarbonato.
- $CH_3COO^-$  = acetato.



- $C_5H_9NO_4$  = ácido glutâmico.
- $CH_3CH_2COOH$  = ácido propiônico.



- $CH_3COOH$  = ácido acético ou etanoico.

### Etapa 3 - Acetogênese:



- $CH_3CH_2COO^-$  = propionato, vem do ácido propiônico.
- $CH_3COO^-$  = acetato, íon do ácido acético.

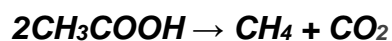
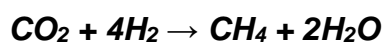


- $CH_3CH_2CH_2COO^-$  = butirato, vem do ácido butírico.



- $CH_3(CH_2)_3COO^-$  = íon do ácido valérico.

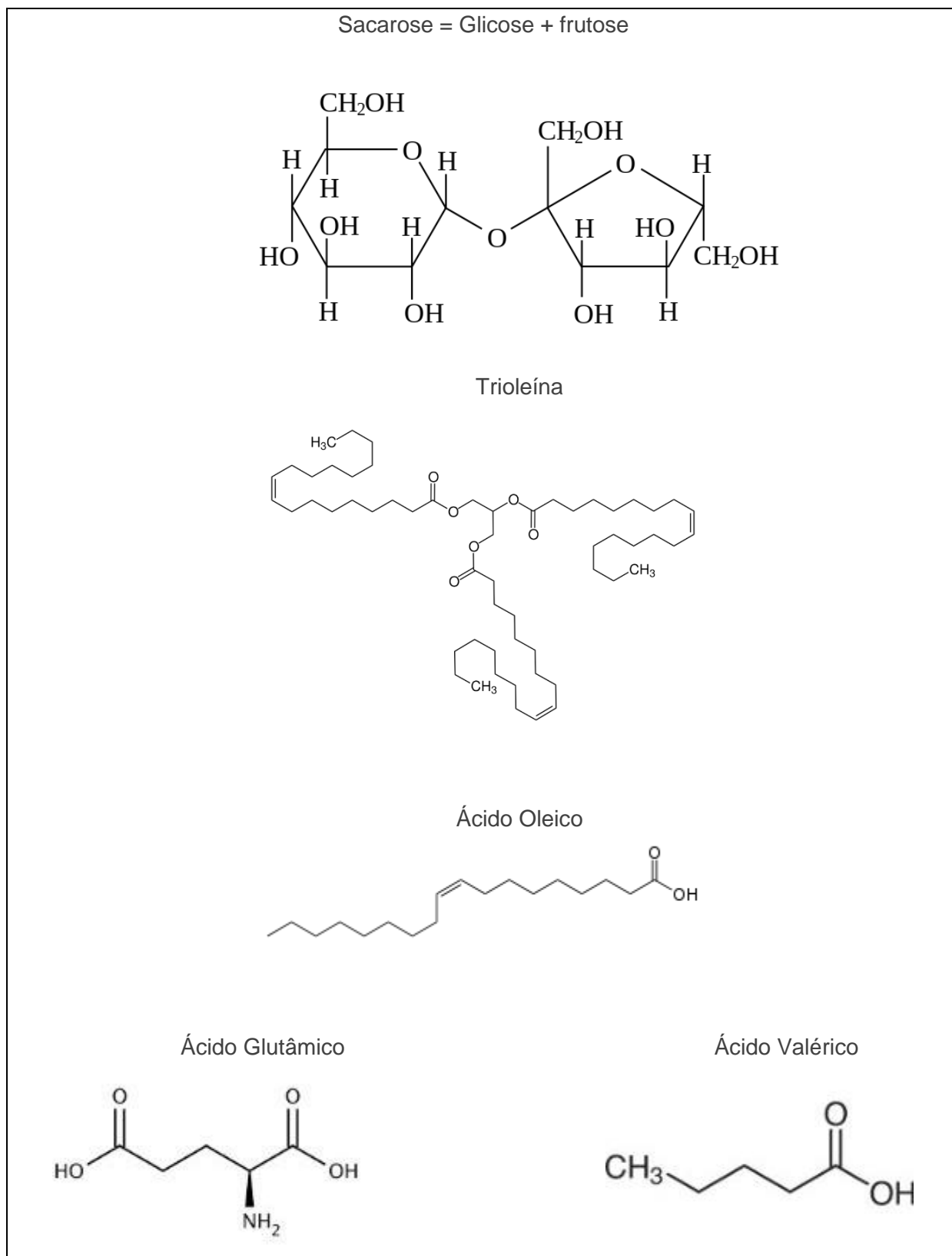
#### Etapa 4 - Metanogênese:



- $CH_4$  = metano
- $CO_2$  = dióxido de carbono

Assim também é possível visualizar as fórmulas estruturais dos compostos químicos (Figura 5) do biodigestor e sua importância com o conteúdo do ensino médio:

Figura 5 - Alguns compostos químicos presentes durante o processo de biodigestão

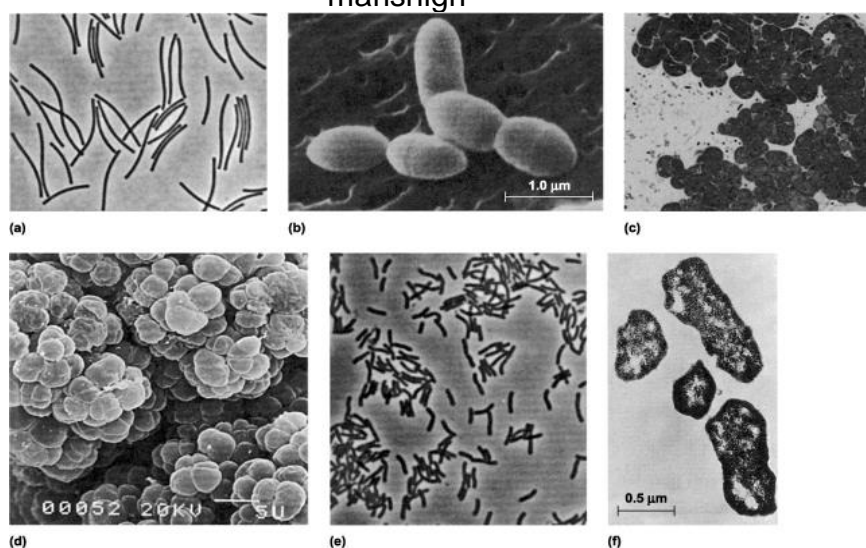


Fonte: próprio autor

No caso do processo de biodigestão que ocorre nos biodigestores convencionais é possível observar a transformação de resíduo de matéria orgânica (fase 4) sendo digerido por bactérias anaeróbicas metanogênicas, onde se obtém como resultado o biogás e uma matéria orgânica ótima para fertilização agrícola (COSTA; LIMA; SOTO, 2020).

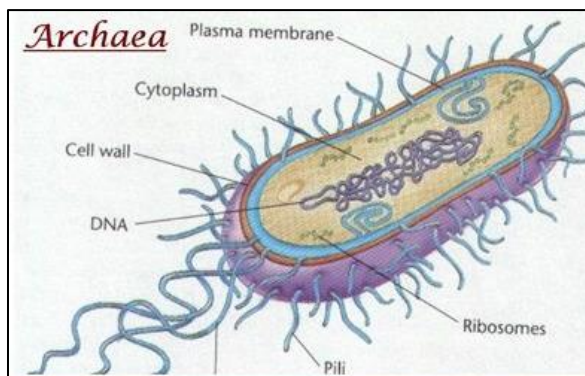
Essas bactérias metanogênicas do filo Euriarqueotas podem ter tamanhos variados entre 0,1 e 15 micrômetros, não possuem peptidoglicano (polissacarídeo) na parede celular (Figura 6) e vivem em ambientes de condições extremas: muito calor, muito frio, muito ácido ou com muita salinidade. Além disso, esses microrganismos (Figura 7) podem ter muitos formatos como de bastonetes, de esferas, em placas ou em espirais. As formas das Arqueobactérias são tão variadas que existem alguns dos organismos em formatos quadrados, como é o caso da *haloquadra walsbyi*, que vive nos charcos hipersalinos. Já as archeas metanogênicas são conhecidas principalmente por serem anaeróbicas. Elas podem ser encontradas em oceanos profundos ou em pântanos. Essas espécies podem viver ainda em intestinos de animais ruminantes, como os bovinos, as girafas, os caprinos, os camelos, os ovinos, as lhamas e os veados (FERNANDES, 2019).

Figura 6 – Grupos de Bactérias metanogênicas: (a) *Methanospirillum hungatei*; (b) *Methanobrevibacter smithii*. (c) *Methanosarcina barkeri* microscópio eletrônico de transmissão. (d) *Methanosarcina mazei*; scanning microscópio eletrônico, barra de escala. (e) *Methanobacterium bryantii*; fase de contraste. (f) *Methanogenium marisnigri*



Fonte: PRESLOTT, 2001.

Figura 7 - Bactéria Metanogênica - estrutura

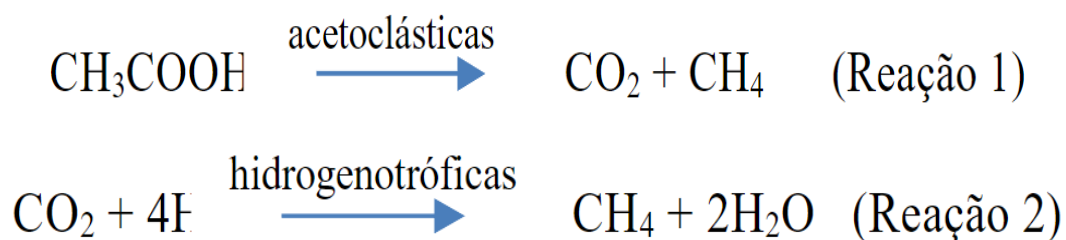


Fonte: STROSKI, 2020, p. 01.

Portanto, como o processo de produção de metano em sua última fase é realizado por um único grupo de bactérias, caracterizadas como procaríotas é de essencial importância que o biodigestor seja tratado com o máximo de cuidado para que não ocorram aglomerações de espécies do tipo eucariotas, que poderiam consumir e causar desordem no equilíbrio químico e biológico da fermentação e biodigestão (BARANA, 2000).

Dentre os processos citados no metabolismo das bactérias anaeróbicas para a produção do biogás, é possível destacar duas como as mais comuns dentre os modelos convencionados utilizados e que geram a maior parte do metano. A primeira trata-se de uma reação que reduz o ácido acético e produz gás carbônico, sendo a responsável pela maior parte da produção do metano. E a segunda que se trata da utilização do gás carbônico como fonte de energia, através dos átomos de hidrogênio (SOARES; FEIDEN; TAVARES, 2017).

Figura 8 - Reações das bactérias anaeróbicas na metanogênese



Fonte: SOARES; FEIDEN; TAVARES, 2017, p. 523-524.

Barana (2000) afirma que diversos trabalhos têm mostrado que cerca de 70% do metano formado na digestão anaeróbia é produzido pela descarboxilação do acetato, principal precursor de metano. O restante do metano é formado a partir do dióxido de carbono e do hidrogênio.

Este cenário sugere que todo o processo de biodigestão é composto por reações químicas e biológicas em cadeia que necessitam de cuidados para que ocorra da forma correta, sem a influência ou alteração significativa dos elementos que afetam a realização do processo.

Desta forma, apesar de demonstrar uma ótima solução para o aumento produtivo e a solução de alguns problemas energéticos, o tratamento utilizando microrganismos anaeróbicos envolvem necessidades de pré-tratamentos termoquímicos e sacarificação enzimática para que o processo ocorra com o seu pleno potencial (CREMONEZ *et al.*, 2013).

Outros fatores que podem influenciar o processo envolvem o pH, onde a presença de uma acidez muito volátil, ou um teor de alcalinidade total desbalanceada pode proporcionar perda da integridade da biodigestão anaeróbica, e com isso a falta de reação química e biológica para produção e metabolismo dos componentes essenciais para as bactérias (BACCA; ZENATTI, 2020).

### Quadro 3 - Fatores que influenciam a biodigestão anaeróbia

<p>O tipo e a qualidade do material orgânico a ser digerido é um fator crítico. Substratos com alto teor de matéria orgânica, como resíduos de alimentos e dejetos de animais, são bem adequados para a biodigestão anaeróbia.</p>	<p>O pH ideal para a biodigestão anaeróbia geralmente fica entre 6,5 e 7,5. Valores mais altos ou mais baixos do que isso podem afetar negativamente o processo e diminuir a eficiência.</p>	<p>A Temperatura é um fator importante, pois afeta a taxa de decomposição de material orgânico pelos microrganismos. A faixa de temperatura ideal para a biodigestão anaeróbia geralmente fica entre 30°C e 40°C, mas pode variar dependendo do tipo de substrato e dos microrganismos envolvidos.</p>
<p>Os nutrientes, como nitrogênio e fósforo, são necessários para o crescimento e a atividade dos microrganismos envolvidos na biodigestão anaeróbia. A falta de nutrientes pode limitar a eficiência do processo.</p>	<p>A concentração de sólidos no substrato pode afetar a viscosidade do material e, portanto, a taxa de digestão. Substratos com alto teor de sólidos podem ser mais difíceis de processar do que substratos com baixo teor de sólidos.</p>	<p>Os micro-organismos que estão presentes no biodigestor são importantes para o processo e podem afetar a eficiência e estabilidade do sistema. O tipo e a quantidade de micro-organismos podem variar dependendo do tipo de substrato, temperatura e outros fatores ambientais.</p>

Fonte: própria autoria.



Além destes, o tipo de substrato também pode desencadear um processo desbalanceado e desfavorável com a proliferação e o metabolismo das bactérias anaeróbicas, podendo até mesmo ocorrer a presença de outro tipo de bactérias que não fazem parte deste tipo de processo (BACCA; ZENATTI, 2020). Neste caso o controle das condições como a temperatura, e do desenvolvimento e a presença dos microrganismos presentes no biodigestor também afetam o seu potencial, e por esta razão necessitam de cuidados durante todo o processo. Apesar da sua construção relativamente simples quanto aos recursos necessários, a atenção e os cuidados se mostram essencial (BACCA; ZENATTI, 2020).

Assim segundo Barana (2000) existem fatores que atuam na biodigestão:

Sendo assim no processo de biodigestão anaeróbica é necessário que se observe alguns parâmetros para o seu desenvolvimento, onde estes envolvem principalmente o pH (com uma variação entre 6,5/7,0 até 8,0/8,0), relação carbono/nitrogênio (em níveis de 40 a 60%), temperatura (permitindo variação entre 25 a 37°C) e teor de sólidos voláteis (recomendação de 10gSV.L) (PENTEADO *et al*, 2021).

Quanto ao biogás produzido é possível perceber um maior nível de aproveitamento quanto ao interesse do homem, a produção de metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), em uma concentração aproximada de 55-70% para 30-45% respectivamente. A partir destas informações é possível mensurar valores aproximados do produto final a ser destinado como combustível/fonte energética (PENTEADO *et al*, 2017).

Devido a variação do material orgânico e das condições para desenvolvimento da digestão anaeróbica, existem algumas variações do biogás. É importante salientar que existem fatores como a umidade, acidez, substâncias que não atuam como combustível (CO<sub>2</sub>) ou com aspecto corrosivo corrosivas (H<sub>2</sub>S), assim como o tamanho do resíduo, o tempo e a impermeabilidade de entrada de ar, que também atuam no potencial de processamento do biogás, fazendo com que ele apresente características de maior ou menor potencial energético (LIMA; SANTOS, 2017).

Apesar do conhecimento do processo habitual, existe a possibilidade de introduzir microrganismos que direcionam a inicialização da biodigestão, e ainda alteram níveis de concentração dos gases principais. Normalmente dentro de um biodigestor

controlado, realizar este tipo de intervenção pode solucionar ou impulsionar a frequência e o potencial de desempenho (LEITE, 2019).

A adição do inóculo pode acrescentar características mais favoráveis na biodigestão, como o aumento de alcalinidade por exemplo (OLIVEIRA *et al*, 2018). Cancelier *et al*. (2015), em um estudo para produção de biogás em biodigestores de bancada, utilizando dejetos suínos em fase de determinação, verificaram que com o aumento da concentração de biomassa e o aumento da temperatura, o volume de biogás cresce significativamente.

A biodigestão precisa de cuidados importantes para atingir o seu verdadeiro potencial energético de produção de biogás para produto voltado a combustão. Desta forma, a elaboração deste produto em reatores concentrados, onde se é possível controlar o nível e intensidade de fatores que altera a eficiência da digestão anaeróbica, assim como dos gases de resultado, apresentam ser uma proposta mais segura e significativa para potencializar ao máximo este recurso energético renovável (GONZÁLEZ; JURADO, 2017).

O material orgânico se trata de outro fator significativo para o desempenho e eficiência do processo de biodigestão como produção de biogás. Neste ponto, compostos com maior tempo de descarte, e aqueles que apresentam alcalinidade e potencial volátil mais elevado, são mais propícios a resultados de níveis mais elevados (MACHADO *et al*, 2021).

Neste aspecto também cabe ressaltar que com o passar do tempo após o início da biodigestão sobre determinado material orgânico, existe uma queda significativa na produção de biogás, sendo necessário introduzir novos materiais para a manutenção do sistema criado. O tempo meio para se atingir parâmetros ideais em um biodigestor de bancada envolvem de 35 a 40 dias, onde o processo mostra a sua fase inicial, sendo possível estender em média até 80 dias com um desempenho ainda favorável (MACHADO *et al*, 2021).

Uma vez que exista a necessidade de acertar o período e tratar as condições para início do processo de biodigestão, se torna essencial o uso do inóculo para a redução do tempo de produção de biogás. Além do cuidado em reaproveitar o material orgânico e descartar de forma a não criar variações quanto aos níveis interferência dos agentes externos, sejam eles físicos ou orgânicos. Como o descarte de resíduos orgânicos é

um grande problema sanitário, a sua utilização direcionada a biodigestão se mostra uma das opções mais viáveis e ecologicamente conscientes (KRETZER; NAGAOKA, 2017).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e a Lei 12305/10 os resíduos sólidos orgânicos e todo resíduo de origem animal ou vegetal, podem ter diversas origens, 2 como doméstica ou urbana (restos de alimentos e podas), agrícola ou industrial (resíduos de agroindústria alimentícia, indústria madeireira e frigoríficos), de saneamento básico (lodos de estações de tratamento de esgotos), entre outras (KRETZER; NAGAOKA, 2017, p. 1-2).

A utilização da biodigestão como solução para a crise de poluição de material orgânico, faz com que seja possível transformar o nitrogênio orgânico em nitrogênio amoniacal, fazendo com que o seu valor nutricional para o solo seja favorável a utilização como fertilizante e tratamento do solo, tornando o processo de biodigestão por aterro, uma opção para o desenvolvimento agrícola (JÚNIOR; PASSOS; QUEIROZ; SOUSA, 2017).

Alguns grupos microbianos têm crescimento lento devido à baixa energia disponível durante a degradação anaeróbia, tornando-os vulneráveis e sensíveis a mudanças nas condições operacionais. Isto pode causar problemas de instabilidade durante o processo. Desta maneira, para tornar a formação de biogás mais atraente do ponto de vista comercial e para facilitar uma maior integração nos sistemas de abastecimento de energia, estes problemas de instabilidade devem ser superados de forma economicamente viável (SILVA, 2019, p. 20).

Neste sentido a temática biodigestor e seus aspectos relacionados como a biodigestão, a matriz energética e os temas do ensino médio tornam-se interessante e com alto potencial para o ensino experimental de Química.

## 2.2 PLANEJAMENTO, EXPERIMENTAÇÃO E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Ao tratar de uma metodologia experimental, que envolva um conteúdo com potencial interdisciplinar, é possível ressaltar uma perspectiva de grande valor agregado ao processo de ensino e aprendizagem, permitindo que a experiência adquirida seja capaz de integrar e relacionar os aspectos do cotidiano sobre uma visão diferente (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

A realização da experimentação nas aulas de química permite que os alunos, além de oportunizar a melhor compreensão da teoria, possibilita a participação do processo de construção do conhecimento. O envolvimento dos participantes na realização de

experimentos exercita o trabalho em grupo, a divisão de tarefas e o atendimento às regras e procedimentos, necessários à elaboração de um ensaio. Ou seja, se verifica que para a obtenção de um determinado resultado são alocados diversos conhecimentos adquiridos ao longo do desenvolvimento educacional dos alunos, como: a interpretação de resultados (procedimentos); o apontamento de dados numéricos e as unidades de medida; algumas reações químicas e fenômenos diversos, dependendo do ensaio e da sua aplicação (GUIMARÃES, 2009).

Nesse sentido, as aulas experimentais são um importante recurso didático-pedagógico para tratar das dificuldades decorrentes da abstração dos conhecimentos teóricos pelos alunos, pois estimulam o pensar e o resolver problemas a partir da prática, envolvendo-os na pesquisa e na busca pela resolução de problemas (DOURADO, 2012). Conforme Angotti (1992), para que as aulas experimentais não sejam vistas como uma prática mecanizada, sem possibilidades de construção pessoal por parte dos alunos, pois devem visar a sua construção pessoal do conhecimento científico, é necessário um plano de ensino adequado, que envolva a observação do método, a formulação de hipóteses, a realização do experimento propriamente dito e a aceitação ou rejeição da hipótese formulada.

Com base nisso, destaca-se que esse percurso formativo favorece a elevação do entendimento sobre os processos de formação do pensamento científico no âmbito do contexto escolar. Isso permite a criação de meios para se obter resultados que permitem orientar os alunos para uma aplicação do conteúdo didático e pedagógico dos objetos do conhecimento (MORO; COPPI; PRSYBYCIEM, 2019). Logo, é importante ressaltar que alguns temas, como no caso dos biodigestores, demonstram grande potencial de atuação e planejamento interdisciplinar, o que oportuniza o desenvolvimento de algumas questões importantes pela interação dos conteúdos disciplinares (SILVA, 2015).

Durante o processo de planejamento pedagógico, é de grande importância que os temas transversais sejam inseridos nas propostas dos planos de ensino dos professores, e principalmente a possibilidade de desenvolvimento de abordagens interdisciplinares, que possam agregar valor educacional significativo (LUCA *et al.*, 2018). Logo, encontrar o tema adequado, a metodologia experimental mais viável e a colaboração entre pares, podem ser fatores limitantes na operacionalização de um

plano de ensino que associe a experimentação e as estratégias interdisciplinares dos componentes curriculares da área das Ciências da Natureza - a Química, a Física e a Biologia (SANTOS; VALEIRAS, 2014). Um dos pontos de maior benefício em se adotar atividades experimentais, que envolvam conteúdos interdisciplinares, está na condição de se levantar discussões sobre o uso dos materiais didáticos e pedagógicos, de modo a explorar, de forma mais abrangente, a sua aplicação. Além disso, pode direcionar os estudos e os debates temáticos que permitem aprofundar os materiais em questão (SILVA, 2015).

Desta forma é possível trabalhar o plano de ensino de forma interdisciplinar por meio da inserção de temas transversais nas propostas dos planos de ensino dos professores. Além disso, é preciso encontrar o tema adequado, a metodologia experimental mais viável e a colaboração entre pares para a operacionalização de um plano de ensino que associe a experimentação e as estratégias interdisciplinares dos componentes curriculares da área das Ciências da Natureza. Atividades experimentais que envolvam conteúdos interdisciplinares podem levantar discussões sobre o uso dos materiais didáticos e pedagógicos e direcionar os estudos e os debates temáticos que permitem aprofundar os materiais em questão.

Neste caso, a proposição de uma abordagem contextualizada, que envolve o planejamento de aulas experimentais, como à construção de biodigestores didáticos no ambiente escolar, pode ser algo viável (GOMES *et al.*, 2022). Cotejando os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) é possível tratar da elaboração de um plano de ensino experimental que trabalhe para o fortalecimento da reflexão e dos conhecimentos discentes, assim como os procedimentos e as atitudes que também permitam o desenvolvimento dos aspectos científicos (TRAVERSI *et al.*, 2019).

A atualização das estratégias didático-pedagógicas poderá auxiliar à compreensão de que disciplinas científicas, como a Química, compõem o processo teórico-prático que associa os aspectos do cotidiano e as características específicas para sua melhor compreensão (ALMEIDA; NEVES; YAMAGUCHI, 2022). Dessa maneira, isso justifica a implementação das metodologias de aulas experimentais. (FARIAS; MENEZES, 2020). Então, a partir da escolha do tema biodigestores, no planejamento de ensino, é possível inferir que essa abordagem interdisciplinar aponta para o exercício prático da experimentação em Química.

O plano de ensino experimental pode direcionar ainda aspectos investigativos que permitem formular e questionar conceitos e materiais que despertam curiosidade e interesse (ALMEIDA; NEVES; YAMAGUCHI, 2022). Durante a aplicação do plano de ensino experimental é possível identificar um ponto de partida que se refere ao objetivo da aula e a exploração do senso crítico, onde normalmente se caracteriza um problema que necessita ser investigado e analisado para compreensão dele.

Sendo assim para o plano de ensino experimental de Química, assim como em sua metodologia mais convencional, o professor tende a assumir um papel questionador para conduzir os estudantes ao tema e os objetivos presentes em seu conteúdo didático de ensino. Desta forma o desafio e a solução de problemas, relacionados ao conteúdo da Química e os resultados do conteúdo apresentado, fazem parte da proposta educacional do planejamento, auxiliando a construção do ensino-aprendizado a partir de habilidades potencialmente analíticas e investigativas da compreensão e comunicação (MOURA; NOGARA; SILVA, 2020).

Para se otimizar a eficiência do plano de ensino experimental para o processo de ensino-aprendizagem é essencial a busca por um ambiente, e de materiais contextualizados e funcionais, de modo a promover uma educação baseada no contato e na análise dos materiais de trabalho. Por esta razão, se mostra essencial que o professor busque incentivar e direcionar os discentes a uma nova visão do conteúdo de Química, para que seja possível conquistar resultados reais para a suas necessidades práticas (MOREIRA, 2017).

No caso do ensino de Química e de ciências de modo geral é possível perceber grande potencial experimental, onde o processo de ensino-aprendizagem tem ferramentas práticas para promover suporte ao conteúdo teórico. A partir deste fato a interiorização e capacidade de desenvolvimento do conhecimento do aluno são fortemente trabalhadas de modo a construir indivíduos observadores e questionadores da realidade a sua volta (BRETES; CORREIA, 2018).

Mesmo tendo ciência destes fatos o processo experimental e o uso de seus recursos não fazem parte da maioria dos planejamentos de ensino, e segundo Lisboa (2015, p. 202):

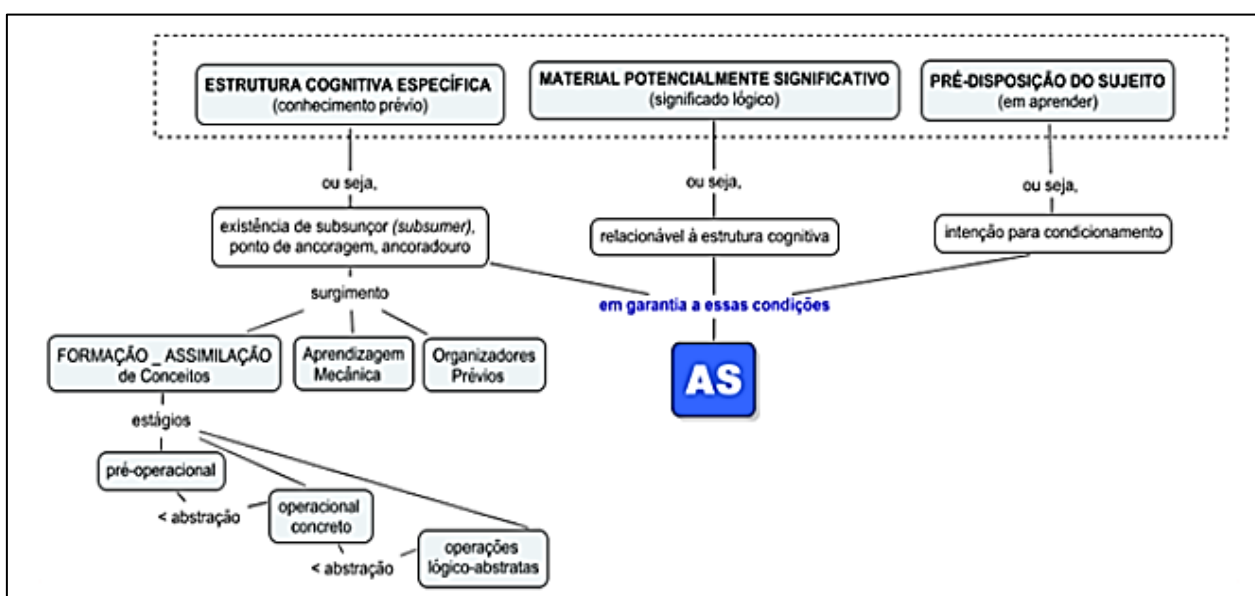
Apesar de todos os esforços, a experimentação nas aulas de ciências e de Química ainda é muito mais rara do que o desejável. Em visitas a escolas, contatos com professores e consultas a alunos concluintes do Ensino Médio, é

possível verificar tal fato. Há escolas em que o espaço do laboratório foi transformado em sala de aula ou depósito; há professores que não se sentem seguros para realizar aulas práticas, muitas vezes, alegando indisciplina dos alunos; há professores com carga excessiva de trabalho, sem tempo para preparar as aulas práticas e sem que possam contar com técnicos que os auxiliem; há também professores que têm medo de que algo aconteça com algum aluno e que eles tenham que responder judicialmente a algum processo (LISBOA, 2015, p. 202).

Na Teoria da Aprendizagem Significativa Ausubeliana (TAS) a problematização das questões que envolvem os processos de ensino-aprendizagem dos saberes científicos carece de múltiplas abordagens. Nesta perspectiva, as pesquisas educacionais na área das Ciências da Natureza revelam as dificuldades inerentes à ação docente e pouca resolutividade e eficiência nos resultados alcançados no cotidiano escolar.

Assim sendo, torna-se oportuno se tratar da temática Aprendizagem Significativa no contexto do Ensino de Química-Ciências. Também, impõem-se discutir a relação professor-aluno no processo de ensino-aprendizagem, a partir das proposições educacionais de David P. Ausubel e Joseph D. Novak como estratégias instrucionais para a melhoria do ensino das Ciências da natureza, particularmente, no contexto da educação química. Também, no contexto educacional científico nacional se destacam as contribuições de Moreira (UFRGS), conforme se apresenta na Figura 9.

Figura 9 - Teoria da aprendizagem significativa



Fonte: AUSUBEL, 1978; NOVAK, 1997; ARRUDA; e VILLANI, 1994, p. 06.

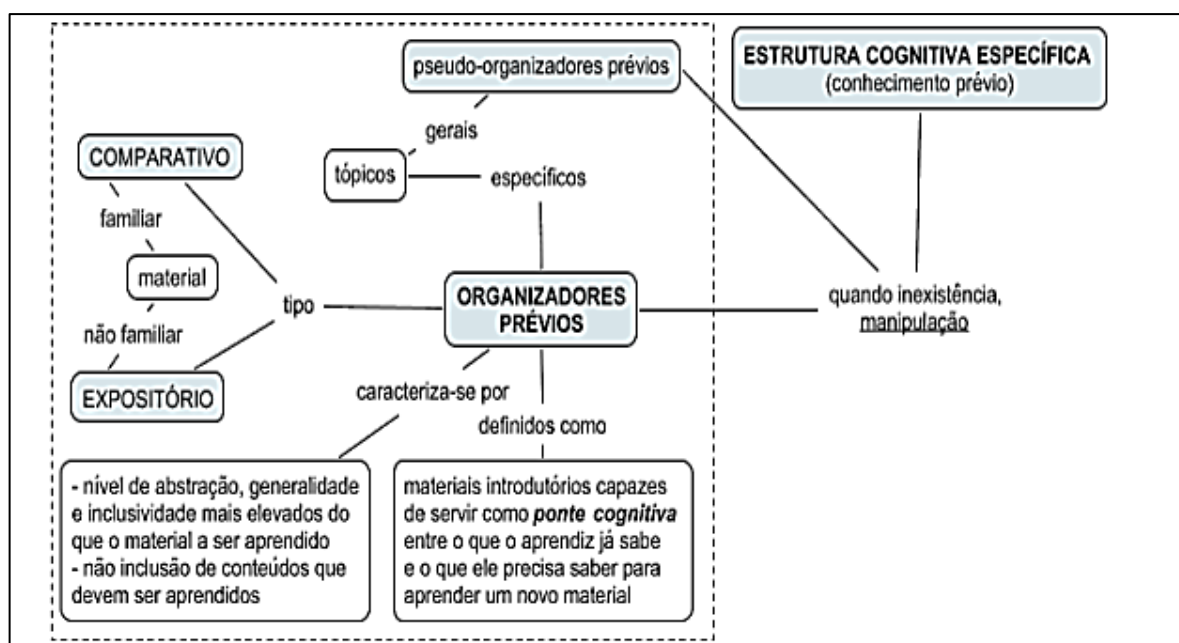
A investigação da aprendizagem científica é amplamente pesquisada, tendo como principal pressuposto a existência na mente dos estudantes das preconcepções ou concepções espontâneas, que são ideias intuitivas relativamente estáveis, parcialmente consistentes, úteis para a interpretação dos fenômenos cotidianos e que constituem o conhecimento do senso comum. Uma das características centrais de tais concepções espontâneas é a sua resistência a mudanças, que é interpretada como uma das principais causas das dificuldades na “aquisição” do conhecimento científico. Um dos problemas centrais da educação científica seria o criar condições para que o aluno possa revisar suas concepções pessoais, a fim de aproximá-las das concepções acadêmicas, qualificando-as como instrumentos de interpretação do mundo (AUSUBEL, 1978; NOVAK, 1997; ARRUDA; e VILLANI, 1994).

Desta forma, ao tratar-se das proposições apresentadas, três afirmações de Novak são fundamentais para que seja possível aplicar a teoria exposta à fundamentação referente ao conhecimento científico: (a) os seres humanos são criadores de significados; (b) o objetivo da educação é a construção de significados compartilhados; (c) os significados compartilhados podem ser facilitados pela intervenção ativa de os professores bem-preparados (NOVAK, 1997).

Na comunicação estabelecida pela linguagem (verbal ou não verbal) conjugada à aprendizagem, três conceitos-chave se associam: (a) o significado, que está nas pessoas se não nas coisas ou eventos, através de sinais, gestos, ícones, símbolos e palavras que significam algo; (b) a interação, que ocorre entre os novos conhecimentos e aqueles pré-existentes na estrutura cognitiva do aprendiz (Figura 10), e que se estabelece pela mediação da linguagem interpessoal; (c) o conhecimento, que igualmente configura-se em linguagem e tem significados que também podem ser compartilhados (MOREIRA, 2012).



Figura 10 - Estrutura cognitiva



Fonte: AUSUBEL, 1978; NOVAK, 1997; ARRUDA; e VILLANI, 1994, p. 08.

Isso posto, o conceito referência da teoria ausubeliana, a aprendizagem significativa (TAS), trata do processo pelo qual uma nova informação se relaciona, de uma forma não-arbitrária, a uma rede de conhecimento específica, a qual se denomina de conceito subsunçor, previamente existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. A Aprendizagem Significativa ocorre de maneira substantiva, isto é, não literal, não ao pé-da-letra, e não arbitrária. Isso significa dizer que a interação não ocorre com qualquer ideia prévia (AUSUBEL, 1978; MOREIRA, 2012). A partir do conceito básico da teoria de Ausubel e Novak, da Aprendizagem Significativa, evidencia-se que tal significação se dá quando uma nova informação (conceito, ideia, proposição) adquire significados para o aluno em sua estrutura cognitiva pré-existente, com determinado grau de clareza, estabilidade e diferenciação, através de uma espécie de ancoragem sobre ou subsunçores específicos (NOVAK, 1997).

Para temas de maior complexidade ou em situações de aparente ausência de subsunçores, Ausubel (1978) propõe a utilização de materiais introdutórios potencialmente significativos aos objetos centrais de conhecimento, definindo-os como organizadores prévios. Esses materiais devem estar em um nível de abstração maior e de complexidade menor, sem serem sumários ou meramente introdutórios à

temática principal. Além disso, eles precisam ser cuidadosamente constituídos para não conter informações sobre o próprio material de aprendizagem, pois não é essa a finalidade de um organizador prévio, cuja principal “é servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele precisa saber para que possa aprender significativamente a tarefa” (MOREIRA, 2006, p. 19).

Desta maneira, compreendendo que as teorias científicas são abstrações, constituídas pelo resultado do conjunto de interações com a realidade e com a natureza, e que o ser humano tem a capacidade de assimilá-las em forma de conhecimento (estrutura cognitiva), essa passa a ser a principal variável independente na aquisição de novas informações. Fazer com que a aquisição deste conhecimento seja inteligível, estável e organizado, consistirá na meta da atividade-fim em sala de aula.

Para Garcez (2018) o conhecimento científico pode contribuir à compreensão da realidade e da natureza, constituindo-se as Ciências da Natureza em um importante instrumento educativo à formação dos alunos, habilitando-os a tomar decisões e a participar da resolução dos problemas atuais, no contexto escolar, a fim de oportunizar o desenvolvimento do pensamento reflexivo. Logo, dentre outros, a linguagem torna-se o instrumento básico que permite a relação entre professor, alunos e materiais educacionais através do compartilhamento de significados.

Com isso, a revisão dos modelos teórico-práticos adotados no Ensino de Química e de Ciências, incluindo a experimentação, deve ser implementada, cabendo ao professor a incumbência de refletir sobre o que ensinar e como ensinar, como desenvolver os temas adequadamente, como estabelecer um ordenamento lógico entre os conteúdos, como conciliar as atividades práticas com suas bases teóricas.

A melhoria da qualidade da educação científica passa pela definição de uma metodologia de ensino que, dentre outras coisas, oportunize ao aluno seu desenvolvimento cognitivo, de modo que o professor estabeleça cenários a seu favorecimento, a partir da sua sólida concepção pedagógica e epistemológica. Passasse, a seguir tratar dos conteúdos científicos associados aos biodigestores e a prática didático pedagógico precisam ser analisadas amplamente.

### 2.3 BIODIGESTORES DIDÁTICOS E CONTEÚDOS CIENTÍFICOS E PEDAGÓGICOS ENVOLVIDOS

O biodigestor didático permite observar em menor escala uma alternativa ao uso de resíduos orgânicos que possibilitam gerar energia, através da produção do biogás, que embora necessite ser mais bem avaliada, já é uma realidade em diversas partes do mundo. Apesar de ainda não se projetar como uma matriz energética, o aproveitamento de resíduos para geração de energia pode ser uma solução para suprimento local, além de redução dos impactos ambientais causados pelos resíduos, e benefício sanitário para a população (MARTINS; MIYAMARU; SOARES, 2017).

Segundo Fernandes *et al*, 2021, trabalhar com um protótipo de biodigestor possibilita a interlocução entre áreas da ciência, como química, biologia e física. Apesar da existência de metodologias mais modernas e sofisticadas quanto a estrutura do processo do biodigestor, existem modelos que trabalham com materiais de baixo custo, como garrafas pet, mangueiras, colas e alguns materiais em PVC que permitem o planejamento didático para apresentação e criação em sala de aula, permitindo que independente das condições de suporte fornecidos pela escola, seja possível desenvolver um modelo de bancada para apreciação do conteúdo (FERRAREZ, 2020).

Como o biodigestor didático utiliza em seu processo aspectos científicos voltados a biologia e física, o tratamento de questões interdisciplinares e a utilização do modelo de bancada para o desenvolvimento experimental do conhecimento, permite que a didática envolva um projeto com grandes expectativas de aproveitamento do processo de ensino-aprendizagem (OLIVEIRA *et al*, 2018).

Devido à necessidade em se trabalhar aspectos inovadores e dinâmicos no processo de ensino-aprendizagem é possível perceber que aplicações práticas de metodologias didáticas como a confecção de biodigestores, estão sendo cada vez mais utilizadas em escolas e projetos educacionais com o intuito de elevar a experiência e a construção do indivíduo (NASCIMENTO, 2019).

Durante a explicação do processo de fermentação que acontece dentro do biodigestor didático, o docente de química deve ressaltar questões relacionadas à sua disciplina específica. A partir deste ponto a utilização de fórmulas e modelos de interação dos

compostos químicos pode ser facilmente associada à prática que está acontecendo no modelo didático de bancada.

A fermentação que ocorre em um biodigestor consiste em uma reação Química utilizando a matéria orgânica e microrganismos sem a presença de oxigênio (digestão anaeróbica), com liberação de energia (processo exotérmico). O processo de biodigestão envolve diversas etapas de decomposição do material orgânico, como a hidrólise seguida da fermentação ácida e, finalmente, a formação de gases como CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub> (hidrogênio), H<sub>2</sub>S (sulfeto de hidrogênio), CO (monóxido de carbono), CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> (dióxido de enxofre), N<sub>2</sub> (nitrogênio) e H<sub>2</sub>O (água) (SOUZA E MARTINS, 2011 *apud* OLIVEIRA *et al*, 2018, p. 146).

Apesar da possibilidade da utilização de materiais comuns, a montagem de um modelo eficiente de biodigestor didático deve ser cuidadosa quanto a alguns aspectos de sua estrutura, como a sua vedação para manter a integridade de isolamento hermético e impermeável, assim como o material dos receptores de resíduos orgânicos para a biodigestão (AMORIM, 2020).

Dentre os modelos de biodigestores mais comuns os modelos que utilizam garrafas de poli tereftalato de etila (PET) são mais eficientes podem ser recriados a partir de uma metodologia de baixo custo com potencial didático aplicado em sala de aula (SILVA, 2017). Mesmo com critérios rigorosos para o sucesso do experimento, é possível criar algumas variações que podem otimizar o custo e a praticidade do desenvolvimento de um modelo didático. Estes normalmente envolvem aspectos que alteram a circulação interna e o processo de fermentação, se fazendo necessário que exista grande foco no monitoramento e controle sobre a confecção e regulação (TELLES *et al*, 2017).

Parte da possibilidade de alteração da matéria para elaboração do modelo de biodigestor de bancada vem do desenvolvimento de pesquisas e estudo que aperfeiçoaram a metodologia e os conceitos didáticos quanto a ao planejamento e aplicação de estratégias que possam ser aproveitadas em sala de aula para fins educacionais (CUEVAS; FREITAS; FURTADO, 2018).

Assim a construção de modelos de biodigestores de bancada com fins didáticos para o ensino de ciências passou a adotar uma posição cada vez mais experimental e científica, mantendo a sua integridade acadêmica, que permite a aplicação de forma funcional em diversos ambientes com foco na educação e pesquisa (TELLES *et al*, 2017). Portanto, dessa forma uma vez que os temas de biogás estão presentes em

algumas disciplinas e no dia-a-dia dos estudantes, a utilização da didática como ferramenta de apresentação e disseminação do conteúdo, tem grande impacto no processo de ensino aprendido, tornando assim o estudo da Química uma tarefa ainda mais eficiente e que precisa ser interdisciplinar e contextualizada (CUEVAS; FREITAS; FURTADO, 2018).

#### 2.4 PERSPECTIVAS INTERDISCIPLINARES E O PLANEJAMENTO DE ENSINO EXPERIMENTAL SOBRE BIODIGESTORES DIDÁTICOS

As relações políticas, educacionais e científicas direcionaram o desenvolvimento populacional a se preocuparem com questões que envolvem a integração de diversos assuntos que promovem saúde e bem-estar. Esta relação permite tratar abordagens e conceitos que causam degradação ao meio social, econômico e natural, de modo a construir uma sociedade mais esclarecida e com poder para atuar na mudança de problemas quanto ao desenvolvimento sustentável (EDUVIRGEM *et al*, 2017).

A evolução da ciência e da tecnologia, assim como das metodologias de estudo e pesquisa, criam um cenário ao qual é possível interagir conceitos e ideias para a formação de uma melhor compreensão das questões que afligem o meio socioeconômico e ambiental. Desta forma, o modo de pensar e agir passou a se integrar de modo a refletir sobre a situação como um todo e não somente tratar dos problemas isoladamente (MAIA *et al*, 2019).

No caso dos estudos científicos, onde se aborda biologia, química e física, existem propostas que interpelam problemas ambientais significativos, e a partir do conceito interdisciplinar é possível levar estas questões ao ambiente escolar, formando indivíduos capacitados a desenvolver o pensamento crítico, e promover experimentos e ideias que interagem em soluções eficientes (MAIA *et al*, 2019). Neste sentido o ambiente educacional tem apresentado propostas e aplicado projetos que atuam no trabalho conjunto entre disciplinas, para elaboração e aplicação de projetos que possam beneficiar o processo de ensino aprendizagem, ao mesmo tempo em que direciona os alunos a solucionar questões relevantes ao meio socioambiental (GODOI; ROSA, 2020).

No caso da compreensão e desenvolvimento dos biodigestores é possível perceber uma abordagem que busca solucionar questões energéticas, sociais e principalmente

ambientais, tratando assim de uma proposta que contém elementos do estudo da química, da biologia e outros segmentos acadêmicos de acordo com o modelo e a metodologia adotada (GODOI; ROSA, 2020).

Uma das metodologias que mais abrangem o conceito da interdisciplinaridade no ensino se trata do planejamento de ensino experimental, ao qual permite aos alunos trabalharem uma questão prática que envolve aspectos didáticos e científicos de disciplinas diferentes. Esta realidade está no fato da metodologia e as práticas que envolvem procedimentos conhecidos no dia-a-dia do aluno, se relacionar com várias questões multidisciplinares para que seja possível compreender o seu fenômeno (FERNANDES, 2020).

Mesmo sendo apenas um campo capaz de abranger inúmeras disciplinas e expandir o seu potencial, é possível perceber que nos últimos anos a disciplina de química tem se destacado quanto a participação e aplicação em diversos projetos experimentais, tendo a sua participação em aspectos naturais, biológicos, físicos, sociais, políticos econômicos dentre outros (FERNANDES, 2020).

Desta forma a interdisciplinaridade é direcionada a abordagens práticas definindo metodologias e conceitos que derivam dos dados teóricos oferecidos no processo educacional mais convencional, permitindo assim que a visão do conteúdo, assim como do processo ao qual ele se envolve (SILVA *et al*, 2020).

Dentre os vários conteúdos que são normalmente relacionados à disciplina de química, é possível notar a construção de fontes de energia renováveis e cuidados com o meio ambiente, como é o caso da construção de digestores anaeróbicos para contextualização das teorias científicas (SILVA *et al*, 2020).

Apesar das perspectivas interdisciplinares envolverem práticas e metodologias experimentais, é possível perceber que estes recursos não são explorados em sua melhor forma, impedindo que o conhecimento seja desenvolvido de acordo com as interações e os conceitos teóricos apresentados em sala de aula. Neste ponto o educador deve trabalhar a realidade do aluno como direção para um planejamento de ensino experimental mais apropriado ao seu dia-a-dia (ROCHA *et al*, 2021).

Os conteúdos das disciplinas de Biologia e Química podem ser trabalhados articulando conhecimentos científicos com situações do cotidiano para explicar os conteúdos. Muitos produtos amazônicos estão sendo utilizados para melhorar a compreensão dos alunos da educação básica sobre os

conteúdos de ciências, tornando dessa forma o ensino dessas disciplinas mais eficiente e significativo para o aluno (ROCHA *et al*, 2021, p. 5).

Neste sentido os aspectos interdisciplinares que envolvem práticas experimentais devem ser planejados a partir de uma metodologia bem estruturada, delimitando as questões pertinentes ao plano de ensino experimental adequado, os materiais necessários, o processo de construção e demais informações que possam ser pertinentes à construção de uma proposta de ensino. Assim a experimentação planejada é um método importante tanto para compreender as causas de variação ou problemas no processo quanto para desenvolver, testar e propor mudanças no processo, que reduzem ou eliminam as causas de variação.

O planejamento experimental para confecção dos biodigestores de bancada é de suma importância para o sucesso do processo. A sequência de etapas como a pesquisa bibliográfica, a seleção de materiais, a confecção dos protótipos, os testes, a coleta de dados, variações das condições e a discussão dos resultados com os alunos são essenciais no processo de ensino aprendido aqui proposto. Desta forma como os protótipos de biodigestores envolvem um procedimento experimental deve-se atentar para a biossegurança necessária em uma aula prática.

## 2.5 BIOSSEGURANÇA

É importante salientar as questões de biossegurança durante o processo experimental dos biodigestores mencionados anteriormente, devido ao risco envolvido na manipulação de componentes. Isso inclui considerar a situação, as condições de desenvolvimento das atividades e a disponibilidade de recursos para implementação de acordo com a construção educacional e científica (COSTA; COSTA, 2018).

A inadequação dos laboratórios e recursos didáticos e científicos para atividades experimentais pode prejudicar a proposta do processo científico e a contemplação do conteúdo teórico e didático na experimentação prática. Isso é observado claramente devido à falta de infraestrutura para a realização do processo químico, físico ou biológico (COSTA; COSTA, 2018).

As atividades experimentais, como a construção do biodigestor, requerem uma metodologia organizada e disciplinada para alcançar os objetivos educacionais e

científicos pretendidos. A falta de normas e éticas pode levar ao fracasso desses objetivos e a um ambiente inseguro, com riscos para a saúde das pessoas envolvidas (FERREIRA *et al.*, 2018).

Ao realizar atividades experimentais, existem riscos para a saúde e o bem-estar, tanto dentro quanto fora do ambiente escolar, sendo fundamental a implementação de medidas de biossegurança para proteger contra possíveis danos (JUNIOR *et al.*, 2023). Isso é especialmente importante devido ao potencial de desenvolvimento de doenças e problemas de saúde humana e ambiental durante tais atividades experimentais, exigindo uma manipulação cuidadosa de materiais e substâncias (JUNIOR *et al.*, 2023).

Um fator crítico ao considerar o contexto da biossegurança em atividades experimentais na sala de aula é a necessidade de desenvolver estratégias e metodologias de baixo custo que seguem rigorosos padrões de biossegurança para a manipulação de substâncias potencialmente perigosas (ESTEVES; SILVA, 2022). Além disso, é essencial considerar os agentes biológicos, físicos, e químicos que estão presentes em atividades como a construção de protótipos de biodigestores de bancada, incluindo o biogás inflamável (ESTEVES; SILVA, 2022). É importante considerar a aplicação de medidas de biossegurança adequadas durante atividades experimentais com materiais de baixo custo, incluindo o uso de equipamentos ou ferramentas e instrumentos de proteção pessoal e coletiva (ESTEVES; SILVA, 2022).

Apesar dos critérios rigorosos estabelecidos pelo conceito de biossegurança, é possível adaptar ferramentas de proteção pessoal e coletiva para minimizar os riscos à saúde e bem-estar durante atividades experimentais. Essas medidas incluem opções de redução de custos para minimizar os impactos das práticas com agentes ou substâncias potencialmente perigosas, como o biogás inflamável (SILVA *et al.*, 2013). É fundamental garantir que os equipamentos de proteção, mesmo de baixo custo, atendam aos critérios mínimos para minimizar o contato direto ou indireto com substâncias perigosas, especialmente durante práticas experimentais com substâncias químicas (SILVA *et al.*, 2013).

Devido o conceito de biossegurança ser um material multidisciplinar, a abordagem educacional, e o desenvolvimento de instrumentos de proteção assim como das próprias práticas experimentais não se limitam apenas uma disciplina. Neste caso ser



capaz de educar sobre seus aspectos e a sua importância é de extrema necessidade para a formação do indivíduo e a execuções da metodologia aplicada (PEREIRA *et al.*, 2012).

Ao tratar o conceito de biossegurança dentro e fora do desenvolvimento de atividades experimentais, é importante destacar que as suas normas são de grande valor em diversas áreas, inclusive a profissional, tornando o seu conteúdo de grande importância para a construção acadêmica do aluno (PEREIRA *et al.*, 2012).

Pensar nesta proposta permite trabalhar o ensino de forma a colocar em pratica o conteúdo teórico apresentado em sala de aula, demonstrado de forma direta o relacionamento da atividade experimental com casos do cotidiano, ou do ambiente profissional. Sendo assim aplicar metodologias ativas como estas trazem benefícios para a formação do conhecimento (WEBER *et al.*, 2012).

O setor de pesquisa em laboratórios apresentou avanços significativos nos últimos anos, mas com isso, aumentou-se o risco de contaminação por agentes biológicos devido à falta de cuidados no manuseio de peças e substâncias (SANTOS *et al.*, 2019). Para minimizar esses riscos, foram discutidos fatores relacionados à manipulação de agentes biológicos, incluindo a classificação de risco de contaminação e agressão à saúde e segurança do indivíduo. A implementação dessas medidas de segurança foi feita seguindo as determinações estabelecidas pelo conhecimento científico em relação aos procedimentos e agentes químicos e biológicos, visando estabelecer um ambiente laboratorial seguro para boas práticas (SANTOS *et al.*, 2019).

Apesar de ter como foco principal a abordagens destas questões é possível perceber que o conceito de biossegurança se relaciona com outras questões importantes para o meio científico, como o caso da bioética e conduta responsável tanto no ensino quanto na pesquisa. Esta relação ocorre devido à relevância em manter a integridade da pesquisa e dos resultados, ao mesmo tempo em que se mantem seguro as condições do experimento e do profissional, preservando assim aspectos relacionados aos dados e resultados científicos derivados do processo (ALMEIDA; CASSIMIRO; DIÓS-BORGES, 2017).

Apesar de grande parte da necessidade ao qual proporcionou o desenvolvimento da biossegurança a partir das necessidades científicas de pesquisa e operacionais de

trabalho, existe um propósito em se construir metodologias e parâmetros de segurança ao se manusear elementos químicos e biológicos principalmente na área educacional.

No ensino fundamental e médio, as práticas laboratoriais não ocorrem com frequência suficiente para justificar uma imposição extremamente rigorosa em relação à biossegurança dos alunos, mas no ensino superior, onde há um grande desenvolvimento de pesquisas e preparo de substâncias químicas e biológicas, é necessário que os docentes orientem e monitorem rigorosamente a elaboração dos experimentos (COSTA; COSTA, 2020). Normalmente, a falta de suporte e conhecimento em relação à manipulação de substâncias químicas e biológicas é a causa de problemas relacionados à biossegurança em sala de aula. O professor deve estar capacitado e ter domínio da metodologia de cada experimento, bem como instruir os alunos quanto aos cuidados e riscos envolvidos, a fim de garantir a segurança e o verdadeiro propósito do conceito de biossegurança (COSTA; COSTA, 2020).

Como os parâmetros que são estabelecidos e discutidos dentro do conceito de biossegurança envolve o desempenho e interesse pessoal, político e econômico existem uma série de conflitos que interferem na construção de parâmetros que valorizam a real integridade dos processos desenvolvidos em laboratórios, assim como dos potenciais limites quanto aos riscos da saúde e bem-estar dos indivíduos envolvidos (COSTA *et al*, 2018). Esta temática de biossegurança aplicada no processo educacional e profissional sobre seu conceito, não deve seguir parâmetros exclusivamente teóricos e pragmáticos, uma vez que seu conteúdo envolva a aplicação prática e o desenvolvimento de processos científicos, existe uma grande necessidade em realizar contatos e recriar aspectos que apresente a suas aplicações (MONTEIRO; RODRIGUES, 2018).

No âmbito educacional sobre a biossegurança é possível perceber metodologias que abordam aspectos que incentivam o conhecimento prévio do aluno, assim como o instiga a realização do procedimento seguindo supervisão, permitindo assim que o estudante aprenda diretamente a partir das suas relações práticas que exploram o raciocínio rápido e a autoaprendizagem (MONTEIRO; RODRIGUES, 2018). Reconhecer e compreender a necessidade quanto às práticas de biossegurança é

uma tarefa essencial no desenvolvimento prático da educação científica, principalmente na parte experimental, onde se são desenvolvidos procedimentos e modelos que permitem aplicar de forma prática o conceito teórico adquirido, além de permitir que seja visualizado de forma concreta e objetiva (LIMA, 2017).

Para garantir a saúde, o bem-estar e a integridade dos processos e componentes em áreas de risco químico e biológico, é necessário capacitar os profissionais que atuam nessa área, inclusive nos biodigestores (FRANCISCO *et al.*, 2020). No meio educacional, é importante priorizar a orientação adequada em relação aos riscos bioquímicos antes de aplicar qualquer proposta didática. É recomendável que os professores que não possuem capacitação em biossegurança busquem conhecimento e informação sobre prevenção de riscos, ou optem por incluir parâmetros de biossegurança em suas metodologias, mesmo sem formação específica (FRANCISCO *et al.*, 2020).

Desta forma, durante a confecção de biodigestor, existe uma variação de métodos dentro do conceito de biossegurança que requer cuidado primário (antes da prática), como o caso de higienização das mãos e utilização de equipamentos de proteção individual e coletiva. Em seguida a determinação da prática deve direcionar como serão manuseados os recursos bioquímicos, assim como as ferramentas para suporte e elaboração do experimento (SCHUMACHER *et al.*, 2019). Todo este desenvolvimento do planejamento metodológico, assim como a sua aplicação devem se basear em cuidados recomendados segundo os parâmetros de biossegurança, destacando os aspectos aos discentes quando aplicado em sala de aula e/ou laboratório, para que seja possível manter a integridade da saúde e bem-estar de cada indivíduo, assim como parte indispensável para o preparo e conhecimento do conceito (SCHUMACHER *et al.*, 2019).

A partir desta proposta de experimentação, e dos cuidados da biossegurança, algumas metodologias de ensino demonstram vantagens significativas no objetivo escolar, além da formação do aluno segundo o atendimento de suas expectativas e da qualidade de aprendizagem esperada pela instituição (WEBER *et al.*, 2012). A construção prática de biodigestores também se trata de uma conduta didática que requer compreensão e planejamento quanto aos cuidados necessários a respeito do conceito de biossegurança. Dentre estes é importante estabelecer os possíveis riscos

e cuidados ao se utilizar os componentes necessários para criação do protótipo, assim como os seus possíveis impactos de seu resultado final (COPPI; MORO; PRSYBYCIEM, 2019), como segue.

### 3 METODOLOGIA

A presente dissertação adotou a pesquisa em uma abordagem qualitativa aplicável para o contexto educacional. Como estratégia metodológica entende-se que uma prática se modifica ao passo que se muda a maneira de compreendê-la, fazendo-se necessário, para tanto, realizar aplicação que alcance as necessidades de determinada situação, no caso, a sala de aula. Para isso, espera se estabelecer a provocação aos sujeitos envolvidos no processo, os alunos, de maneira tal que lhes dê possibilidade de saber mais e de como melhor atuar sobre a realidade que os circunda.

Isso posto, pode-se tipificar a pesquisa realizada sobre a elaboração de um plano de ensino experimental para a construção de um biodigestor de bancada sendo: a) *quanto à finalidade* – pesquisa aplicada, pois é o tipo de pesquisa cujo objetivo é produzir conhecimentos científicos para aplicação prática voltada para a solução de problemas concretos e/ou específicos da vida moderna - reciclagem e matriz energética ; b) *quanto à natureza* – pesquisa experimental, pois envolve um tipo de experimento, onde o pesquisador participa ativamente na condução - confecção dos biodigestores didáticos; c) *quanto à forma de abordagem* – pesquisa qualitativa, pois é o tipo de investigação apropriada para quem busca o entendimento de fenômenos complexos específicos; d) *quanto aos objetivos* – pesquisa exploratória, pois visa estabelecer a aproximação do pesquisador com o tema a ser investigado, para torná-lo mais familiarizado com os fatos e os fenômenos relacionados ao problema a ser estudado – plano de ensino experimental desta pesquisa ; e) *quanto aos procedimentos técnicos* – pesquisa, pois adota ambiente de simulação para reproduzir o fenômeno ou objeto do estudo, além de se utilizar de instrumentos específicos de análise laboratoriais – protótipos de biodigestores; f) *quanto ao desenvolvimento do tempo* – é uma pesquisa prospectiva, pois o estudo é conduzido a partir do momento presente e caminha em direção ao futuro - energias renováveis (LAKATOS & MARCONI, 2001; *Idem*, 2005).

A metodologia utilizada por este estudo segue padrões qualitativos, por meios da apresentação de um plano de ensino experimental para confecção de biodigestores didáticos de bancada, utilizando materiais de baixo custo, com potencial para o processo de ensino aprendizagem da Química.

A pesquisa tem como público-alvo alunos do 2ºano e 3ºano do Ensino Médio que teoricamente já assimilaram os conteúdos que são pré-requisitos a critério do professor que avaliará se eles estão aptos a abordagem experimental proposta.

### 3.1 PLANO DE ENSINO EXPERIMENTAL: APRESENTAÇÃO E VALIDAÇÃO

Vale ressaltar que existem algumas questões que podem direcionar a metodologia do plano de ensino que se relacionam a uma proposta experimental, sendo estas (FERREIRA; HARTWIG; OLIVEIRA, 2010, p. 102):

a) é direcionada a partir de um problema ou uma situação-problema relevante? b) envolve os alunos em formulação e testagem de hipótese(s) experimental(is)? c) propicia a coleta e o registro de dados pelos próprios alunos? d) encoraja os alunos a formularem explicações a partir das evidências? e) proporciona aos alunos compararem suas explicações com diversas alternativas? f) propicia aos alunos oportunidade de discutir suas ideias com os colegas por meio da mediação docente?

Uma vez que as escolas nem sempre fornecem uma base estrutural, como um laboratório de Química ou de Ciências onde podem ser realizados tais experimentos, é fundamental oferecer ao docente a busca por medidas alternativas para apresentação e aplicação de um plano de aula que permita explorar os aspectos científicos e experimentais do conteúdo expostos em sala de aula por métodos mais convencionais (FILHO; VASCONCELOS, 2019).

Desta forma, nos Anexos (1, 2 e 3) serão apresentados três experimentos associados a construção biodigestores didáticos ou de bancada e os resultados registrados. Para o desenvolvimento de um plano de ensino experimental que fosse eficaz na construção e apresentação de cada um dos modelos didáticos é necessária a construção de um quadro (Quadro 3) que seja eficiente quanto a padrões, métodos e objetivos a serem trabalhadas em cada aula.

Quadro 4 - Plano de ensino experimental

IDENTIFICAÇÃO DO PLANO			
<b>TEMA: ESTUDO SOBRE BIODIGESTORES E ENSINO EXPERIMENTAL DE QUÍMICA POR MEIO DA CONSTRUÇÃO DE MODELOS DIDÁTICOS</b>			
Etapa/modalidade de ensino: Presencial		Público-alvo: 2º e 3º ano do ensino médio	
Área de Conhecimento: Ciências da Natureza		Componente Curricular: Química	
SISTEMATIZAÇÃO DAS APRENDIZAGENS			
Campo Temático/ Tema Gerador	Objetos do Conhecimento	Habilidades	Competências Específicas
Matrizes energéticas alternativas - Biodigestores	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Estudo dos Gases</li> <li>✓ Estados físicos da matéria</li> <li>✓ Reutilização de resíduos</li> <li>✓ Poluição ambiental</li> <li>✓ Energia renovável</li> <li>✓ Funções orgânicas</li> </ul>	(EM13CNT101) (EM13CNT102) (EM13CNT106)	Competência específica 1
ATIVIDADES			
<p style="text-align: center;"><u>Primeira parte: aulas experimentais</u></p> <p>Serão ministradas aulas teórico-experimentais de forma a estimular ainda mais a interação dos alunos por meio de construção de biodigestores e perguntas sobre questões pertinentes ao que está sendo executado, sempre relacionando as etapas experimentais com a disciplina de forma científica, a primeira parte conta com:</p> <p style="padding-left: 40px;">Construção do modelo de biodigestor didático ou de bancada 1 (Anexo 1)            Construção do modelo de biodigestor didático ou de bancada 2 (Anexo 2)            Construção do modelo de biodigestor didático ou de bancada 3 (Anexo 3)</p> <p style="text-align: center;"><u>Segunda parte: Discussão sobre o tema</u></p> <p>Estabelecer relações didáticas e científicas apresentadas, por meio da análise dos resultados.            Discutir sobre soluções e questões pertinentes ao tema, a partir da experiência do processo dos biodigestores.</p>			
PROPOSTAS DE AVALIAÇÃO			
Aplicação de dois questionários (Anexo 4 e 5), contendo um total de quinze questões abertas voltadas ao conteúdo da atividade prática de aula.			

Fonte: autoria própria.

Se tratando de apresentar modelo de planos de ensino experimental de Química com biodigestores didáticos, o processo de confecção deles aborda conceitos do conteúdo teórico de Química, a fim de expor questões pertinentes aos procedimentos químicos, de modo a orientar e coordenar o processo de construção dos biodigestores aos aspectos experimentais de análise. Para isso, deve-se seguir as características de ferramentas didáticas presentes em um planejamento pedagógico experimental como orientação para o desenvolvimento da aula.

Destaca-se que Silva (2019), sugere que o desenvolvimento de metodologias didáticas em sala de aula, onde se é possível provocar questões críticas relacionados ao dia a dia dos estudantes, devem ser discutidos elementos e formas de contribuição para a sua formação e o incentivo a busca por conhecimento e que precisam fazer parte da construção do plano de ensino.

O Plano de Ensino intitulado “Estudo sobre Biodigestores e Ensino Experimental de Química por meio da construção de modelos didáticos” foi validado em etapa única, sendo submetido a um grupo de avaliadores o instrumento de validação (Anexo 6) de plano de ensino experimental (Quadro 4). A validação teve a participação de treze avaliadores. O instrumento de validação contou com quatro seções, expostas a seguir:

Quadro 5 - Validação

1: Perfil do avaliador	(formação; nível de atuação tempo de docência);		
Seção 2: A	Estrutura e Organização	Qualidade/Originalidade	
		Clareza	
Seção 3: B	Conteúdos e Conceitos	Necessidade/Suficiência	
		Contextualização	
		Oportunidade de Discussão	
Seção 4: C	Metodologias de Ensino e Avaliação	Diversificação/Propriedade	
		Adequação/Suficiência	
		Integração	

		Feedback	
--	--	----------	--

Fonte: próprio autor.

Vale lembrar que o desenvolvimento deste modelo de plano de ensino experimental se trata de uma proposta para aplicação, preferencialmente para alunos do Ensino Médio, sendo possível realizar as devidas alterações, caso o professor que o aplique perceba tal necessidade.

### 3.2 INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO: QUESTIONÁRIOS

Um questionário pode buscar resposta a diversos aspectos da realidade. As perguntas, assim, poderão ter, segundo ensina Gil (1999, p. 132), conteúdo sobre fatos, atitudes, comportamentos, sentimentos, padrões de ação, comportamento presente ou passado, entre outros aspectos humanos importantes.

Como método avaliativo da aplicação do plano de ensino experimental, para analisar a eficiência e os impactos gerados nos alunos tem-se como sugestão a aplicação de dois questionários (Anexos 4 e 5), contendo um total de quinze questões abertas voltadas ao conteúdo da atividade prática de aula.

Para a elaboração destes questionários, foram utilizados parâmetros e informações obtidas durante a revisão bibliográfica, além de ter como direcionamento o tema proposto e o conhecimento prévio sobre o assunto.

Como proposta para uma análise comparativa dos questionários anexos deve-se traçar um diagnóstico mais amplo a cerca dos conteúdos do pré e pós questionários e verificar o processo de evolução do aluno após aplicação do plano de ensino experimental com a construção dos biodigestores de bancada.

A não aplicação da pesquisa impossibilita tratar dados acerca dos questionários, mas pode servir como modelo para educadores que busquem aplicar um plano de ensino experimental em sua docência.



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O resultado desse trabalho endossa ainda mais a concepção de que é necessário e urgente à utilização de uma metodologia experimental, interativa, a partir da qual o aluno não tenha que aprender de forma passiva, mas sim de forma participativa e, sempre que possível, colocá-lo como agente de situações práticas para que desempenhe um papel ativo no processo de construção de seu conhecimento, atuando como protagonista diante das situações de aprendizagem.

Com esse intuito essa pesquisa foi realizada, se iniciando em agosto de 2020 com seus principais dados experimentais registrados entre os meses de fevereiro e março de 2021, período que consistiu na pandemia de Covid19 não permitindo a utilização dos laboratórios do Instituto Federal do Espírito Santo (Ifes).

Apesar das várias limitações foi possível construir os três modelos didáticos (Anexos 1, 2 e 3) de biodigestores nas mesmas condições, com 150 g de substrato em cada protótipo, mantidos a temperaturas média de 28 °C, observados durante os períodos de 03 de fevereiro de 2021 a 10 de março de 2021 e por questões de biossegurança sem a adição do inóculo, uma vez que os experimentos foram realizados na residência do estudante.

Dessa forma foi possível acompanhar a evolução do processo de biodigestão ao passar dos dias, observando mudanças como a coloração do substrato e a produção de biogás, através dos métodos qualitativos propostos pelos modelos didáticos.

A Tabela 2 apresenta dados experimentais obtidos através da observação e apontamento dos resultados qualitativos dos experimentos.

Tabela 2 - Resultados dos modelos didáticos propostos 1, 2 e 3

	Massa de substrato	Temperatura (Local: varanda com sol da manhã)	Período de observação	Produção visível de biogás em dias
Protótipo 1	150 g	20°C a 35°C	03 de fevereiro de 2021 a 10 de março de 2021	25
Protótipo 2	150 g	20°C a 35°C	03 de fevereiro de 2021 a 10 de março de 2021	28

Protótipo 3	150 g	20°C a 35°C	03 de fevereiro de 2021 a 10 de março de 2021	27

Fonte: autoria própria

Quanto aos resultados esperados, resultados obtidos e aos conteúdos que cada protótipo de biodigestor pode ser inserido, temos algumas tabelas de apoio apresentadas a seguir:

As tabelas 3, 4 e 5 comparam os resultados esperados com os observados nos experimentos e sugerem conteúdos abordados no ensino médio. Isso pode ajudar professores de química e áreas afins a abordar conteúdos interdisciplinares na escola.

Tabela 3 - Resultados a partir da aplicação de modelo didático 1

<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS</b>	<b>CONTEÚDOS ABORDADOS NO ENSINO MÉDIO</b>
<p>A baixa concentração de oxigênio a biodigestão no recipiente hermeticamente fechado permitiria a produção de biogás por meio de decomposição anaeróbia.</p> <p>O modelo de biodigestor 1 seria capaz de produzir biogás ao encher o recipiente plástico rapidamente após alguns dias de observação.</p>	<p>A produção de biogás ocorreu lentamente comprovando a eficiência de isolamento da garrafa PET.</p> <p>Por razões de biossegurança, o volume de biogás produzido após 25 dias inflou a sacola plástica, muito lentamente, mas servindo de indicador na produção de gás.</p>	<p>Gases ideais: equação geral dos gases ideais, mistura gasosa, transformação gasosa, densidade dos gases, difusão e efusão gasosa.</p> <p>Reutilização de resíduos orgânicos: diferença entre reciclagem, reutilização e reuso.</p> <p>Produção de biogás: biodigestão anaeróbia e reações químicas.</p> <p>Funções orgânicas: hidrocarbonetos, aminas, ácidos carboxílicos e álcoois.</p>

Fonte: própria autoria.

O professor poderia abordar esses pontos do ensino médio ensinando sobre gases ideais, incluindo a equação geral dos gases, mistura gasosa, transformação gasosa, densidade dos gases, difusão e efusão gasosa. Além disso, poderia ensinar sobre a diferença entre reciclagem, reutilização e reuso de resíduos orgânicos, como também sobre a produção de biogás através da biodigestão anaeróbia e reações químicas.

Tabela 4 - Resultados a partir da aplicação de modelo didático 2

RESULTADOS ESPERADOS	RESULTADOS OBTIDOS	CONTEÚDOS DO ENSINO MÉDIO
<p>Devido à presença de bactérias anaeróbias, seria facilmente visualizado a formação de bolhas de gás na solução aquosa de soda cáustica onde está inserida a ponta da mangueira, dentro da garrafa PET.</p> <p>Devido ao estado físico da água com soda e a pressão do biogás, a formação de bolhas permitiria confirmar o sucesso do experimento.</p> <p>As bolhas se dissipariam para a superfície na solução em razão das forças intermoleculares esperadas na preparação da concentração solução de 10% m/m de Hidróxido de Sódio.</p>	<p>Em razão da baixa pressão gasosa do protótipo poucas bolhas foram observadas após 28 dias, no entanto a visualização foi possível.</p> <p>A solução aquosa permitiu visualizar algumas bolhas de gás.</p>	<p>Solubilidade de gases: Fatores que alteram a solubilidade.</p> <p>Ligações químicas: Geometria e polaridade das moléculas e forças intermoleculares.</p> <p>Soluções: Unidades de concentração.</p>

Fonte: própria autoria.

Para o professor se sentir seguro em aplicar esta prática, ele pode se basear nas informações e evidências obtidas nos experimentos, como a presença de bactérias anaeróbias que geram biogás e a visualização das bolhas na solução aquosa de soda cáustica. O professor também pode se certificar que os procedimentos de preparo da solução e as forças intermoleculares estejam de acordo com o esperado. Além disso, é importante que o professor tenha conhecimento sobre os princípios e propriedades envolvidos nessa prática e instrua os alunos adequadamente sobre as medidas de segurança necessárias.

Para saber se é adequado ou necessário usar um indicador no experimento e entender a função do NaOH, seriam necessárias mais informações sobre do experimento e as variáveis envolvidas na produção de biogás. Comparar a solubilidade do CH<sub>4</sub> em água com e sem NaOH poderia ser uma opção interessante

para explorar a influência de diferentes soluções químicas na produção e dissipação de bolhas de gás, mas isso também depende dos objetivos específicos do experimento e das variáveis que estão sendo investigadas. Em geral, é importante que o professor compreenda bem os princípios e propriedades envolvidos no experimento e siga os protocolos de segurança apropriados para garantir que os alunos possam realizar a prática com segurança e de maneira eficaz.

Tabela 5 - Resultados a partir da aplicação de modelo didático 3

<b>RESULTADOS ESPERADOS</b>	<b>RESULTADOS OBTIDOS</b>	<b>CONTEÚDOS DO ENSINO MÉDIO</b>
<p>Seria capaz de produzir um gás a partir da decomposição do material orgânico realizado pelas bactérias anaeróbias.</p> <p>À medida que a válvula fosse aberta e o biogás contendo metano (CH<sub>4</sub>) seria liberado e com o auxílio de um palito fósforo ativa-se a combustão do biogás.</p> <p>A chama se manteria por tempo suficiente para observação da combustão gasosa.</p>	<p>A produção foi testada se sucesso com 20 dias após a confecção do biodigestor, mas somente no 27º dia a chama foi observada.</p> <p>A composição do gás após abertura da válvula permitiu perceber um percentual de metano suficiente para uma reação de combustão.</p> <p>A chama foi observada por aproximadamente 15 segundos.</p>	<p>Matriz energética, energia renovável, biomassa, energias alternativas e poluição ambiental.</p> <p>Reações de combustão completa e incompleta.</p> <p>Termoquímica: Reações exotérmicas, Lei de Hess, energia de ligação.</p> <p>Cálculo estequiométrico</p>

Fonte: própria autoria.

Para aplicar a biosegurança em experimentos práticos de ensino de química, como os descritos, é importante seguir protocolos de segurança adequados, como usar equipamentos de proteção individual (EPIs), como luvas, óculos de proteção e avental, que possam evitar problemas de saúde para os alunos e o professor. Além disso, é importante ter cuidado com substâncias tóxicas, inflamáveis ou explosivas que possam ser usadas no experimento e também é necessário separar corretamente

e descartar os resíduos gerados adequadamente, de acordo com as regulamentações ambientais. Para aprimorar o entendimento dos alunos sobre o experimento, é recomendável explorar a matriz energética, energia renovável, biomassa, energias alternativas e poluição ambiental e destacar as reações de combustão completa e incompleta. Também é relevante explorar o cálculo estequiométrico e a termoquímica, incluindo reações exotérmicas e a lei de Hess, considerando que esses conceitos são importantes para o entendimento completo dos processos químicos envolvidos no experimento.

#### 4.2 RESULTADO DA VALIDAÇÃO DO PLANO EXPERIMENTAL

O Plano de Ensino intitulado “Estudo sobre Biodigestores e Ensino Experimental de Química por meio da construção de modelos didáticos” foi validado em etapa única, sendo submetido a um grupo de avaliadores o instrumento de validação (Anexo 5), apresentado no item 3.1. A validação teve a participação de treze avaliadores. O instrumento de validação contou com quatro seções, expostas a seguir com as respostas obtidas em sequência:

Tabela 6 – Parâmetros da validação

1 Perfil do avaliador	Treze participantes, sendo 61,5% especialistas na área do Ensino de Ciências, atuando no ensino básico (69,2% e ensino superior (23,1%) e com diferentes tempo de docência (menos de cinco anos: 53,9%; mais de cinco anos:46,1%).		
Seção 2: A	Estrutura e Organização	A.1 Qualidade/Originalidade	84,6% avaliaram positivamente 15,4% avaliaram com ressalvas
		A.2 Clareza	53,9% avaliaram positivamente 46,1% avaliaram com ressalvas
Seção 3: B	Conteúdos e Conceitos	B.1 Necessidade/Suficiência	73,9% avaliaram positivamente

			23,1% avaliaram com ressalvas
		B.2 Contextualização	69,3% avaliaram positivamente 30,7% avaliaram com ressalvas
		B.3 Oportunidade de Discussão	84,6% avaliaram positivamente 15,4% avaliaram com ressalvas
Seção 4: C	Metodologias de Ensino e Avaliação	C.1 Diversificação/Propriedade	77,0% avaliaram positivamente 23,0% avaliaram com ressalvas
		C.2 Adequação/Suficiência	76,9% avaliaram positivamente 23,1% avaliaram com ressalvas
		C.3 Integração	38,5% avaliaram positivamente 61,5% avaliaram com ressalvas
		C.4 Feedback	77,0% avaliaram positivamente 23,0% avaliaram com ressalvas

Fonte: autoria própria

Os seguintes quesitos do instrumento de validação tiveram melhor avaliação: A.1 Qualidade/Originalidade; B.1: Necessidade/Suficiência; B.2: Contextualização; B.3: Oportunidade de Discussão; C.1: Diversificação/Propriedade; C.2: Adequação/Suficiência. Os demais quesitos (A.2: Clareza; C.3: Integração) tiveram uma avaliação com ressalvas, carecendo de alguns ajustes. Logo, considera-se que o Plano de Ensino Experimental possa ser adaptado em contextos educacionais que contemplem a temática proposta.

#### 4.3 RESULTADOS ESPERADOS A PARTIR DA APLICAÇÃO DOS QUESTIONÁRIOS DE PRÉ E PÓS TESTES

A biosegurança é um aspecto fundamental em aulas experimentais de química, especialmente quando se trabalha com biodigestores de bancada. Essa prática busca um ensino mais efetivo, onde o aluno aprende tanto na teoria como na prática. No entanto, é importante seguir as medidas de prevenção e controle de riscos durante a realização dessas atividades, garantindo a integridade física e biológica dos alunos e professores.

Dessa forma, o projeto de biodigestores de bancada no ensino de química deve ser organizado a partir de uma abordagem que priorize a segurança. Como o objetivo inicial é a preparação do material biológico a ser utilizado no experimento, é essencial garantir que as amostras estejam livres de contaminantes biológicos e químicos. Além disso, deve haver a preocupação com o uso adequado dos equipamentos de proteção individual (EPIs) pelos alunos e professores, com a adoção de medidas de prevenção de acidentes, como a armazenagem segura e o descarte adequado de materiais químicos e biológicos.

É fundamental destacar que durante o desenvolvimento das aulas experimentais, é necessário um controle rigoroso da temperatura, umidade e das bactérias utilizadas no experimento. Todo o processo de manipulação e armazenagem dos materiais deve seguir uma série de procedimentos seguros, incluindo a esterilização do material biológico e químico antes de serem utilizados na aula experimental.

O biodigestor de bancada, como modelo didático, é uma ferramenta muito interessante para o ensino de química, pois fornece aos alunos a oportunidade de aplicar as teorias estudadas em sala de aula de maneira prática e eficiente. Por fim, é importante destacar que a aplicação da pesquisa e dos projetos experimentais contribuem para o ensino de química em bancada e podem ser utilizados como modelo para educadores que busquem aplicar um plano de ensino experimental em sua docência.

A não aplicação da pesquisa impossibilita tratar dados acerca dos questionários, mas pode servir como modelo para educadores que busquem aplicar um plano de ensino experimental em sua docência.



## 5 CONCLUSÃO

Primordialmente a proposta dessa pesquisa foi à apresentação de um roteiro em etapas detalhadas que permitisse mostrar na prática a construção de três modelos de biodigestor didático, ao passo que seja possível pontuar aspectos didáticos importantes; como a organização individual e em grupo, os objetivos e conteúdos informativos sobre o tema, a confecção do material e a coordenação dos alunos e da aula como um todo. Assim a visualização das etapas de separação do material para elaboração dos protótipos, a construção do biodigestor, a preparação do substrato com resíduos orgânicos, a produção do biogás nos biodigestores e a associação com os conteúdos da Química do Ensino Médio, foram peculiarmente correlacionados ao processo de desenvolvimento de um plano de ensino experimental, onde sempre há grande relevância no estudo científico.

Portanto mesmo que o presente trabalho não tenha sido aplicado em sala de aula, a disciplina de Química por meio do professor replicador tende a obter grandes vantagens quanto a essa metodologia tanto na apresentação quanto na apreciação de um determinado conteúdo como a produção do biogás nos biodigestores didáticos, que por ser um assunto abstrato e sem a capacidade de visualização clara no processo teórico pode comprometer o aprendizado. Neste aspecto o plano de ensino experimental na disciplina de Química para alunos do Ensino Médio precisa estar atento aos detalhes do planejamento e na execução da aula experimental para que cumpra seu objetivo.

Sob o ponto de vista do plano de ensino experimental os três protótipos de biodigestores didáticos, com suas etapas detalhadas de montagem, permitirem ao professor perceber que um manual de construção de biodigestores de bancada é uma ótima opção para; **Seção 4: C - Metodologias de Ensino e Avaliação** determinados casos onde os profissionais necessitam sensibilizar os alunos, ou apresentar o tema a um grande número de indivíduos.

Afinal o estudo da Química experimental empregue em aspectos microscópicos, que quase sempre são subjetivos, como as reações Químicas presentes no processo de decomposição anaeróbia deve permitir ao professor que pretenda utilizar o manual aqui proposto dispor de metodologias práticas aqui esmiuçadas que possam auxiliar o desenvolvimento do ensino-aprendizado em assuntos macroscópicos

contemporâneos como a matriz energética, um tema ambiental que representa algum significado a vida do estudante.

Visto que ao trabalhar a experimentação no ensino da Química atrelada à construção de biodigestores didáticos deva possibilitar ao discente o desenvolvimento de aspectos relacionados ao senso crítico, analítico e argumentativo dos alunos, que a partir da sua construção como indivíduo social, apresenta grande capacitação e potencial de interação e resolução de questões, relativas às ciências da natureza se tornando ativamente questionador.

Ao associar a atividade prática sobre biodigestores com temas do Ensino Médio existe a possibilidade de aplicação dos métodos e estratégias teóricas presentes nesta pesquisa, uma vez que pode ser possível investigar e averiguar na prática a aplicação destas metodologias em momentos diferentes, seguindo o passo a passo apresentado.

Por vezes outro aspecto relevante das aulas experimentais, bastante discriminado na pesquisa, está na compreensão e nos cuidados que o preceptor deve tomar quanto à biossegurança pessoal e coletiva, onde até mesmo a construção de modelos simples como estes, requer uma série de cuidados para preservar a saúde e bem-estar de todos os envolvidos nas atividades.

Em síntese o estudo sobre biodigestores no ensino experimental de química com a proposição de um plano de ensino para a construção de modelos didáticos permite obter dados científicos que podem sugerir ao educador que necessita de uma orientação, que a prática experimental de metodologias, tende a proporcionar uma experiência verdadeiramente eficaz e significativa para o desenvolvimento do aluno.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Célio dos Santos; NEVES, Bianca Ferreira; YAMAGUCHI, Klenicy Kazumy de Lima. Relato de experiência: problemáticas e estratégias para o ensino de Química. **Pensar Acadêmico**, Belo Horizonte, v. 20, n. 1, p. 80-92, 2022.

Disponível

em: <<https://revistas.unisuam.edu.br/index.php/revistaaugustus/issue/download/51/v.30n.57>>. Acesso em: 14 de dez. 2022

ALMEIDA, Renan M. R. V; CASSIMIRO, Márcia de Cássia; DIÓS-BORGES, Marcelle Mourelle Perez. **Políticas de integridade científica, Bioética e Biossegurança no século XXI**. Porto Alegre: Fi, 2017.

ALVES, Laís Hilário; OLIVEIRA, Guilherme Saramago de; SOUSA, Angélica Silva de. A pesquisa bibliográfica: princípios e fundamentos. **Cadernos da FUCAMP**, Monte Carmelo, v. 20, n. 43, 2021. Disponível em:

<<https://revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/issue/view/141>>. Acesso em: 25 de mai. 2022.

AMORIM, André Luiz Fernandes de. **Biodigestão como perspectiva de Encontro aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2020. 209 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente) - Faculdade de ciências - Universidade do Porto, Porto (Portugal). Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/129627/2/425647.pdf>>. Acesso em: 10 de abr. 2022.

ANATEL. **Relatório Anual 2018**. Brasília, DF, 13 de jul. 2018. Disponível em: <[www.anatel.gov.br/institucional/noticias-destaque](http://www.anatel.gov.br/institucional/noticias-destaque)>. Acesso em: 24 de nov. de 2020.

ARRUDA, S. de M.; DA SILVA, M. R.; LABURÚ, C. E. Laboratório didático de Física a partir de uma perspectiva kuhniiana. **Investigações no Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 6, nº 1, p. 97-106, 2001. Disponível em: <<https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/588>>. Acesso em 18 de dez. 2022.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Editora Plátano, 2003.

AUSUBEL, D. P.; HANESIAN, H.; NOVAK, J. D. **Educational psychology: a cognitive view**. 2nd Ed. Nova York: Holt Rinehart and Winston, 1978.

AUSUBEL, D.P.; HANESIAN, H.; NOVAK, J.D. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Ed. Interamericana, 1980.

BACCA, Luiz Antonio Marafon; ZENATTI, Dilcemara Cristina. Estudo de caso: acompanhamento de biodigestor no município de Pato Bragado. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Palhoça, v. 9, p. 586-598, 2020.

BALDACIN, Ana Carolina Stocco; PINTO, Gláucia Maria Ferreira. Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás. **Revista Eletrônica FACP**, São Paulo, v. 7, p. 1-47, 2015.

BARANA, Ana Claudia. **Avaliação de tratamento de manureira em biodigestores fase acidogênica e metanogênica**. 2000. 105 f. Tese (Doutorado em Energia da Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/101954>>. Acesso em: 12 de dez. 2022.

BARRERA, Paulo. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. São Paulo: Ícone, 1993.

BELLI FILHO, P.; DE OLIVIERA PINTO, R.; KOERICH, K.; GERSON MATIAS, W.; MOREIRA SOARES, H. Lodos de tanques sépticos. Caracterização e tratamento anaeróbio em um Digestor Piloto. *In*: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 29., 2004. San Juan. **Anais**: San Juan: Aidis, p. 1-7, 2004.

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

BRETES, Susana; CORREIA, Marisa. Conceções e práticas de educadores de infância e de professores do 1º ciclo acerca do ensino experimental das ciências. **Revista da UIIPS - Unidade de Investigação do Instituto Politécnico de Santarém**, Santarém (Portugal), v. 6, n. 1, p. 21-36, 2018. Disponível em: <<https://revistas.rcaap.pt/uiips/article/view/16104>>. Acesso em: 20 de jan. 2022.

BROIETTI, Fabiele Cristiane Dias; SOUZA, Andriele Coraiola. Planejamento de aulas experimentais de química: um estudo na formação inicial. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 23, n. 3, p. 187, 2018. Disponível em: <<https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/1160>>. Acesso em: 27 de mar. 2022.

BUSTAMANTE, Maria Angele *et al.* Mesophilic anaerobic digestion of pig slurry and fruit and vegetable waste: dissection of the microbial community structure. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 156, p. 757- 765, 2017.

COPPI, Eliseu Paulo; MORO, Fernanda Teresa; PRSYBYCIEM, Moises Marques. Construção de um biodigestor: uma proposta de ensino interdisciplinar para escolas do campo. **Revista Insignare Scientia - RIS**, Chapecó, v. 2, n. 1, p. 104-115, 2019. Disponível em: <<https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/RIS/article/view/10749>>. Acesso em: 10 de set. 2022.

COSTA, Anderson; LIMA, Alessandra Estrela da Silva; SOTO, F. R. Martin. Reciclagem biológica do fósforo a partir do efluente suíno originário da biodigestão anaeróbia: uma revisão. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba (Argentina), v. 69, n. 268, p. 486-492, 2020. Disponível em: <<https://www.uco.es/ucopress/az/index.php/az/article/download/5397/3413>>. Acesso em: 15 de jul. 2022.

COSTA, Marco Antonio *et al.* Discussão de controvérsias sociocientíficas em sala de aula: o ensino da biossegurança em foco. **Revista Práxis**, Volta Redonda, v. 10, n. 19, 2018. Disponível em: <<https://revistas.unifoa.edu.br/praxis/article/view/743>>. Acesso em: 05 de ago. 2022.

COSTA, Marco Antonio Ferreira da; COSTA, Maria de Fátima Barrozo da. Educação e competências em biossegurança. **Revista Brasileira de Educação Médica**, Brasília, v. 28, p. 46-50, 2020. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbem/a/nJymkjFTMX39ktNnhJmNhdc/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 20 de abr. 2022.

COSTA, Marco Antônio Ferreira da; COSTA, Maria de Fátima Barrozo. Laboratórios didáticos de química: de Liebig (1803-1873) aos processos de qualidade e biossegurança no séc. XX. **Revista Ciências & Ideias**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, p. 39-59, 2018.

CREMONEZ, Paulo André *et al.* Biodigestão anaeróbia no tratamento de resíduos lignocelulósicos. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, v. 2, p. 21-35, 2013.

CUEVAS, Ana Letícia Yegros; FREITAS, Flávio Ferreira; FURTADO, Andreia Cristina. Construção de um biodigestor didático para a Estação Ciências do Parque Tecnológico de Itaipu. **Revista Brasileira de Extensão Universitária**, Chapecó, v. 9, n. 2, p. 65-74, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufes.br/index.php/RBEU/article/view/7689>>. Acesso em: 06 de jul. 2021.

DEL PINO, José Cláudio; MOURA, Paulo Rogerio Garcez de; SILVA, André Luís Silva da. Atividade Experimental Problematizada (AEP) como uma estratégia pedagógica para o ensino de ciências: aportes teóricos, metodológicos e exemplificação. **Experiências em Ensino de Ciências**, Cuiabá, v. 12, n. 5, p. 177-195, 2017. Disponível em: <[https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo\\_ID386/v12\\_n5\\_a2017.pdf](https://if.ufmt.br/eenci/artigos/Artigo_ID386/v12_n5_a2017.pdf)>. Acesso em: 09 de set. 2022.

DEUBLEINB, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from waste and renewable resources: an introduction**. Weinheim (Alemanha): WILEY-VCH Verlag GmbH, 2008.

DORNELAS, Karoline Carvalho *et al.* A biodigestão como ferramenta para a sustentabilidade avícola - Uma revisão. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 12, p. e38101220042, 2021. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/20042/17950/244902>>. Acesso em: 05 de jun. 2021.

EDUVIRGEM, Renan Valério *et al.* A preparação de uma equipe do projeto rondon: na perspectiva dos elementos positivos. **Extensio - Revista Eletrônica de Extensão**, Florianópolis, v. 14, n. 25, p. 203-210, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/extensio/article/view/1807-0221.2017v14n25p203>>. Acesso em: 14 de nov. 2020.

ESTEVEES, Warlle de Almeida; SILVA, Marcelo Castanheira da. Uso de laboratórios caseiros e apostila experimental para o ensino de física: use of home laboratories and experimental textbook for physics teaching. **Caderno de Física da UEFS**, Feira de Santana, v. 20, n. 02, p. 2501, 1-17, 2022.

FARIAS, Sidilene Aquino de; MENEZES, Jean Michel dos Santos. O desenvolvimento de argumentação e mobilização de conceitos químicos por meio da Atividade Experimental Investigativa. **Revista Virtual de Química**, Niterói, v. 12, n. 1, p. 223-233, 2020. Disponível em: <[http://rvq.s bq.org.br/audiencia\\_pdf.asp?aid2=1161&nomeArquivo=v12n1a17.pdf](http://rvq.s bq.org.br/audiencia_pdf.asp?aid2=1161&nomeArquivo=v12n1a17.pdf)>. Acesso em: 12 de dez. 2021.

FERNANDES, Julys Pablo Atayde. **Instrumentação eletrônica com materiais alternativos para aulas experimentais de Química**: uma revisão integrativa. 2020. 42 f. Dissertação (Licenciado em Química) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/19215/1/JPAF11012021.pdf>>. Acesso em: 12 de dez. 2021.

FERNANDES, Victor Lucas *et al.* Bancada didática de biodigestão anaeróbia. **Anais do EVINCI - UniBrasil**, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 357-357, 2021. Disponível em: <<https://portaldeperiodicos.unibrasil.com.br/index.php/anaisvinci/article/view/5497>>. Acesso em: 15 de mar. 2022.

FERRAREZ, Adriano Henrique. Construção de digestores anaeróbicos demonstrativos com materiais de baixo custo. **RedBioLac**, Montevideo, ed. 4, p. 4-8, 2020. Disponível em: <<http://redbiolac.org/wp-content/uploads/2020/12/RedBioLAC-2020-3M.pdf>>. Acesso em: 23 de jul. 2021.

FERREIRA, Davi Souza *et al.* Ciências no nono ano do ensino fundamental: introdução do ensino de química por meio de atividades experimentais. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 6, n. 12, p. 100041-100049, 2020. Disponível em: <<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/21900>>. Acesso em: 20 de abr. 2021.

FERREIRA, Luiz Henrique; HARTWIG, Dácio Rodney; OLIVEIRA, Ricardo Castro de. Ensino experimental de química: uma abordagem investigativa contextualizada. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 101-106, 2010. Disponível em: <[http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc32\\_2/](http://qnesc.s bq.org.br/online/qnesc32_2/)>. Acesso em: 20 de fev. 2021.

FERREIRA, Silvana Alves *et al.* Biossegurança em laboratório: grau de importância na visão dos alunos do curso de licenciatura em química da UECE, Campus Tauá-CE (CECITEC). **Essentia - Revista de Cultura, Ciência e Tecnologia da UVA**, Sobral, v. 19, n. 1, 2018.

FILHO, Jorge Ricardo Almeida de Souza; VASCONCELOS, Ana Karine Portela. Atividade experimental como ferramenta educacional no ensino de química no

ensino médio: uma proposta de ensino. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 8, n. 7, p. e48871162, 2019. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/journal/5606/560662198049/560662198049.pdf>>. Acesso em: 20 de nov. 2020.

FLORCZAK, Marcos Antonio; KRELLING, Ligia Marcelino; SILVA, Zenilda Ribeiro. Biodigestores como ferramenta para um ensino integrador. **Revista Faz Ciência**, Francisco Beltrão, v. 20, n. 31, p. 109-125, 2019. Disponível em: <<https://e-revista.unioeste.br/index.php/fazciencia/article/view/21069>>. Acesso em: 20 de abr. 2022.

FRANCISCO, Gildete da S. Amorim Mendes *et al.* A importância da capacitação em biossegurança para profissionais surdos: avaliação e propostas. **Revista Espaço**, Rio de Janeiro, n. 52, jul.-dez. 2020. Disponível em: <<https://seer.ines.gov.br/index.php/revista-espaco/article/download/1539/1474/4410>>. Acesso em: 02 de fev. 2022.

GODOI, Marcelo de; ROSA, Luiz Fernando Eltz da. Desenvolvimento de atividades experimentais para aulas de química no 3º ano do ensino médio noturno. **Encontro sobre Investigação na Escola**, Chapecó, v. 16, n. 1, 2020. Disponível em: <<https://portaleventos.ufrs.edu.br/index.php/EIE/article/view/15165>>. Acesso em: 20 de nov. 2020.

GOMES, Jeames Oliveira *et al.* Estudo das propriedades do metano a partir do biodigestor: ferramenta mediadora desenvolvida nas aulas de química: study of methane properties from the biodigester: mediating tool developed in chemistry classes. **Brazilian Journal of Development**, São Paulo, v. 8, n. 10, p. 65788-65803, 2022.

GONZÁLEZ, Erika Tatiana; JURADO, Paula Catalina. Sustratos y producción de biogás en biodigestores. Una revisión sistemática. **Ingeciencia**, Bogotá, v. 2, n. 1, p. 44-64, 2017. Disponível em: <[https://editorial.ucentral.edu.co/ojs\\_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/2352](https://editorial.ucentral.edu.co/ojs_uc/index.php/Ingeciencia/article/view/2352)>. Acesso em: 20 de abr. 2021.

GRANATO, Eder Fonzar. **Geração de energia através da biodigestão anaeróbica da vinhaça**. 2003. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Bauru, Bauru. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/90820>>. Acesso em: 20 de abr. 2021.

JARDIM, Roberto Nicolas. **Modelagem matemática de um processo industrial de produção de cloro e soda por eletrólise de salmoura visando sua otimização**. 2006. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo.

JUNQUEIRA, SLCD. **Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na Fazenda Aterrado**. 2014. 55 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Universidade do Rio Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica DEM/POLI/UFRJ, Rio de Janeiro.

KRETZER, Stéfano Gomes; NAGAOKA, Alberto Kazushi. **Produção de biogás com diferentes resíduos orgânicos de restaurante universitário**. 2017. 14 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Florianópolis. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/174375/TCC-ST%C3%89FANO%20GOMES%20KRETZER.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 20 de nov. 2020.

LEITE, Sibele Augusta Ferreira. **Investigação da biodigestão anaeróbia de efluente de suinocultura e casca de arroz**. 2019. 161 f. Tese (Doutorado Engenharia Química) - Universidade Estadual de Campinas, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1088677>>. Acesso em: 13 de ago. 2021.

LIMA, Ana Katerine de Carvalho; SANTOS, Raimar Barbosa. Análise comparativa do biogás: processo em biodigestores e de aterro sanitário. **Revista eletrônica de energia**, Salvador, v. 6, n. 1, 2017. Disponível em: <<https://revistas.unifacs.br/index.php/ree/article/download/4285/3062>>. Acesso em: 20 de jul. 2021.

LIMA, Cerilio Barbosa de. **Uso de técnicas de desenho e animação para o ensino de Química aos educandos indígenas fundamento no princípio de reações Químicas do biodigestor**. 2018. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura do curso Interdisciplinar em Educação do Campo) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2018. Disponível em: <<https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/2740/1/LIMA.pdf> >. Acesso em: 13 de jun. 2021.

LIMA, Kênio Erithon Cavalcante. A concepção de licenciandos sobre a biossegurança na atuação docente para o ensino prático de ciências e biologia. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, Florianópolis, v. 10, n. 1, p. 97-118, 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/318484468\\_A\\_concepcao\\_de\\_licenciandos\\_sobre\\_a\\_biosseguranca\\_na\\_atuacao\\_docente\\_para\\_o\\_ensino\\_pratico\\_de\\_ciencias\\_e\\_biologia](https://www.researchgate.net/publication/318484468_A_concepcao_de_licenciandos_sobre_a_biosseguranca_na_atuacao_docente_para_o_ensino_pratico_de_ciencias_e_biologia) >. Acesso em: 20 de abr. 2021.

LISBÔA, Julio Cezar Foschini. QNEsc e a seção experimentação no ensino de Química. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 37, n. 2, p. 198-202, 2015. Disponível em: <[http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc37\\_especial\\_2/16-EEQ-100-15.pdf](http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc37_especial_2/16-EEQ-100-15.pdf)>. Acesso em: 20 de jan. 2022.

LUCA, Anelise Grünfeld de *et al.* Episódio histórico de Louis Pasteur: uma proposta interdisciplinar para o ensino de química, física e biologia. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**, São Paulo, v. 17, p. 81-98, 2018.

LUSTOSA, Gleidson Neres; MEDEIROS, Ícaro Hendrix Borges de. **Proposta de um biodigestor anaeróbio modificado para produção de biogás e biofertilizante a partir de resíduos sólidos orgânicos**. 2014. 74 f. Monografia de Projeto Final (Departamento de Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, DF. Disponível em: <



[https://bdm.unb.br/bitstream/10483/12346/1/2014\\_GleidsonNeresLustosa\\_IcaroHendrixBorgesdeMedeiros.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/12346/1/2014_GleidsonNeresLustosa_IcaroHendrixBorgesdeMedeiros.pdf) >. Acesso em: 08 de dez. 2020.

MACHADO, Francisca Lívia de Oliveira *et al.* Valorização dos resíduos orgânicos através da biodigestão anaeróbia com a utilização da análise multivariada. **Brazilian Journal of Development**, São José dos Pinhais, v. 7, n. 1, p. 4893-4903, 2021. Disponível em: <[https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/69331/1/2021\\_art\\_rstefanutti.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/69331/1/2021_art_rstefanutti.pdf)>. Acesso em: 08 de dez. 2020.

MAGALHÃES, Agenor Portelli Teixeira. **Biogás**: um projeto de saneamento urbano. São Paulo: Nobel, 1986, p. 120.

MAIA, Silmaria Katiúscia Barros *et al.* Saberes científicos, técnicas e experiências sociais: caminhos para a construção de tecnologias sociais sustentáveis. **Revista Pensar Geografia**, Mossoró, v. 3, n. 1, p. 2-9, 2019. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/campoterritorio/article/download/58351/32975/277498>>. Acesso em: 08 de dez. 2020.

MONTEIRO, Miriam da Glória Seoldo Ferreira; RODRIGUES, Denise Celeste Godoy de Andrade. Percepção de estudantes de uma instituição de ensino superior acerca da biossegurança. **Ensino, Saúde e Ambiente**, Niterói, v. 11, n. 3, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.22409/resa2018.v11i3.a21514>>. Acesso em: 08 de dez. 2020.

MOREIRA, Jackeline da Rosa. **Potencialidade de um plano de ensino pautado na atividade experimental problematizada (AEP) à alfabetização científica em Química**. 2017. 36 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas – Química), Universidade Federal do Pampa, Caçapava do Sul, 2017. Disponível em: <<https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/180/159>>. Acesso em: 15 de nov. 2021.

MOREIRA, Marco Antonio. O que é afinal Aprendizagem Significativa? **Qurrriculum**, La Laguna (Espanha), nº 25, p. 29-56, 2012.

MOREIRA, Marco Antonio. **A teoria da Aprendizagem Significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília/DF: UnB, 2006.

MOURA, Paulo Rogério Garcez de; NOGARA, Pablo Andrei; SILVA, André Luís Silva da. Um modelo de sistematização à experimentação no ensino de ciências: Atividade Experimental Problematizada (AEP). **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 7, p. e187974012, 2020. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/download/4012/3342/18964>>. Acesso em: 15 de nov. 2021.

MUSSI, Ricardo Franklin de Freitas *et al.* Pesquisa quantitativa e/ou qualitativa: distanciamentos, aproximações e possibilidades. **Revista Sustinere**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 414-430, 2019. Disponível em: <<https://www.e->

publicacoes.uerj.br/index.php/sustinere/article/view/41193/32038>. Acesso em: 15 de nov. 2021.

NASCIMENTO, Jailson Barbosa do. **Biodigestor de bancada para produção de biogás a partir de vinhaça: uma proposta para aulas experimentais**. 2019. 38 f. Dissertação (Grau de Tecnólogo em Produção Sucroalcooleira) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2019. Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/16004/1/JBN08102019.pdf>>. Acesso em: 12 de jun. 2021.

NEPPA. Núcleo de Estudo e Pesquisa em Produção Animal. **Manual de Biodigestão**, 2015. Disponível em: <[http://www.neppa.uneb.br/textos/publicacoes/manuais/manual\\_biodigestor\\_winrock.pdf](http://www.neppa.uneb.br/textos/publicacoes/manuais/manual_biodigestor_winrock.pdf)>. Acesso em: 17 de jan. 2021.

NISHIMURA, R. **Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos**: implementação de aplicativo computacional. 2009. f. 84. Dissertação (mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Acesso em: 20 jan. 2015.

NOVAK, Joseph D. **Teoría y práctica de la educación**. Madri (Espanha): Alianza Editorial, 1997.

OLIVEIRA, Haroldo G. *et al.* Energia, sociedade e meio ambiente no desenvolvimento de um biodigestor: a interdisciplinaridade e a tecnologia arduino para atividades investigativas. **Química Nova Escola**, São Paulo, v. 40, n. 3, p. 144-152, 2018. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/artigos/03-QS-68-17.pdf>>. Acesso em: 12 de jun. 2021.

PAIVA, Segundo. Metalurgia do ferro em África: a Lei 10.639/03 no ensino de química. **Química Nova Escola**, São Paulo, v. 43, n. 4, p. 390-400, 2021. Disponível em: <[http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc43\\_4/09-EQF-64-20.pdf](http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc43_4/09-EQF-64-20.pdf)>. Acesso em: 12 de jun. 2021.

PENTEADO, Mauricio Cabral *et al.* Análise do potencial de geração de biogás a partir da biodigestão anaeróbia da vinhaça e bagaço de cana. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 26-33, 2017. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-13042017-145118/publico/tese\\_Fuess\\_LT\\_versao\\_corrigida.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-13042017-145118/publico/tese_Fuess_LT_versao_corrigida.pdf)>. Acesso em: 17 de ago. 2021.

PENTEADO, Maurício Cabral *et al.* Potencial energético do biogás gerado a partir da biodigestão de resíduos do processamento industrial de erva-mate. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica**, Cidade do México, v. 14, n. 2, 2021. Disponível em: <<https://www.revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/72889>>. Acesso em: 11 de jul. 2021.

PEREIRA, Maria Eveline de Castro *et al.* A importância da abordagem contextual no ensino de biossegurança. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 6, p. 1643-1648, 2012.

PEREIRA, Ademir de Souza *et al.* A utilização de um microbiodigestor como recurso didático no ensino de Química. **Revista Insignare Scientia - RIS**, Chapecó, v. 5, n. 1, p. 525-540, 2022. Disponível em: <<https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/RIS/article/download/12638/8454/>>. Acesso em: 12 de jun. 2021.

ROCHA, Leandra Protázio da *et al.* **Abordagem experimental com o uso de biogás proveniente de casca de produtos naturais**. 2021. 20 f. Monografia (Licenciatura em Ciências: Biologia e Química) - Universidade Federal do Amazonas, Coari. Disponível em: <[https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/5950/4/TCC\\_LeandraProtazio.pdf](https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/5950/4/TCC_LeandraProtazio.pdf) >. Acesso em: 12 de jun. 2021.

SANTOS, Carlos Alberto dos; VALEIRAS, Nora. Currículo interdisciplinar para licenciatura em ciências da natureza. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 36, p. 1-12, 2014.

SANTOS, Hellen Paula Alcântara dos *et al.* A importância da biossegurança no laboratório clínico de biomedicina. **Revista Saúde em Foco**, Teresina, v. 11, n. 1, p. 210-225, 2019. Disponível em: <[https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2019/02/017\\_A-IMPORT%C3%82NCIA-DA-BIOSSEGURAN%C3%87A-NO-LABORAT%C3%93RIO-CL%C3%8DNICO-DE-BIOMEDICINA.pdf](https://portal.unisepe.com.br/unifia/wp-content/uploads/sites/10001/2019/02/017_A-IMPORT%C3%82NCIA-DA-BIOSSEGURAN%C3%87A-NO-LABORAT%C3%93RIO-CL%C3%8DNICO-DE-BIOMEDICINA.pdf) >. Acesso em: 12 de mar. 2022.

SCHUMACHER, Stefani Fernanda *et al.* **Práticas de segurança dos profissionais de nível superior em um hospital-escola no sul do Brasil e proposição de um plano de nível profissional**. 2019. 56 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciências da Saúde) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019. Disponível em: <[https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/22075/DIS\\_PPGCS\\_2019\\_SCHUMACHER\\_STEFANI.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/22075/DIS_PPGCS_2019_SCHUMACHER_STEFANI.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 07 de ago. 2020.

SILVA, Antonio Joélio Alves da; SOARES JR, Antônio L.; VIEIRA, Andreia A. Atividades experimentais de química no ensino da EJA. **Experiências em ensino de ciências**, Cuiabá, v. 13, n. 4, p. 49-63, 2018. Disponível em: <<https://www.resenhacritica.com.br/todas-as-categorias/experiencias-em-ensino-de-ciencias-cuiaba-v-13-n-3-2018/>>. Acesso em: 12 de jun. 2022.

SILVA, Francine Cristina *et al.* Adequação de protocolos de biossegurança em farmácia de manipulação do interior da Bahia com base na RDC 67/2007. **Revista Eletrônica de Farmácia**, Goiânia, v. 10, n. 2, p. 23-23, 2013.

SILVA, Gisely Alves da. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos e lodo de esgoto**. 2017. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/25299/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O%20Gisely%20Alves%20da%20Silva.pdf>>. Acesso em: 12 de jun. 2021.

SILVA, Gustavo Oliveira Barboza da. **Experimentação no ensino de Química: uma proposta para o ensino utilizando o tema alimentos**. 2015. 42 f. Dissertação (Ensino

de Química) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015. Disponível em: <[https://bdm.unb.br/bitstream/10483/12708/1/2015\\_GustavoOliveiraBarbosaDaSilva.pdf](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/12708/1/2015_GustavoOliveiraBarbosaDaSilva.pdf)>. Acesso em: 12 de fev. 2022.

SILVA, Karoliny Simões *et al.* **Práticas sustentáveis e contextualizadas para o ensino de química**: uma análise a partir de revisão bibliográfica. 2020. 41 f. Monografia (Especialista em Formação de Professores e Práticas Educativas) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/1767/1/TCC-Karoliny%20final.pdf>>. Acesso em: 12 de jun. 2022.

SILVA; Leandro Cesar Santos da. **Resolução de problemas na licenciatura em Química**: análise de uma sequência didática sobre biogás a partir da teoria da assimilação das ações por etapas de Galperin. 2019. 159 f. Dissertação (Mestrado em Ensino das Ciências) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. Disponível em: <<https://ww2.ppgec.ufrpe.br/sites/default/files/testes-dissertacoes/Resolu%C3%A7%C3%A3o%20de%20problemas%20na%20Licenciatura%20em%20Qu%C3%ADmica-%20an%C3%A1lise%20de%20uma%20sequ%C3%Aancia%20did%C3%A1tica%20sobre%20biog%C3%A1s%20a%20partir%20da%20Teoria%20da%20Assimila%C3%A7%C3%A3.pdf>>. Acesso em: 18 de mai. 2022.

SILVA, Marline Ilha da. **Modelagem e simulação numérica do processo de digestão anaeróbia**. 2019. 139 f. Tese (Doutorado em Matemática Aplicada) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Matemática e Estatística, Porto Alegre. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/198627>>. Acesso em: 15 de ago. 2021.

SILVA, Zenilda Ribeiro da. **O ensino de ecologia mediado pelo conceito unificador energia**: o biodigestor enquanto modelo didático para uma abordagem interdisciplinar. 2015. 160 f. Dissertação (Mestrado em Formação Científica, Educacional e Tecnológica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba.

FEIDEN, Armin; SOARES, Caroline Monique Tietz; TAVARES, Sidnei Gregorio. Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás. **Nativa**, Cuiabá, v. 5, p. 522-528, 2017.

TELLES, Gabriela Pinheiro *et al.* **Construção de um mini-biodigestor para fins didáticos**. 2017. 120 f. Monografia (Bacharel em Engenharia de Energia) - Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados. Disponível em: <<https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/3950/1/GabrielaPinheiroTelles.pdf>>. Acesso em: 12 de jun. 2021.

TEPERINO, Daniel Pereira Muniz *et al.* Desenvolvimento de digestor anaeróbio didático e testes de produção de biogás com resíduos da bovinocultura e cafeicultura. **Acta Biomedica Brasiliensia**, Santo Antônio de Pádua, v. 8, n. 2, p. 57-70, 2017. Disponível em: <<file:///C:/Users/Admin/Downloads/Dialnet-DesenvolvimentoDeDigestorAnaerobioDidaticoETestesD-6234472.pdf>>. Acesso em: 14 de fev. 2022.

TRAVERSI, Gabriela Soares *et al.* Concepções de um grupo de professores de ciências de escolas públicas de Pelotas/RS sobre ensino experimental. **Revista Educar Mais**, Joinville, v. 3, n. 1, p. 69-78, 2019. Disponível em: < file:///C:/Users/Admin/Downloads/flavioabib,+1396-5745-1-RV-+DIAGRAMADO.pdf >. Acesso em: 10 de jun. 2022.

WEBER, Karen Cacilda *et al.* Vivenciando a prática docente em química por meio do Pibid: introdução de atividades experimentais em escolas públicas. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, Brasília, v. 8, n. 2, 2012.

## ANEXOS

### ANEXO 1 – Roteiro para construção do Modelo Didático 1

#### 1 – Materiais para construção

Os materiais e reagentes utilizados para montagem do biodigestor foram obtidos a partir de compra em comércio local ou doação.

**Materiais:** 4 garrafas PET de 2 litros; 1 m de mangueira plástica utilizada em chuveiro elétrico; válvula registro de filtro de água; ponteira de aço; braçadeira de aço e sacola plástica ou bexiga látex pequena.

**Reagentes:** 1 l de NaOH comercial.

**Material auxiliar:** tesoura, alicate, chave de fenda, fita vedante, silicone transparente, cola de cano, serra portátil, funil de plástico e liquidificador.

A Figura 1 ilustra a etapa de montagem do modelo 1.

Figura 1 – Materiais utilizados na montagem do modelo de biodigestor 1



Fonte: própria autoria.

2 – Biomassa (Substrato) utilizado para na montagem do modelo didático 1  
Preparo do substrato:

- a. Foram pesados e após triturados em liquidificador 400 g de material orgânico obtido em feira local: cascas de banana, cenoura, tomate, brócolis, batata e maçã, conforme mostra a Figura 2;
- b. Adicionou-se 40 mL de água à mistura;
- c. Após homogeneizado o substrato foi inserido no modelo 1, conforme mostra a Figura 3.

Figura 2 – Preparo do substrato no liquidificador



Fonte: própria autoria.

Figura 3 – Transferência do substrato para o modelo 1



Fonte: própria autoria.

### 3 – Roteiro para montagem do Modelo Didático 1

A construção deste biodigestor contempla as seguintes etapas:

Etapa 1: A confecção deste modelo conta com a utilização de uma mangueira introduzida e vedada com silicone na parte superior da tampa da garrafa PET.

Etapa 2: Em seguida a mangueira é encaixada por meio de fita vedante e silicone a uma das pontas da mesma mangueira com um recipiente. O uso da fita isolante e da braçadeira de aço são necessários para pressionar a sacola plástica.

Etapa 3: Após a verificação das condições de isolamento em ambas as pontas da mangueira, a garrafa PET é preenchida com uma amostra de 150g do substrato preparado na etapa anterior.

Etapa 4: Em seguida o recipiente é vedado novamente com a tampa, de forma cuidadosa.

Etapa 5: Verificar ao longo de um período de 7 dias se a sacola plástica sofreu alteração de tamanho, indicando que o gás formado está sendo coletado no aparato.

A Figura 4 mostra o modelo didático 1 após sua montagem e transferência do substrato.



Figura 4 – Modelo de biodigestor didático 1 após montagem



Fonte: própria autoria.

#### 4 - Recomendações quanto a execução dos procedimentos experimentais:

- a. O professor deve planejar a forma com que será confeccionado o modelo, sendo recomendado que ele se posicione em uma local da sala de aula, onde todos os alunos tenham visibilidade clara sobre o passo a passo da construção do biodigestor, bem como que sejam capazes de ouvir e participar da explicação realizada de forma oral durante o manuseio de cada material durante o processo;
- b. O processo de montagem do modelo didático deve ser acompanhado de uma explicação questionadora do conteúdo sobre biodigestores voltado a disciplina de química e/ou os conteúdos interdisciplinares da escolha do professor, mantendo menções sobre os cuidados necessários com biossegurança em cada passo da construção do modelo;
- c. Para coordenação de forma favorável e segura da turma, o professor deve orientar o distanciamento em determinados passos da confecção do modelo, sendo possível organizar os alunos de modo individual, duplas, trios ou grupos de forma unidirecional a frente da bancada onde será desenvolvida a construção do biodigestor, ou circular ao redor do local.

## **ANEXO 2 – Roteiro para construção do Modelo de Didático 2**

Os materiais, reagentes e biomassa utilizados para a construção deste modelo didático, bem como as recomendações quanto aos procedimentos experimentais durante a execução, segue o mesmo apresentado nos itens 1, 2 e 4, respectivamente, do Anexo 1.

### **1 – Roteiro para montagem do Modelo Didático 2**

A construção deste biodigestor contempla as seguintes etapas:

Etapa 1: Com a utilização da ponteira de ferro superaquecida, devem ser realizadas perfurações na parte superior da tampa de ambas as garrafas PET e aguardar até que a mesma tenha resfriado a ponto de ser possível a introdução da mangueira;

Etapa 2: Neste ponto uma das mangueiras deve ser introduzida com uma parte curta dentro de um dos recipientes, enquanto no outro uma parte mais longa;

Etapa 3: Após colocar a mangueira segundo estes parâmetros ela deve ser fixada de forma a impedir que ocorra vazamento de gás, através do auxílio de materiais de suporte como fita vedante, silicone transparente e cola de cano;

Etapa 4: Em seguida se deve colocar uma amostra de 150g do substrato em uma das garrafas enquanto na outra é necessário colocar uma medida de aproximadamente um 0,5 litro de solução aquosa de soda cáustica (NaOH) a aproximadamente 10% de concentração (m/m).

A Figura 5 mostra o modelo didático 2 após sua montagem e transferência do substrato.

Figura 1 - Modelo de biodigestor didático 2 após montagem



Fonte: própria autoria.

### **ANEXO 3 – Roteiro para construção do Modelo Didático 3**

Os materiais, reagentes e biomassa utilizados para a construção deste modelo didático, bem como as recomendações quanto aos procedimentos experimentais durante a execução, segue o mesmo apresentado nos itens 1, 2 e 4, respectivamente, do Anexo 1.

#### **1 – Roteiro para a montagem do Modelo Didático 3**

A construção deste biodigestor contempla as seguintes etapas:

Etapa 1: a montagem básica deste modelo segue o mesmo princípio do Modelo Didático 1 diferenciando no material e maneira de visualizar qualitativamente a produção de biogás, diferenciando na quantidade de biomassa utilizada, que este modelo conta com 150g de substrato;

Etapa 2: Deve-se fechar o registro, com apoio da fita vedante, silicone transparente e cola de cano, fixar a sua estrutura na abertura do recipiente;

Etapa 3: Na ponta do registro se deve realizar a fixação da mangueira com os mesmos materiais de apoio disponíveis, sem que ocorra a vedação da passagem de gás;

Etapa 4: Após este procedimento é necessário tratar com material de isolamento térmico a outra ponta da mangueira, sem que interrompa a passagem de gás;

Etapa 5: a visualização qualitativa do gás se dá pela abertura da válvula após 5 dias de iniciado o processo e imediata queima do gás, possibilitando a visualização da chama produzida pelo gás inflamável.

A Figura 6 mostra o modelo didático 3 após sua montagem e transferência do substrato.

Figura 1 - Modelo de biodigestor didático 3 após montagem



Fonte: própria autoria.

**ANEXO 4 – Proposta de modelo de questionário avaliativo (pré-teste)**

1) O que é um biodigestor?


2) Qual o nome do principal componente do biogás?


3) A reciclagem e a reutilização possuem o mesmo significado?


4) O biogás pode ser utilizado para quais finalidades?


5) Sabemos que no Brasil existem usinas hidrelétricas, termelétricas, nucleares, solares e eólicas. O gás produzido nos biodigestores poderia ser utilizado em qual usina?


6) O termo energia renovável e biomassa é de seu conhecimento? Exemplifique.


7) Assinale a sua área de conhecimento no Novo Ensino Médio.

- Ciências Humanas e suas Tecnologias.
- Ciências das Linguagens, Códigos e suas Tecnologias.
- Ciências da Natureza e suas Tecnologias.
- Matemática e suas Tecnologias.

**ANEXO 5 – Proposta de modelo de questionário avaliativo – pós-experimentos**

1) Qual o modelo de biodigestor confeccionado mais te chamou a atenção? Por quê?


2) A produção gasosa foi visualizada em todos os protótipos? Explique.


3) Todas as bactérias são patogênicas, ou seja, provocam doenças? Explique.


4) Em qual modelo de biodigestor é possível perceber que há um gás inflamável com potencial energético? Explique como poderia ser utilizada essa energia.


5) A produção de biogás em biodigestores de pequeno e médio porte podem contribuir para a redução no consumo de derivados do petróleo? Justifique.


6) Cite 3 impactos ambientais gerados pelos resíduos descartados incorretamente no meio ambiente?




7) Dentre os assuntos químicos relacionados à aula prática cite um que mais te chamou atenção? Ex: Gases, estados físicos da matéria, reutilização de resíduos, poluição ambiental ou energia renovável.


8) Dê 3 funções orgânicas presentes nas reações que ocorrem no interior do biodigestor?


## ANEXO 6 – Instrumento de validação de plano de ensino experimental

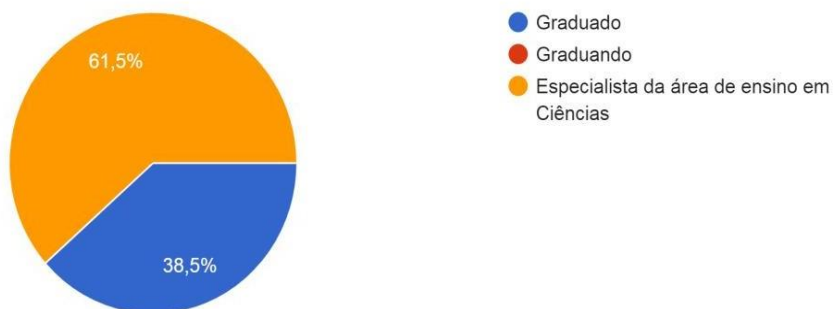
A validação foi realizada no período entre 21 e 25 de abril de 2023 e teve a participação de treze avaliadores. O instrumento de validação contou com quatro seções, expostas a seguir com as respostas obtidas em sequência.

### Seção 1: Perfil do avaliador

#### 1. Formação do avaliador

- Graduado
- Graduando
- Especialista da área de ensino de Ciências

Formação do avaliador  
13 respostas



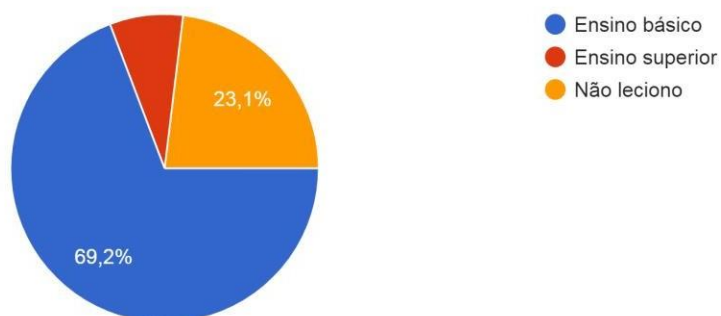
Fonte: própria autoria.

#### 2. Nível que leciona

- Ensino básico
- Ensino uperior
- Não leciona

## Nível que leciona

13 respostas



Fonte: própria autoria.

## 3. Tempo que leciona/já lecionou ( ) até 1 ano

( ) entre 1 e 5 anos

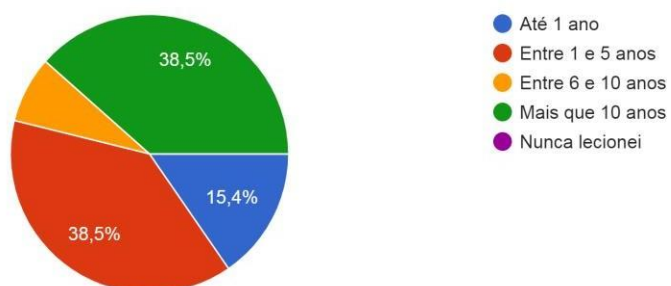
( ) entre 6 e 10 anos

( ) mais que 10 anos

( ) nunca lecionei

## Tempo que leciona/já lecionou

13 respostas



Fonte: própria autoria.

A partir da seção 2, todas as questões foram respondidas com escala likert que variou de 1 a 5, sendo:

1. Discordo totalmente
2. Discordo parcialmente
3. Não concordo nem discordo

4. Concordo parcialmente

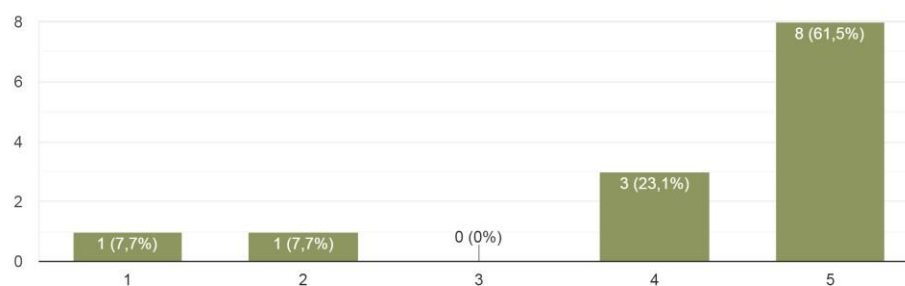
5. Concordo totalmente

## Seção 2: A - Estrutura e organização

A1 - Qualidade e originalidade: o plano tem temática inovadora e se adequa aos temas que compõe o currículo da disciplina de Química?

A1 - Qualidade e originalidade: o plano tem temática inovadora e se adequa aos temas que compõe o currículo da disciplina de Química?

13 respostas

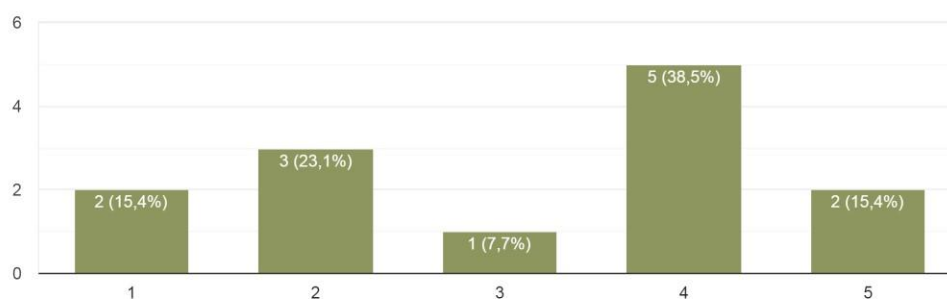


Fonte: própria autoria.

2 - A proposta é clara e contém todas as explicações necessárias para seu desenvolvimento e aplicação?

A2 - A proposta é clara e contém todas as explicações necessárias para seu desenvolvimento e aplicação?

13 respostas



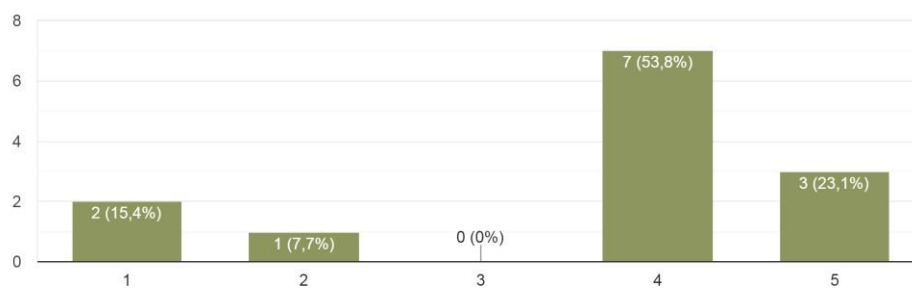
Fonte: própria autoria.

### Seção 3: B - Conteúdos e conceitos

B1 - As atividades e conteúdos propostos são necessários e suficientes?

B1 - As atividades e conteúdos propostos são necessários e suficientes?

13 respostas

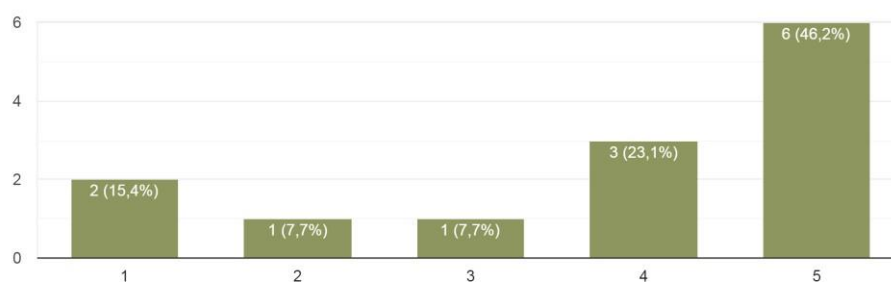


Fonte: própria autoria.

B2 - Há a relação com contextualização adequada e eficiente entre o conhecimento coloquial e o científico?

B2 - Há a relação com contextualização adequada e eficiente entre o conhecimento coloquial e o científico?

13 respostas

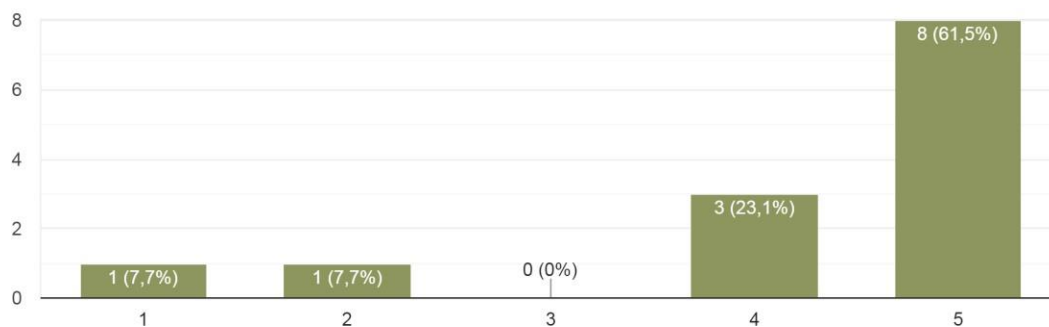


Fonte: própria autoria.

B3 - Os conceitos desenvolvidos fornecem elementos para a discussão do tema proposto?

B3 - Os conceitos desenvolvidos fornecem elementos para a discussão do tema proposto?

13 respostas



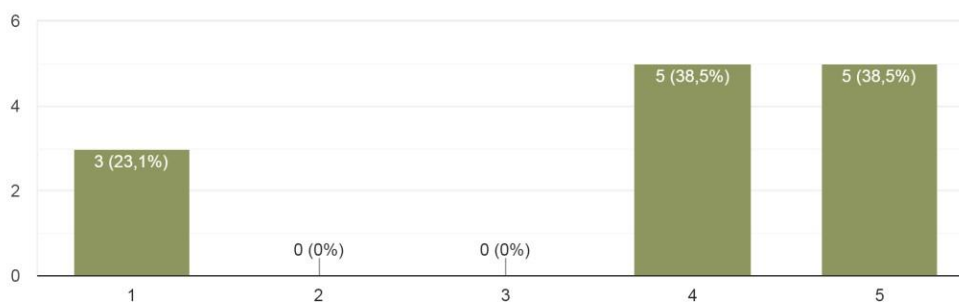
Fonte: própria autoria.

#### **Seção 4: C - Metodologias de Ensino e Avaliação**

C1 - As estratégias didáticas são diversificadas e apropriadas para o desenvolvimento do plano?

C1 - As estratégias didáticas são diversificadas e apropriadas para o desenvolvimento do plano?

13 respostas

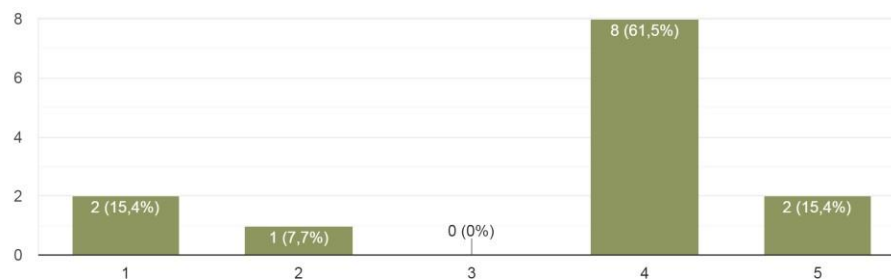


Fonte: própria autoria.

## C2 - Os instrumentos de avaliação propostos são adequados e suficientes?

C2 - Os instrumentos de avaliação propostos são adequados e suficientes?

13 respostas

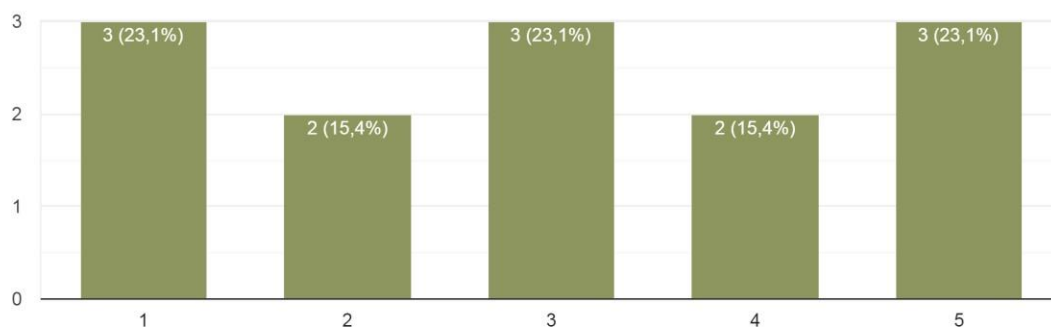


Fonte: própria autoria.

## C3 - A avaliação dos estudantes é integrada ao longo do plano, considerando todo o processo do/a estudante?

C3 - A avaliação dos estudantes é integrada ao longo do plano, considerando todo o processo do/a estudante?

13 respostas

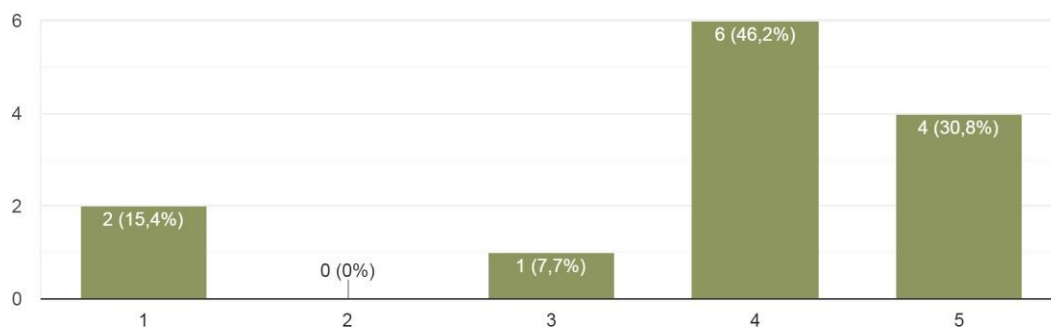


Fonte: própria autoria.

#### C4 - Existem instrumentos de feedback para os/as estudantes sobre os resultados obtidos nas avaliações?

C4 - Existem instrumentos de feedback para os/as estudantes sobre os resultados obtidos nas avaliações?

13 respostas



Fonte: própria autoria.