



UNIFESSPA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

EMERSON CUIMAR PAZ

FÍSICA TÉRMICA A PARTIR DE UM BIODIGESTOR DIDÁTICO: uma experiência
com alunos do segundo ano do ensino médio.

MARABÁ-PA
2021

EMERSON CUIMAR PAZ

FÍSICA TÉRMICA A PARTIR DE UM BIODIGESTOR DIDÁTICO: uma experiência
com alunos do segundo ano do ensino médio.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física, da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:

Prof^a. Dra. Franciane Silva de Azevedo

Coorientador:

Prof^o. Dr. Jeanderson de Melo Dantas

MARABÁ-PA
2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Biblioteca Setorial Campus do Tauarizinho**

- P348f Paz, Emerson Cuimar
Física térmica a partir de um biodigestor didático: uma experiência com alunos do segundo ano do ensino médio / Emerson Cuimar Paz. — 2021.
145 f. : il. (algumas color.)
- Orientador(a): Franciane Silva de Azevedo ;
coorientador(a): Jeanderson de Melo Dantas.
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Ciências Exatas, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Marabá, 2021.
1. Física (Ensino médio). 2. Termologia. 3. Biodigestores. 4. Gases. 5. Ensino - Metodologia. 6. Pesquisa-ação em educação. 7. Abordagem interdisciplinar do conhecimento na educação. I. Azevedo, Franciane Silva de, orient. II. Dantas, Jeanderson de Melo, coorient. III. Título.

CDD: 22. ed.: 530.07

EMERSON CUIMAR PAZ

FÍSICA TÉRMICA A PARTIR DE UM BIODIGESTOR DIDÁTICO: uma experiência
com alunos do segundo ano do ensino médio

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Física, da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como requisito para obtenção do grau de Mestre em Ensino de Física.

Data de aprovação: Marabá (PA), 22 de dezembro de 2021.

Conceito: _____.

Banca Examinadora:

Prof.^a Dra. Franciane Silva de Azevedo
Orientadora

Prof. Dr. Luiz Moreira Gomes
Membro Interno

Prof.^a Dra. Joana Luiza Pires Siqueira – ICE
Membro Externo

Dedico este trabalho aos meus pais, José Almeida Paz e Dinair Cuimar Paz; aos meus irmãos Adailson C. Paz, Jailson C. Paz e Vanderson C. Paz; a minha esposa, Fernanda Paz. Obrigado por estarem ao meu lado e me motivarem nesta jornada.

Emerson C. Paz

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Jesus Cristo, em quem estão escondidos todos os tesouros da sabedoria e do conhecimento (Colossenses 2.3).

Ao meus pais, senhor José Almeida Paz e Dinair Cuimar Paz, por terem o estudo e a educação como objetivos principais de minha criação.

A minha esposa, Fernanda Paz, por sempre me motivar a ir mais longe nos estudos, por compreender minha ausência devido a pesquisa e por ser esposa, companheira e amiga.

Ao meu irmão, Jailson Cuimar Paz, minha fonte de inspiração nos estudos. Obrigado pelo apoio nesta caminhada. Também a minha cunhada, Jaine Pinho, por me acolher em sua residência durante os períodos de aulas na UNIFESSPA.

Aos meus colegas e amigos da turma do MNPEF-2019, Cláudio Alves, Eudimar Santos, José Leite, Vagno, Anderson, Leandro, Luciana, Daniele, Midian e Jean. Ao meu amigo Álvaro pela valorosa contribuição e auxílio nas atividades do curso.

Aos meus amigos, Jânison Pastana e Bruno Quaresma, pela companhia nas viagens para Marabá-Pa.

Aos meus orientadores, Dra. Franciane Azevedo e Dr. Jeanderson Dantas, pela orientação deste trabalho, apoio, sugestões, observações e, principalmente, motivação.

A todos os Professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – UNIFESSPA, pelo apoio e incentivo para a construção do conhecimento.

À Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro durante o curso.

Por fim, à Sociedade Brasileira de Física (SBF) e à Universidade Federal do Sul e Sudeste do Estado do Pará – UNIFESSPA por oferecer a oportunidade de participação em um curso de mestrado.

A todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

“Observem as aves do céu: não semeiam nem colhem nem armazenam em celeiros; contudo, o Pai celestial as alimenta. Não têm vocês muito mais valor do que elas?”

Mateus 6:26 (NVI)

RESUMO

Esta dissertação propõe uma metodologia para o estudo de Termologia, em especial o Estudo dos Gases Ideais, com viés interdisciplinar, estabelecendo uma conexão dos componentes curriculares Física e Biologia, a partir do funcionamento de um biodigestor didático. Esta proposta surge a partir das exigências da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), em que as disciplinas das Ciências Naturais agora estão todas incluídas na área de conhecimento Ciências da Natureza e suas Tecnologias e devem ser ensinadas a partir de temas como Matéria e Energia. Também se buscou como referência os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs), onde se propõe ensino interdisciplinar entre as ciências da natureza. O biodigestor pode proporcionar uma aprendizagem significativa, bem como buscar uma correlação interdisciplinar pautada pela pesquisa-ação, onde os participantes observam fenômenos reais enquanto aprendem temas de Física. Seu funcionamento permite de maneira interdisciplinar, estudar o comportamento dos gases e a dinâmica da energia na natureza. O produto educacional contou com a fundamentação teórica da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS). Para a avaliação, foram utilizados questionários e mapas conceituais. A aplicação da pesquisa ocorreu em uma turma de 2º ano do Ensino Médio de uma escola pública do Estado do Pará. Com base nos dados obtidos, percebeu-se que, de modo geral, os alunos conseguiram aprender significativamente os conceitos de Física Térmica envolvidos no funcionamento do biodigestor, bem como relacionar a atividade com outras disciplinas, como Biologia, por meio do tema unificador Energia.

Palavras-chave: Biodigestor; interdisciplinaridade; estudo dos gases; energia; aprendizagem significativa.

ABSTRACT

This dissertation proposes a methodology for the study of Thermology, especially the Study of Ideal Gases, with an interdisciplinary bias, establishing a connection between the curriculum components Physics and Biology, from the operation of a didactic biodigester. This proposal arises from the requirements of the Common National Curricular Base (BNCC), in which the disciplines of Natural Sciences are now all included in the area of knowledge of Nature Sciences and their Technologies and should be taught from themes such as Matter and Energy. We also sought as a reference the National Curriculum Parameters (PCNs), which propose interdisciplinary teaching among the natural sciences. The biodigester can provide meaningful learning, as well as seek an interdisciplinary correlation, guided by action research, where participants observe real phenomena while learning Physics themes. Its operation allows the study of the behavior of gases, as well as, in an interdisciplinary way, studying the dynamics of energy in nature. The educational product relied on the theoretical foundation of the Theory of Significant Learning (TAS). For the evaluation, questionnaires and concept maps were used. The research was applied to a 2nd year high school class in a public school in the state of Pará. Based on the data obtained, it was noticed that, in general, the students were able to significantly learn the concepts of Thermal Physics involved in the functioning of the biodigester, as well as relate the activity to other subjects, such as Biology, through the unifying theme Energy.

Keywords: Biodigester; interdisciplinarity; study of gases; energy; significant learning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 : Principais conceitos da TAS de David Ausubel.	29
Figura 2 : Teoria da Assimilação	34
Figura 3 : Modelo de Mapa Conceitual.....	37
Figura 4 : Critérios de Classificação dos Mapas Conceituais segundo Novak e Gowin	39
Figura 5 : Diagrama de fases da água	43
Figura 6 : Esquema da colisão de uma molécula de gás	47
Figura 7 : Colisão de uma molécula de gás.....	48
Figura 8 :Experiência de Boyle.....	50
Figura 9 : Representação gráfica da Lei de Boyle	51
Figura 10 : Representação gráfica da lei de Charles	52
Figura 11 : Representação gráfica da Lei de Charles (transformação Isovolumétrica)	52
Figura 12 :Gráfico dos estados P, V, T de um gás ideal	53
Figura 13 : Esquema da biodigestão anaeróbia e suas etapas	56
Figura 14 : Mapa conceitual 1 do texto fotossíntese.....	74
Figura 15 : Mapa conceitual 2 do texto fotossíntese.....	74
Figura 16 : Mapa conceitual 3 do texto fotossíntese.....	75
Figura 17 : Biodigestores já em funcionamento.....	77
Figura 18 :Grupo de WhatsApp da disciplina física do 2º ano do Ensino Médio.	81
Figura 19 :Gráficos construídos a partir dos dados fornecidos pelos alunos.....	82
Figura 20 : Relatórios de observação do biodigestor didático	83
Figura 21 : Relatórios de observação do biodigestor didático	84
Figura 22 : Resposta dada pelo aluno A2 para a questão 4.....	88
Figura 23 : Resposta dada pelo aluno A7 para a questão 4.....	89
Figura 24 : Resposta dada pelo aluno A4 para a questão 4.....	89
Figura 25 : Resposta dada pelo aluno A11 para a questão 4.....	90
Figura 26 : Resposta dada pelo aluno A9 para a questão 4.....	90
Figura 27 : Resposta dada pelo aluno A19 para a questão 4.....	90
Figura 28 : Resposta dada pelo aluno A1 para a questão 10.....	91
Figura 29 : Resposta dada pelo aluno A4 para a questão 10.....	91
Figura 30 : Resposta dada pelo aluno A5 para a questão 10.....	92
Figura 31 :Resposta dada pelo aluno A2 para a questão 10.....	92
Figura 32 : Mapa conceitual elaborado pelo autor.....	93
Figura 33 : Mapa conceitual apresentado pelo aluno A19.....	95

Figura 34: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A2.....	96
Figura 35: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A5.....	96
Figura 36: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A4.....	97
Figura 37: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A23.....	98
Figura 38: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A6.....	99
Figura 39: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A17.....	100
Figura 40: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A1.....	101
Figura 41: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A10.....	102
Figura 42: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A21.....	102
Figura 43: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A14.....	103
Figura 44: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A15.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição básica do biogás.....	41
Tabela 2: Equivalência energética do Biogás.....	55
Tabela 3: Cronograma de aplicação do produto educacional.....	63
Tabela 4: Relação de acertos por aluno.....	86
Tabela 5: Resultado final da avaliação de aprendizagem.....	104

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Respostas obtidas na aplicação do Questionário I, exceto a 7ª questão.....	66
Gráfico 2: Respostas obtidas na aplicação do Questionário I, questão 7.	66
Gráfico 3: Respostas obtidas na aplicação do Questionário II (questões 1,3,5,6 e 7).....	69
Gráfico 4: Resultado final da Avaliação de Aprendizagem.	105
Gráfico 5: Resultado em porcentagem obtido na pergunta 01.	106
Gráfico 6: Resultado em porcentagem obtido na pergunta 02.	107
Gráfico 7: Resultado em porcentagem obtido na pergunta 03.	107
Gráfico 8: Resultado em porcentagem obtido na pergunta 04.	108
Gráfico 9: Resultado em porcentagem obtido na pergunta 05.	108
Gráfico 10: Resultado em porcentagem obtido na pergunta 06.	109

LISTA DE SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Médio
SBF	Sociedade Brasileira de Física
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 A BNCC e os novos rumos para o ensino de Física.	21
2.2 O biodigestor como objeto de aprendizagem interdisciplinar.	23
2.3 O estudo dos gases a partir de biodigestores	25
3 REFERENCIAL TEÓRICO	28
3.1 Aprendizagem Significativa	28
3.1.1 Principais conceitos	28
3.1.3 Aprendizagem.....	29
3.1.4 Aprendizagem Significativa	30
3.1.5 Aprendizagem Mecânica	30
3.1.6 Aprendizagem Receptiva e Aprendizagem por Descoberta	31
3.1.7 Subsunções	31
3.1.8 Condições para a Aprendizagem Significativa.....	32
3.1.9 Evidências da Aprendizagem Significativa.....	33
3.1.10 Assimilação e Assimilação Obliteradora.....	34
3.1.11 Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa	35
3.1.12 Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa.....	36
4 CONHECIMENTOS FÍSICOS PARA O FUNCIONAMENTO DO BIODIGESTOR	40
4.1 Biodigestor: tipos e funcionamento	40
4.1.1 Tipos de biodigestores	40
4.1.2 Funcionamento	41
4.2 O que é um gás?	42
4.2.1 Influência da pressão nas temperaturas de mudança de estado.	43
4.2.2 A Teoria Cinética dos Gases	44
4.2.3 O Número de Avogadro.	45

4.2.4 O Gás Ideal	45
4.2.5 Energia Interna de um Gás Ideal	46
4.2.6 Variáveis de Estado de um Gás Ideal.	46
4.2.7 O Volume de um Gás Ideal.	46
4.2.8 A Temperatura de um Gás Ideal.....	47
4.2.9 A Pressão de um Gás Ideal e Velocidade Média Quadrática.	47
4.2.10 A Lei de Dalton	49
4.2.11 Condições Normais de Pressão e Temperatura (CNPT)	50
4.2.12 Lei de Boyle	50
4.2.13 Leis de Charles/Gay-Lussac	51
4.2.14 A Lei Geral dos Gases Ideais	53
4.2.15 A densidade de um Gás Ideal	54
4.3 Equivalência energética do biogás	55
4.4 Estágios de formação do biogás.....	55
5 MATERIAIS E MÉTODOS	57
5.1 Classificação da pesquisa	57
5.2 Ambiente de aplicação	58
5.3 Amostra/ participantes.....	58
5.4 Riscos	58
5.5 Etapas de aplicação da pesquisa	59
5.5.1 Primeira etapa	59
5.5.2 Segunda etapa	60
5.5.3 Terceira etapa	60
5.5.4 Quarta etapa.....	62
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
6.1 Resultados e discussões da primeira etapa da pesquisa.....	64
6.2 Resultados e discussões sobre a segunda etapa da pesquisa.....	65

6.2.1 Questionário I.....	65
6.2.2 Questionário II.....	68
6.3 Resultados e discussões sobre a terceira etapa da pesquisa.....	73
6.4 Resultados e discussões sobre a quarta etapa da pesquisa.	85
6.4.1 – Resultados e discussões sobre a Avaliação de Aprendizagem.....	85
6.4.2 Análise e discussão sobre os mapas conceituais.	93
6.4.3 Análise e discussão sobre o Questionário Final.	106
6.4.4 – Uma breve reflexão sobre os alunos que não participaram efetivamente da aplicação do produto.....	110
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	111
REFERÊNCIAS	114
APÊNDICES	119
APÊNDICE I – Questionário I.....	120
APÊNDICE II – Questionário II.....	121
APÊNDICE III – Relatório de observação	122
APÊNDICE IV – Avaliação da Aprendizagem.....	123
APÊNDICE V – Questionário Final	125
APÊNDICE VI: Produto Educacional	Erro! Indicador não definido.

1 INTRODUÇÃO

Os desafios no ensino de Física certamente não são novidades para os professores da disciplina. Moreira (2017) afirma que a Física na educação básica está em crise. Para esse autor, além da falta ou despreparo dos professores, existem más condições de trabalho, reduzido número de aulas, progressiva perda de identidade no currículo, e um ensino que estimula não só aprendizagem mecânica, mas também de conteúdos desatualizados (MOREIRA, 2017). Pode-se somar a isso a falta de melhores condições de trabalho e a valorização do profissional. Além disso, o contexto das mudanças no qual a escola está inserida requer um professor com formação e perfil diferentes dos apresentados décadas atrás (SOUZA *et al.*, 2017).

Junto a todas essas questões anteriores, soma-se o fato de as práticas em sala de aula serem desafiadas a partir das novas exigências feitas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC), documento de caráter normativo que define as aprendizagens essenciais que todos os alunos devem receber no âmbito da educação básica. Neste documento, a disciplina de Física passa a compor a área das Ciências da Natureza e suas Tecnologias, junto com as componentes curriculares Química e Biologia. Com a proposta de fazer com que o aluno compreenda e atue na complexa realidade que o cerca, essa nova configuração exige um trabalho conjugado e cooperativo dos professores destes componentes curriculares no planejamento e na execução dos planos (BRASIL, 2018).

Essa ação conjugada e cooperativa entre as disciplinas sugere uma ação, a princípio, interdisciplinar. Trabalhar sob essa perspectiva no Ensino Médio é um desafio ao professor e à própria escola, visto que requer dos professores habilidades e uso de metodologias diversificadas (OLIVEIRA & FENNER, 2020).

Também se destaca o desinteresse por parte do discente pela Física, que pode estar ligado às dificuldades com a interpretação e aos cálculos envolvidos (MORAES, 2009). Tal fato é demonstrado pela costumeira indagação “para que vai me servir isso?” durante as aulas dessa disciplina. Diante dessa e outras situações, faz-se necessário a busca por metodologias e teorias de aprendizagem que permitam ao aluno aprender de forma significativa e crítica.

Dentre as competências específicas das Ciências da Natureza e suas Tecnologias propostas pela BNCC, a primeira delas espera que o aluno possa

analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global. (BRASIL, 2018).

Relacionadas a essa competência estão habilidades a serem alcançadas, e, dentre elas, a habilidade EM13CNT101¹ e EM13CNT102 são de interesse desta dissertação. A habilidade EM13CNT101 busca analisar e representar as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento, com o objetivo de realizar previsões que priorizem o desenvolvimento sustentável ou o uso consciente dos recursos naturais (BNCC, 2018). A habilidade EM13CNT102 espera que o aluno realize previsões, avalie e/ou construa protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, considerando a sua composição e os efeitos das variáveis termodinâmicas sobre seu funcionamento (idem, 2018).

Para alcançar essas habilidades e oferecer uma relação interdisciplinar com outros componentes curriculares, propomos o biodigestor. Os biodigestores produzem através da digestão anaeróbica de resíduos orgânicos dois principais subprodutos: biogás e biofertilizantes. A produção de biogás é um processo renovável, limpo e que permite a reutilização da biomassa para gerar energia (FREITAS, FURTADO e CUEVAS, 2018). Essa energia pode ser utilizada para se obter outras formas de energia, como a energia elétrica.

O produto proposto nesta dissertação foi construído visando auxiliar no aprendizado, principalmente nas escolas públicas onde há carência de estrutura para atividades extraclasse, como por exemplo, laboratórios. O produto também é uma ferramenta que pode contribuir para aumentar o interesse dos alunos pela disciplina de Física, visto que aborda uma metodologia diferente da tradicional aula com quadro branco e pincel.

Para a direcionamento da metodologia de aplicação do produto, foi utilizada como embasamento teórico a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de David Ausubel. A TAS propõe que a aprendizagem ocorre na estrutura cognitiva de quem aprende a partir da interação, ou não, do novo conteúdo com informações relevantes contidas na estrutura cognitiva, os chamados subsunçores (conhecimentos prévios) (MOREIRA, 2006a). Dessa forma, cabe ao educador conhecer quais os subsunçores presentes na estrutura cognitiva de quem aprende e ensinar com base neles.

Após a sondagem dos subsunçores presentes na estrutura cognitiva, a aprendizagem ocorrerá com base na interação ou não com estes subsunçores. Quando a nova informação interage com o conhecimento prévio do aluno, então, houve aprendizagem significativa. Do contrário, a aprendizagem é mecânica (MOREIRA, 1999). Dois princípios facilitam o processo

¹ A sigla significa EM13CNT101 significa, respectivamente, Ensino Médio, 1ª a 3ª séries, Ciências da Natureza e suas Tecnologias, Competência 1, habilidade 01. Isso quer dizer que esta habilidade pertence a Competência 1 e pode ser aplicada na 1ª, 2ª ou 3ª séries do Ensino Médio.

da aprendizagem significativa: a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa (PRAIA, 2000). Ambos podem ser alcançados com o uso de mapas conceituais e organizadores prévios.

Desse modo, a presente pesquisa tem como objetivo geral tornar o estudo dos Gases Ideais contextualizado, significativo e com potencial interdisciplinar através do funcionamento de um biodigestor didático para alunos do 2º ano do Ensino Médio.

Com base no objetivo geral, temos os seguintes objetivos específicos:

1 – Identificar metodologias, conteúdos e temas que permitam o ensino e aprendizagem de objetos do conhecimento de Física e que possibilitem a integração com um ou mais componentes curriculares dentro das áreas das Ciências da Natureza.

2 – Investigar atividades experimentais que permitam a aprendizagem significativa dos conteúdos abordados.

3 – Criar um modelo de biodigestor didático para observação, análise e coleta de dados, explorando seu funcionamento para auxiliar na aprendizagem do estudo dos gases ideais com viés interdisciplinar.

O presente estudo estruturou-se inicialmente com uma breve pesquisa bibliográfica (capítulo 2), situando os novos rumos da disciplina Física no contexto da BNCC e as possibilidades interdisciplinares com o uso do biodigestor, bem como uma breve apresentação de alguns trabalhos que, por utilizarem o biodigestor, serviram de referência para esta pesquisa. No capítulo 3 são apresentadas as bases da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de acordo com os principais autores. O capítulo 4 aborda os conhecimentos físicos que compõem os objetos do conhecimento que serão abordados durante o funcionamento do biodigestor e servirão de auxílio para o professor.

No capítulo 5 é abordada a metodologia da pesquisa, que está dividida em quatro etapas. Na primeira etapa ocorreu a divulgação do projeto para coordenadores pedagógicos e alunos. Na segunda, ocorreu a aplicação dos questionários iniciais. A terceira etapa ficou reservada para as aulas, montagem e acompanhamento do funcionamento do biodigestor. Por fim, a quarta etapa consistiu na aplicação da Avaliação de Aprendizagem e o Questionário Final com a avaliação dos alunos com relação à metodologia.

A pesquisa foi aplicada em uma escola da rede estadual de ensino do Estado do Pará, onde foi escolhida para a aplicação uma das 10 turmas de 2º ano do ensino médio, com uma amostra de 23 alunos. A escolha da escola se deu por ser o ambiente de trabalho do pesquisador. O trabalho foi direcionado levando em conta também a proposta curricular da escola para a disciplina de Física.

No capítulo 6 estão a análise e discussão dos dados coletados na pesquisa. Além dos questionários, também se fez uso dos mapas conceituais, conforme a Teoria da Aprendizagem Significativa, como parte dos instrumentos avaliativos da pesquisa.

No último capítulo (Considerações Finais), apresentamos algumas reflexões e discussões, destacando pontos positivos e negativos, bem como sugestões para aplicações e estudos futuros.

Espera-se que este trabalho sirva como proposta para os professores que, como o pesquisador, procuram metodologias para tornar o ensino mais atraente para o aluno, contribuindo para uma formação integral que beneficie a todos os personagens atuantes na educação, e, em última instância, a sociedade.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A BNCC e os novos rumos para o ensino de Física.

O atual documento que norteia a educação básica brasileira é a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Este documento é de caráter normativo “que define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica” (Brasil, 2018). Dessa forma, o documento se propõe a assegurar o nível comum mínimo e essencial de aprendizagem a todos os estudantes, bem como assegurar o desenvolvimento de dez competências gerais (que não serão discutidas aqui) que permeiam as três etapas da educação básica (educação infantil, ensino fundamental e ensino médio).

A BNCC estrutura o ensino médio em quatro áreas do conhecimento: Linguagens e suas Tecnologias, Matemática e suas Tecnologias, Ciências da Natureza e suas Tecnologias e Ciências Humanas e Sociais Aplicadas. Apenas duas das áreas de conhecimento apresentam componentes curriculares explicitados: Linguagens e suas Tecnologias, com Língua Portuguesa, e Matemática e suas Tecnologias, com Matemática. Esses componentes curriculares também são os únicos obrigatórios nos três anos do Ensino Médio, conforme a Lei 13.415, de 6 de fevereiro de 2017 (Brasil, 2017). Sendo assim, não existem habilidades específicas para a Física, tampouco se assegura a oferta da disciplina nos três anos do Ensino Médio (MARINIAK, HILGER, 2021). Para o Ensino médio, a BNCC também acrescenta os itinerários informativos, que por não serem foco deste trabalho, não serão tratados aqui.

A Sociedade Brasileira de Física (SBF) fez críticas à BNCC e também à Lei nº 13.415 de 16 de fevereiro de 2017 que privilegia algumas áreas do conhecimento em detrimento de outras. As críticas giram em torno dos seguintes pontos (SBF, 2018^a): o fato de a Lei nº 13.415 de fevereiro de 2017 não tornar a área de Ciências da Natureza obrigatória nos currículos do Ensino Médio; questionou-se se os itinerários poderiam implicar numa formação do Ensino Médio sem nenhum conteúdo das Ciências da Natureza; a não obrigatoriedade de oferta de diferentes itinerários em todas as escolas públicas poderia excluir o ensino de Ciências da Natureza em regiões pobres ou pequenos municípios; a ausência de objetos de aprendizagem no texto inviabiliza a proposta de uma base nacional comum para as Ciências da Natureza, inclusive a Física, devido à inexistência de tópicos comuns à formação de todos os alunos.

Quando observamos a estrutura da BNCC, a disciplina Física, Química e Biologia não aparecem como disciplinas isoladas, e sim inclusas na área de Ciências da Natureza e suas

Tecnologias. Essa área tem suas competências específicas e habilidades fundamentadas nas temáticas de Matéria e Energia, Vida e Evolução e Terra e Universo. Portanto, as disciplinas das ciências naturais não têm currículo independente, mas, sim, devem trabalhar em conjunto para se alcançar as habilidades e competências que integram a área de conhecimento, dentro dos eixos temáticos Matéria e Energia, Vida e Evolução e Terra e Universo. Apesar disso, a BNCC reforça que

A organização por áreas, como bem aponta o Parecer CNE/CP nº 11/200925, “não exclui necessariamente as disciplinas, com suas especificidades e saberes próprios historicamente construídos, mas, sim, implica o fortalecimento das relações entre elas e a sua contextualização para apreensão e intervenção na realidade, requerendo trabalho conjugado e cooperativo dos seus professores no planejamento e na execução dos planos de ensino” (BRASIL, 2018).

Algumas possibilidades sobre a Física podem ser inferidas a partir da BNCC. Primeiramente, do ponto de vista didático, a área de Ciências da Natureza não é multidisciplinar, ou seja, não temos Física, Química e Biologia sendo tratadas isoladamente. Portanto, a aula de Física não contempla um currículo independente, mas, sim, em conjunto com outras duas disciplinas. Outro ponto é que, no primeiro momento, deve-se visar a interdisciplinaridade e, a longo prazo, um diálogo entre as disciplinas para uma aprendizagem onde não haja qualquer demarcação disciplinar (ASSIS, 2021). Nesse caso, as especificidades de cada disciplina surgem como olhares diferentes para um mesmo assunto.

O segundo ponto que foi criticado pela SBF (2018b) está relacionado à formação integrada em Ciências da Natureza, que pressupõe professores com formação que permita esse ensino. O texto da BNCC não deixa claro o perfil dos professores que ensinarão as Ciências da Natureza, o que pode levar a uma implementação fictícia do ensino integrado, uma vez que atualmente a maioria absoluta das licenciaturas atuais é em Biologia, em Física ou em Química (SBF, 2018b). Essa questão também foi levantada por Mozena e Ostermann (2014) quando, em uma análise de literatura sobre interdisciplinaridade no ensino de Ciências da Natureza, perceberam que ela mostrava “a fragilidade do professor e a falta de apoio quando o assunto é desenvolver aulas sob a filosofia interdisciplinar” (MOZENA e OSTERMANN, 2014, p.198). Dessa forma, pode-se esperar que as exigências da BNCC influenciem o currículo dos cursos das Ciências Naturais em nível superior.

Nessa dissertação, destacamos o fato de a disciplina Física ter que dialogar com os outros componentes curriculares da área Ciências da Natureza. Ramos e Santana (2020), ao analisarem a BNCC do Ensino Fundamental sobre as Ciências da Natureza, constataram que a

organização do componente curricular Ciências em unidades temáticas oferece um “cenário que sugere o desenvolvimento de práticas interdisciplinares do ponto de vista da organização dos conteúdos como também no desenvolvimento de práxis interdisciplinares” (RAMOS e SANTANA, 2020, p. 331). Esse cenário parece se estender para a BNCC do Ensino Médio quando define competências e habilidades das Ciências da Natureza e suas Tecnologias por meio de um olhar articulado da Biologia, da Física e da Química, continuando a proposta do Ensino Fundamental com aprofundamento nas temáticas Matéria e Energia, Vida e Evolução e Terra e Universo (BRASIL, 2018).

Partindo da premissa de possibilidade de interdisciplinaridade a partir dos eixos temáticos, este trabalho usa o funcionamento de um biodigestor como instrumento didático para estudo dos Gases Ideais, com possibilidade de diálogo com outros componentes curriculares da área das Ciências da Natureza, como a Biologia, por meio de um tema unificador entre elas, a transformação de energia, o que possibilita um estudo interdisciplinar do tema.

2.2 O biodigestor como objeto de aprendizagem interdisciplinar.

O termo interdisciplinar é uma palavra do século XX, porém as ideias fundamentais de ciência unificada, síntese e integração do conhecimento foram desenvolvidas pela filosofia antiga (KLEIN, 1998). Com o passar do tempo, o processo de especializações resultou em um número crescente de disciplinas e profissões distintas. Essa especialização das ciências ocorre, sobretudo, pela influência dos trabalhos de pensadores como Galileu, Bacon, Descartes, Newton, Darwin e outros (THIESEN, 2008). A interdisciplinaridade, como movimento contemporâneo, surge com vista ao diálogo entre as ciências, buscando romper com o caráter de hiperespecialização e com a fragmentação do saber (ibid.). Dessa forma, as origens da educação interdisciplinar moderna encontram-se nos conceitos de currículos interdisciplinares e integrados, abordagens do conhecimento holístico, integrado e interdisciplinar, modelos de estudo unificado, temas combinados, aprendizagem comum, estudos correlatos e currículo comum (VARS, p.17, *apud* KLEIN, 1998).

Apesar do termo não possuir ainda um sentido único e estável (FAZENDA, 2011), o princípio por trás das várias distinções terminológicas é sempre o mesmo:

A interdisciplinaridade caracteriza-se pela intensidade das trocas entre os especialistas e pelo grau de integração real das disciplinas no interior de um mesmo projeto de pesquisa. (JAPIASSÚ, p.74, *apud* FAZENDA, 2011, p.51).

Desse ponto de vista, a interdisciplinaridade não exclui as disciplinas com seus componentes, como Santomé (1998) ressalta, “para que haja interdisciplinaridade, é preciso que haja disciplinas. As propostas interdisciplinares surgem e desenvolvem-se se apoiando nas disciplinas” (SANTOMÉ, 1998, p.61). Portanto, a interdisciplinaridade tem como base as disciplinas e objetiva fornecer uma visão global da realidade, estudando determinado fenômeno a partir de vários ângulos (disciplinas).

Quando se observa as disciplinas Física, Química e Biologia, pode-se perceber que dentro dos domínios de cada uma há pontos comuns, havendo conceitos e fenômenos que fazem intersecção entre elas (SILVA, 2015). Angotti (1993, p. 195) propõe quatro conceitos que podem integrar as ciências: Transformação, Regularidades, Energia e Escalas, chamados de *conceitos unificadores* que buscam a construção de elos entre as ciências naturais.

1. TRANSFORMAÇÕES: da matéria viva e/ou não viva no espaço e no tempo.
2. REGULARIDADES: que categorizam e agrupam as transformações mediante regras, semelhanças, ciclos abertos ou fechados, repetições e/ou conservações no espaço e no tempo.
3. ENERGIA: conceito que incorpora os dois anteriores além de atingir maior abstração. É acompanhado de linguagem matemática de grande generalização e condensação, útil para instrumentalizar transformações e conservações e está associado à degradação.
4. ESCALAS: enquadram os eventos estudados nas mais distintas dimensões.

Silva (2015) propõe que os processos envolvidos no biodigestor promovem a interação entre os conceitos de Física, Química e Biologia, e que “no biodigestor ocorrem mudanças na matéria orgânica de modo que podem ser tratados os quatro conceitos unificadores” (SILVA, 2015, p.50). É importante salientar que conteúdos unificadores são difíceis de se perceber na prática, porém um conceito em particular, o de energia, aparece em destaque em todas as disciplinas, por exemplo: “calor (Química), a energia potencial dos corpos (Física), fluxo de matéria / energia nos ecossistemas (Biologia) (SILVA, 2015). Angotti ressalta que “esta grandeza que pode e deve, mais do que qualquer outra, balizar as tendências de ensino que priorizam hoje as relações entre Ciência, tecnologia e Sociedade” (ANAGOTTI, 1993, p. 195).

O conceito de energia, então, não pertence a uma única disciplina, podendo ser tratado por todas elas, ou seja, é um tema interdisciplinar que pode ser estudado a partir do biodigestor. Pozo (2009) afirma que

O conceito de energia é muito importante no ensino das ciências durante o ensino fundamental e médio tanto por seu caráter integrador para a explicação de grande parte

dos fenômenos que ocorrem na natureza, como por suas implicações no âmbito ciência–tecnologia–sociedade (POZO, 2009 p.197)

Os Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Médio (PCNEM) também já colocavam a energia como um conceito transitório entre as ciências naturais:

A energia é um exemplo importante de um conceito comum às distintas ciências, instrumento essencial para descrever regularidades da natureza e para aplicações tecnológicas. Na Física, pode ser apresentada em termos do trabalho mecânico necessário[...]. Na Biologia e na Química, as energias não são menos importantes e nem menos variadas em suas designações e, no fundo, se trata da mesma energia da Física. [...] tem o mesmo sentido utilizado na Física, mas raramente se dá um tratamento unificado que permita ao aluno compor para si mesmo um aprendizado coerente (BRASIL, 2006, p.29).

É nesse contexto que o biodigestor pode funcionar como objeto de aprendizagem de um tema integrador, o conceito de Energia, que pode ser explorado dentro das três ciências naturais, além de permitir a construção e utilização de conhecimentos específicos para “[...]argumentar, propor soluções e enfrentar desafios locais e/ou globais, relativos às condições de vida e ao ambiente” (BRASIL, 2018, p.470).

2.3 O estudo dos gases a partir de biodigestores

Na pesquisa sobre metodologias com biodigestores, alguns trabalhos foram importantes para esta dissertação no que tange à contextualização e interdisciplinaridade. Abaixo, discorre-se, de maneira breve, sobre cada um deles.

Scarpari (2009), trabalhando com turmas do 2º ano de um curso técnico, desenvolveu sua metodologia contextualizando conceitos de hidrostática, calorimetria e gases a partir do funcionamento de um biodigestor. Nesta proposta, o autor utilizou como referencial teórico a corrente pedagógica sociointeracionista de Vigotski atrelada à metodologia ilhas de racionalidade. Um ponto importante do trabalho de Scarpari foi a delimitação de conteúdos do currículo de Física que poderiam ser associados, diretamente ou indiretamente, ao funcionamento do biodigestor, contribuindo com a escolha dos objetos do conhecimento.

Metz (2013), trabalhando com alunos do 2º ano do ensino médio de uma escola pública, desenvolveu uma metodologia que consiste na construção de um biodigestor de baixo custo para o acompanhamento de seu funcionamento no que tange à produção de biogás e à influência de variáveis climáticas, como a temperatura. O biodigestor didático foi construído em uma escola urbana. Metz utilizou um manômetro de tubo aberto para a medida da produção de gás

e esse foi um ponto importante para o produto proposto nesta dissertação. Com base na equação geral dos gases e na lei de Stevin, Metz orientou os alunos a medir a produção de biogás durante 90 dias de funcionamento do biodigestor, avaliando as relações entre as condições climáticas (temperatura) e a produção de gás.

No trabalho de SILVA (2015), o biodigestor foi utilizado como meio para uma abordagem interdisciplinar de um tema unificador: energia. A autora buscou contemplar o ensino de Ecologia por meio do tema da energia, explorando os aspectos interdisciplinares do mesmo. Neste trabalho, tendo sido de interesse o uso do tema unificador Energia (o que contempla as orientações da BNCC), também se fez uso de um dos métodos avaliativos usados por SILVA: os mapas conceituais. Os mapas conceituais, como será exposto no **item 3.1.12**, constituem uma ferramenta muito eficiente dentro da Teoria da Aprendizagem Significativa concernentes à avaliação.

Como exposto anteriormente (**item 2.2**), o biodigestor pode proporcionar um meio para a interdisciplinaridade a partir de conceitos unificadores, como o da energia. Uma forma de instrumentalizar através de um planejamento é fazendo uso da seguinte sequência (DELIZOICOV, ANGOTTI e PERNAMBUCO, 2009 *apud*. SILVA, 2015): fenômeno que se deseja trabalhar e os conceitos unificadores envolvidos. Com base nessa recomendação, Silva (2015) propõe os seguintes exemplos de como utilizar o funcionamento do biodigestor para trabalhar as disciplinas Física, Química e Biologia:

BIOLOGIA:

- Fenômeno: fermentação.
- Conceitos unificadores: transformação, regularidades, energia e escala.
- Conceituação envolvida em:
 - TRANSFORMAÇÃO: estado da matéria, gases, microrganismos e temperatura.
 - REGULARIDADE: conservação da massa e composição da matéria orgânica e inorgânica.
 - ENERGIA: transformação, conservação e calor.
 - ESCALA: unidades, relação matemática entre as grandezas calor, temperatura e massa.

QUÍMICA:

- Fenômeno: fermentação.
- Conceitos unificadores: transformação, regularidades, energia e escalas.

- Conceituação envolvida em:
 - TRANSFORMAÇÃO: estado da matéria, massa, gases, pressão dos gases, volume, densidade, misturas de fases, e termodinâmica.
 - REGULARIDADES: conservação da massa e composição molecular da matéria orgânica e inorgânica.
 - ENERGIA: energia cinética, calor, calor latente, calor específico – sensível.
 - ESCALA: unidades, relação matemática entre as grandezas calor, temperatura e massa.

FÍSICA:

- Fenômeno: Fermentação
- Conceitos unificadores: transformação, regularidades, energia e escala.
- Conceituação envolvida em:
 - TRANSFORMAÇÃO: estado da matéria, massa, gases, termodinâmica, pressão dos gases, volume, densidade.
 - REGULARIDADES: conservação da massa e composição molecular da matéria orgânica e inorgânica.
 - ENERGIA: energia cinética, calor, calor latente, calor específico-sensível.
 - ESCALA: unidades, relação matemática entre grandezas calor, temperatura, massa.

Diferentemente do objeto do conhecimento abordado por SILVA, optamos por contextualizar o Estudo dos Gases Ideais conectando-o com objetos do conhecimento do componente curricular Biologia, o que foi possível a partir do tema unificador Energia. Também se explorou parte da hidrostática (por meio do manômetro, como o conceito de pressão hidrostática), calor, temperatura, calor sensível, mudanças de estado físico, calor latente e transmissão de calor. Esta conexão entre os objetos do conhecimento de disciplinas diferentes possibilitou explorar temas atuais que requerem uma formação crítica e atuante do aluno, como o tema do lixo na natureza, a obtenção de energia limpa e os efeitos climáticos do aquecimento global.

Outro trabalho que foi desenvolvido nesta linha de contextualização do biodigestor foi o de SANTOS et al. (2013). Os autores desenvolveram uma metodologia para ensinar o princípio de funcionamento de uma máquina térmica com a utilização do biogás. A metodologia foi aplicada de forma interdisciplinar (Geografia, Química, Física, Matemática e Zootecnia), contado também com interação pelas redes sociais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Para a aplicação do biodigestor didático como produto desta dissertação, foi usado como base a teoria da aprendizagem significativa da qual serão apresentados abaixo os principais conceitos.

A teoria da aprendizagem significativa (TAS) foi proposta primeiramente por David Ausubel, médico-psicólogo que atuou por muitos anos na psicologia educacional. A teoria está alicerçada na aprendizagem cognitiva, que ocorre com o armazenamento de informações de maneira organizada na mente do indivíduo, ou seja, para Ausubel, a aprendizagem significa “organização e integração do material na estrutura cognitiva” (MOREIRA, 1999).

3.1 Aprendizagem Significativa

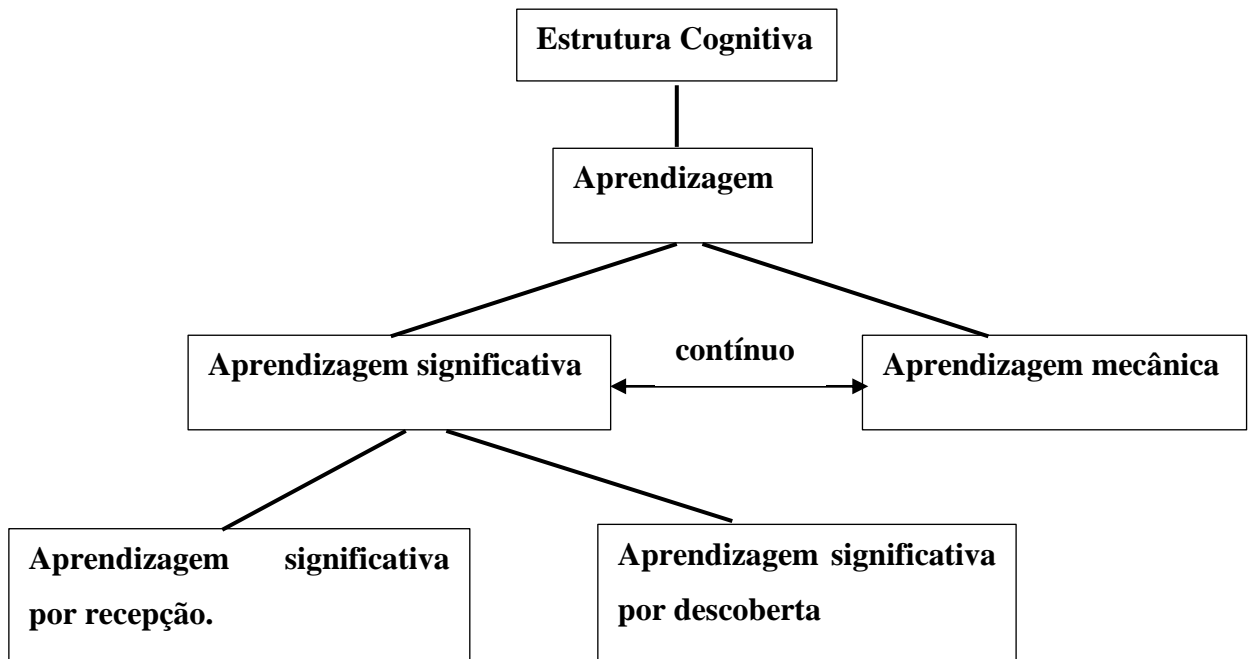
O conceito mais importante na TAS é o de aprendizagem significativa. Para Ausubel, a aprendizagem é significativa quando “uma nova informação se relaciona, de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária a um aspecto relevante da estrutura cognitiva do indivíduo” (MOREIRA, 2006a, p.14). Para que o indivíduo aprenda significativamente, a nova informação deve interagir com informações relevantes presentes na estrutura cognitiva. Neste trabalho, serão apresentados os principais pontos da teoria que foram relevantes para a aplicação, sondagem e avaliação do produto educacional.

3.1.1 Principais conceitos

A teoria de Ausubel busca explicar como funciona a mente humana em relação ao aprendizado e à estrutura do conhecimento. É uma teoria cognitivista. Ausubel entende aprendizagem como sendo integração e organização de novo material na estrutura cognitiva do aprendiz. Essa integração e organização, para ser significativa, depende de um material potencialmente significativo e um mecanismo de aprendizagem.

Abaixo, há um esquema com os principais conceitos da teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel que serão abordados mais adiante.

Figura 1 : Principais conceitos da TAS de David Ausubel.



Fonte: Adaptado de Faria (1989) *apud* SILVA, S.; SHIRLO (2014), p. 41.

3.1.2 Estrutura cognitiva

A TAS pertence ao grupo das teorias denominadas cognitivistas. A aprendizagem cognitivista se dá pelo armazenamento organizado de informações na mente do aprendiz. É um conjunto total e organizado de ideias que o indivíduo possui em determinada área de conhecimento (FARIA, 1989 *apud* CRUZ, 2011). Segundo Praia (2000), este é o pressuposto no qual se baseia a teoria de Ausubel. Ele via a estrutura cognitiva como extremamente organizada e hierarquizada, onde as ideias se ligam de acordo com a relação que se estabelece entre elas, onde conceitos mais inclusivos e menos diferenciados ocupam o topo, sendo seguido por conceitos menos inclusivos e mais diferenciados (ARAGÃO, 1976). Com a assimilação de novos conceitos, os conceitos presentes sofrem modificações tornando-se mais inclusivos e mais diferenciados.

3.1.3 Aprendizagem

Para Ausubel, o processo de aprendizagem resulta da ampliação da estrutura cognitiva através da inserção de novos conceitos. A relação entre esses novos conceitos e os já presentes na estrutura cognitiva do aprendiz definirão se a aprendizagem foi significativa ou mecânica.

Apesar da TAS ser cognitivista, Ausubel não negava a existência de outros tipos de aprendizagem, reconhecendo a importância das aprendizagens afetiva e psicomotora no desenvolvimento das aprendizagens cognitivas (BESSA, 2008).

3.1.4 Aprendizagem Significativa

Para Ausubel, aprendizagem envolve principalmente “a aquisição de novos significados a partir de material de aprendizagem apresentado” (AUSUBEL, 2003, p. 1). Este processo exige um mecanismo de aprendizagem significativa e um material que seja potencialmente significativo para quem aprende. Para que o material possa ser eficiente (potencialmente significativo), há duas condições necessárias. A primeira é que o material deve se relacionar com a estrutura cognitiva do aprendiz de forma não arbitrária (plausível, não aleatória) e não literal (deve possuir significado lógico). A segunda condição é que o material apresentado deve se relacionar com informações relevantes e específicas presentes na estrutura cognitiva, os subsunçores.

A nova informação, ao se relacionar com o subsunçor, adquire significado, e, portanto, ocorre aprendizagem significativa. Esse processo de “ancoragem” do novo material ao subsunçor modifica tanto o novo material como também o subsunçor, havendo uma interação entre eles. Isso mostra que os subsunçores sofrem modificações, apresentando diferentes níveis de conhecimento e uma variedade de elementos, dependendo das experiências de aprendizagem vividas pela pessoa (ARAÚJO, 2005). É o que ocorre, por exemplo, quando o aluno, já de posse do conceito de campo, assimila o conceito de campo gravitacional. O conceito de campo passa então a ser mais inclusivo e modificado, pois agora, o conceito mais geral de campo abrange também o campo gravitacional.

3.1.5 Aprendizagem Mecânica

Contrária à aprendizagem significativa, Ausubel define aprendizagem mecânica como “aquela em que novas informações são aprendidas praticamente sem interagirem com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva, sem ligarem-se a conceitos subsunçores específicos” (MOREIRA, 2006a, p. 16). Neste processo, a nova informação não interage com

aquela já existente na estrutura cognitiva do aprendiz. A nova informação é armazenada de maneira literal e arbitrária.

Um exemplo disso é quando o aluno memoriza fórmulas para uma prova de física, embora podendo haver algum tipo de associação nesse caso.

É relevante destacar que a aprendizagem mecânica tem um papel importante quando se trata de aquisição de informação em uma área nova de conhecimento. O próprio Ausubel não fazia uma distinção clara entre aprendizagem mecânica e aprendizagem significativa. Elas não formam uma dicotomia, mas os extremos de um contínuo, como nos diz Pelizzari et al (2002, p. 39):

[...] Quanto mais se relaciona o novo conteúdo de maneira substancial e não-arbitrária com algum aspecto da estrutura cognitiva prévia que lhe for relevante, mais próximo se está da aprendizagem significativa. Quanto menos se estabelece esse tipo de relação, mais próxima se está da aprendizagem mecânica ou repetitiva (PELIZZARI et al, 2002, p. 39).

3.1.6 Aprendizagem Receptiva e Aprendizagem por Descoberta

De modo geral, tanto a aprendizagem significativa quanto a mecânica podem apresentar dois tipos básicos de aprendizagem: a aprendizagem por recepção e por descoberta.

A aprendizagem por recepção ocorre quando o conteúdo a ser aprendido é apresentado na sua forma final, não envolvendo qualquer descoberta independente por parte do aluno, ficando disponível para utilização e reprodução futuras. Já na aprendizagem por descoberta, o conteúdo principal a ser aprendido deve ser descoberto pelo aluno. Porém “após a descoberta, a aprendizagem só é significativa se o conteúdo descoberto estabelecer ligações a conceitos subsunçores relevantes já existentes na estrutura cognitiva” (MOREIRA, 2006a, p. 17).

A maior parte da instrução em sala de aula é transmitida por recepção, porém, toda aprendizagem em sala de aula localiza-se ao longo de dois contínuos: o contínuo aprendizagem mecânica – aprendizagem significativa e aprendizagem por recepção – aprendizagem por descoberta (PENICHE, 2000).

3.1.7 Subsunçores

Subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura cognitiva do indivíduo, que permite ao aprendiz dar significado a um novo conhecimento apresentado ou descoberto (MOREIRA, 2010). Os subsunçores constituem o que chamamos de

conhecimento prévio, e são necessários para que o educando consiga atribuir significado ao que está aprendendo. Eles funcionam como “ancoradouro” para novas informações. Este processo de “ancoragem” também modifica o subsunçor, tornando-o mais inclusivo e relevante para novas ideias.

Um exemplo dessa modificação com a interação é o conceito de força e campo dentro da Física. Estes conceitos estando já presentes na estrutura cognitiva do aluno servirão de subsunçores para novas informações referentes a outros tipos de forças e de campos, como, por exemplo, o campo eletromagnético. Acontecendo isto, o subsunçor se torna mais inclusivo e elaborado, podendo servir de âncora para outros conceitos relativos a forças e campos.

Quando não há subsunçores presentes na estrutura cognitiva, uma possível solução seria a aprendizagem mecânica. A aprendizagem mecânica é sempre necessária quando o indivíduo adquire novas informações em uma área nova de conhecimento (NOVAK, apud MOREIRA, 2006a). Ausubel, porém, propõe a utilização de organizadores prévios. Os organizadores prévios são materiais introdutórios que são apresentados antes do próprio material a ser aprendido, num nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade do que o material que vai ser ensinado (MOREIRA, 2006a). Eles servem como uma estratégia para se manipular a estrutura cognitiva, para que ocorra a aprendizagem, também tornam consistentes as relações entre ideias estabelecidas e as novas ideias, bem como mostrar também as divergências. Sua principal função então é preencher a lacuna entre o que o aluno já sabe e o que ele precisa saber, afim de que o novo conhecimento seja recebido de forma significativa.

3.1.8 Condições para a Aprendizagem Significativa

Segundo Praia (2000), dois são os princípios facilitadores da aprendizagem significativa: a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa. Sendo assim, a TAS se assenta sobre dois princípios:

- Ideias mais gerais devem ser apresentadas em primeiro lugar e, posteriormente e progressivamente, diferenciadas em termos mais específicos.
- As unidades programáticas devem proceder à integração dos novos materiais com uma prévia informação introdutória, através de comparações e referências cruzadas entre as ideias novas e as já existentes.

Para que a aprendizagem significativa possa ocorrer, são necessárias duas principais condições (MOREIRA e MASINI, 1982):

- a) O material a ser aprendido deve ser potencialmente significativo, isto é, relacionável a sua estrutura cognitiva de forma não-arbitrária e não-literal;
- b) O aprendiz deve manifestar uma disposição de relacionar o novo material de maneira substantiva e não-arbitrária a sua estrutura cognitiva.

A primeira dessas condições depende de pelo menos dois outros fatores: a natureza do material e a natureza da estrutura cognitiva do aprendiz. A natureza do material a ser aprendido deve ser logicamente significativa, ou seja, suficientemente não arbitrária e não-aleatória em si, de modo que possa se relacionar de forma substantiva e não-arbitrária a conceitos e ideias relevantes dentro do domínio da capacidade humana de aprender. O outro fator importante é a estrutura cognitiva do aprendiz. Nela devem estar presentes os subsunçores necessários para que ocorra a aprendizagem significativa pelos motivos já expostos anteriormente.

A segunda condição para a ocorrência de aprendizagem significativa tem a ver com o interesse do aluno. Ele deve ter disposição para relacionar o novo material de maneira não-arbitrária e substantivamente à sua estrutura cognitiva. Para Cruz (apud KIEFER e PILATTI, 2014), a questão do interesse não é de fácil manipulação, visto que está relacionada a fatores sociais e idiossincráticos específico de cada aluno, além da atração pela própria disciplina. No entanto, ainda de acordo com o autor, a posse de ideias bases para o trabalho que será aplicado (os subsunçores) é algo que se pode verificar, podendo ser útil a utilização de pré-testes onde a presença de conceitos básicos podem ser verificada, e , se não encontrados, o professor pode iniciar o trabalho a partir dos conceitos deficientes, para que estes sejam estabelecidos de forma estável e clara na estrutura cognitiva dos estudantes, podendo, assim, o professor seguir com o conteúdo da disciplina propriamente dita (CRUZ, 200-, s.p., apud KIEFER e PILATTI, 2014).

Aqui vale ressaltar o papel do professor. Como o eixo central da aprendizagem significativa de Ausubel é a aprendizagem por recepção, sem o professor não ocorre uma aprendizagem significativa (KIEFER e PILATTI, 2014).

3.1.9 Evidências da Aprendizagem Significativa

Relacionar uma teoria de aprendizagem a uma metodologia em sala de aula não é suficiente para se verificar sua eficácia. São necessários meios para se avaliar se os objetivos foram alcançados ou não. Segundo Ausubel (apud MOREIRA e MASINI, 1982), a compreensão genuína de conceito ou proposição presume a posse de significados claros, precisos, diferenciados e transferíveis. Mas ao testar esse conhecimento, pode-se obter apenas respostas mecanicamente memorizadas. Uma longa experiência em realizar exames faz com

que o aluno se habitue a memorizar fórmulas, causas, exemplos, explicações e maneiras de resolver problemas típicos. A seguir, apresentamos algumas diretrizes para se identificar evidências de aprendizagem significativa (ibid. p. 16).

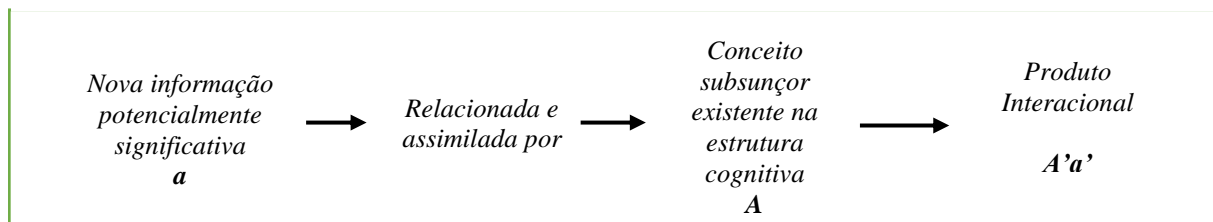
- Utilizar questões e problemas que sejam novos e não-familiares e requeiram máxima transformação do conhecimento existente. Solução de problemas é um método válido e prático.
- Solicitar aos estudantes que diferencie ideias relacionadas, mas não idênticas, ou que identifiquem os elementos de um conceito ou proposição de uma lista contendo, também, os elementos de outros conceitos e proposições similares.
- Propor ao aprendiz uma tarefa de aprendizagem, sequencialmente dependente de outra, que não possa ser executada sem um perfeito domínio da precedente.

Moreira (2010) propõe que a avaliação deve ser formativa e recursiva. Por formativa, argumenta que é necessário buscar evidências de aprendizagem significativa, ao invés de se determinar se ocorreu ou não. Por recursiva, diz que é importante permitir que o aluno refaça, mais de uma vez se necessário, as tarefas de aprendizagem, a fim de que o aluno externalize os significados que está captando, que explique e justifique suas respostas. Mas, apesar de tudo isso, é “bastante difícil a avaliação da aprendizagem significativa” (ibid., p.24), visto que ela exige uma nova postura frente a avaliação.

3.1.10 Assimilação e Assimilação Obliteradora

Para ficar mais claro o processo de aquisição e organização de significados na estrutura cognitiva, Ausubel propõe a “teoria da assimilação” (MOREIRA, 1999). A teoria possui valor explanatório tanto para a aprendizagem como para a retenção, e de maneira esquemática pode ser representada segundo o esquema a seguir:

Figura 2: Teoria da Assimilação



Fonte: Adaptado de MOREIRA, 2006a, p. 29.

A assimilação é o processo que ocorre quando uma nova informação *a*, potencialmente significativa, é assimilada sob um subsunçor *A*, já presente na estrutura cognitiva do aprendiz. Quando isso acontece, tanto a nova informação *a* como o subsunçor *A* sofrem modificações a partir da interação entre eles, resultando no produto *A'a'* que permanecem relacionados como coparticipantes de uma nova unidade, *A'a'*.

Ausubel (2003) explica esta relação da seguinte maneira:

Por exemplo, se *A* for o conceito de pecado cristão existente na estrutura cognitiva de uma criança, *a* pode ser uma apresentação de conceitos budistas de pecado, alterando, assim, ligeiramente o conceito que a criança tem de pecado cristão (*A'*), além de produzir um novo significado idiossincrático para o pecado budista (*a'*) (AUSUBEL, 2003, p. 105).

Quando a relação *A'a'* é estabelecida, ocorre o processo de retenção do novo conhecimento. Ausubel propõe que, à medida que o processo de assimilação ocorre, os significados de conceitos componentes podem já não ser dissociáveis das respectivas ideias às quais foram ancoradas (AUSUBEL, 2003). Logo, ocorre o que Ausubel chama de assimilação obliterante, ou um esquecimento significativo, um processo que, devido a reconciliação integradora, torna a nova informação *a'* indissociável de *A'* por algum tempo, e considera-se, portanto, esquecido.

Um exemplo desse processo é apresentado por Moreira e Masini (1982):

Por exemplo, se o conceito de força nuclear deve ser aprendido por um aluno que já possui o conceito de força bem estabelecido em sua estrutura cognitiva, o novo conceito específico (força nuclear) será assimilado pelo conceito mais inclusivo (força) já adquirido. Entretanto, considerando que esse tipo de força é de curto alcance (em contraposição aos outros que são de longo alcance), não somente o conceito de força nuclear adquirirá significado para o aluno, mas também o conceito geral de força que ele já tinha será modificado e tornar-se-á mais inclusivo (i.e. seu conceito de força incluirá agora também forças de curto alcance) (MOREIRA e MASINI, 1982, p. 17).

3.1.11 Diferenciação Progressiva e Reconciliação Integrativa

No processo de aprendizagem significativa, os conceitos são desenvolvidos, elaborados e diferenciados entre si devido as sucessivas interações. Segundo a concepção de Ausubel, o desenvolvimento de conceitos é facilitado quando os elementos mais gerais, mais inclusivos são introduzidos em primeiro lugar e depois este é progressivamente diferenciado em termos de detalhe e especificidade (ARAÚJO, 2005). É o que Ausubel chama de diferenciação progressiva. Ao propor isso, ele se baseia em duas hipóteses (MOREIRA e MASINI, 1982, p. 22):

- a) É mais fácil para o ser humano captar aspectos diferenciados de um todo mais inclusivo previamente aprendido, do que chegar ao todo a partir de suas partes diferenciadas;
- b) A organização do conteúdo de uma certa disciplina, na mente de um indivíduo, é uma estrutura hierárquica na qual as ideias mais inclusivas estão no topo da estrutura e, progressivamente, incorporam proposições, conceitos e fatos menos inclusivos e mais diferenciados.

O conteúdo também deve explorar as relações entre proposições e conceitos, diferenças e similaridades importantes e reconciliar inconsistências reais ou aparentes, o que Ausubel chama de reconciliação integrativa.

Então, podemos definir os dois princípios acima da seguinte forma (ibid., p. 22):

- Diferenciação progressiva: é o princípio pelo qual o assunto deve ser programado de forma que as ideias mais gerais e inclusivas da disciplina sejam apresentadas antes e, progressivamente diferenciadas, introduzindo os detalhes específicos necessários. Essa ordem de apresentação corresponde à sequência natural da consciência, quando um ser humano é espontaneamente exposto a um campo inteiramente novo de conhecimento;
- Reconciliação integrativa: é o princípio pelo qual a programação do material instrucional deve ser feita para explorar relações entre ideias, apontar similaridades e diferenças significativas, reconciliando discrepâncias reais ou aparentes.

Segundo Ausubel (apud MOREIRA, 1999), os dois princípios acima podem ser implementados na prática através do uso de organizadores prévios. A diferenciação progressiva e a reconciliação integradora também podem ser promovidas por meio do uso de mapas conceituais (MOREIRA e BUCHWEITZ *apud* MOREIRA, 1999).

3.1.12 Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa

Os mapas conceituais foram introduzidos a partir dos estudos de Joseph D. Novak, que foi quem elaborou, refinou e divulgou a TAS.

De maneira ampla, mapas conceituais são diagramas que indicam relações entre conceitos. Porém, de maneira mais específica, são diagramas hierárquicos que procuram refletir a organização conceitual de um corpo de conhecimentos ou de parte dele, ou seja, sua existência deriva da estrutura conceitual de um conhecimento (MOREIRA, 2006b).

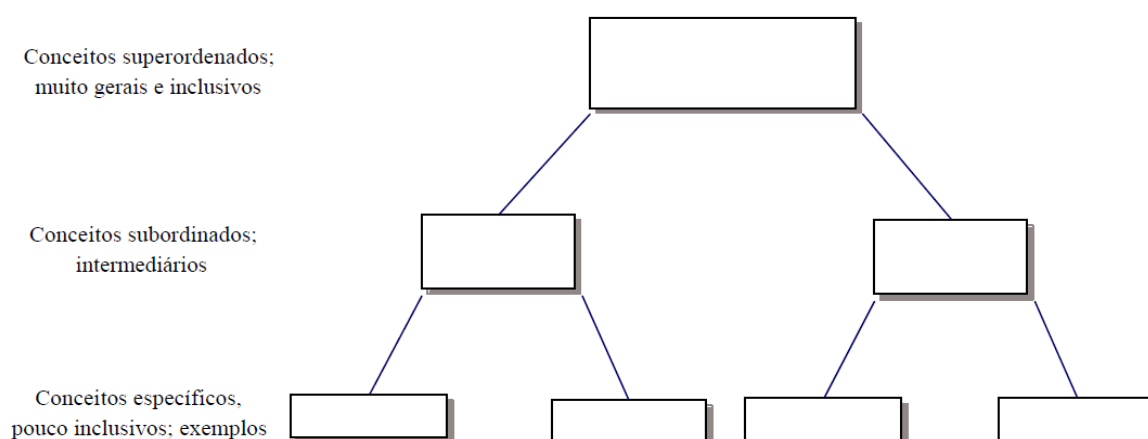
Os mapas conceituais podem ter uma, duas ou mais dimensões. Porém, mapas bidimensionais permitem uma relação mais completa entre os conceitos. Dessa forma, como proposto por Moreira (ibid., p.10), os mapas adotados para este referencial teórico serão

diagramas bidimensionais que procuram mostrar relações hierárquicas entre conceitos de um corpo de conhecimento e que derivam sua existência da própria estrutura conceitual desse corpo de conhecimento.

Segundo Novak e Gowin (1984), o objetivo dos mapas conceituais é representar relações significativas entre conceitos na forma de proposições. Uma proposição consiste em dois ou mais termos conceituais ligados por palavras de modo a formar uma unidade semântica. Os mapas conceituais assim funcionam por que, excetuando-se um número pequeno de conceitos adquiridos muito cedo pelas crianças, a maioria dos significados dos conceitos são por proposições.

Os mapas conceituais também devem ser hierárquicos (ibid., p. 33), ou seja, os conceitos mais gerais e mais inclusivos devem ficar no topo, sendo seguido pelos conceitos mais específicos e menos inclusivos. O modelo abaixo mostra de maneira simples a confecção de um mapa conceitual.

Figura 3: Modelo de Mapa Conceitual



Fonte: MOREIRA e MASINI, 1982, p. 47.

O modelo acima propõe uma hierarquia vertical, onde o conceito mais inclusivo fica na parte de cima, seguido pelos conceitos mais específicos e menos abrangentes abaixo. Conceitos com o mesmo nível de generalidade e inclusividade aparecem na mesma posição vertical.

3.1.12.1 Aplicação dos mapas conceituais

Segundo Novak e Gowin (1984), os mapas conceituais podem ser utilizados no processo educacional das seguintes formas:

- a) ***Exploração do que o aluno já sabe:*** como Novak parte da teoria significativa de Ausubel, sua teoria a respeito dos mapas requer o conhecimento do conhecimento prévio do aluno. Segundo o próprio Ausubel, se sua teoria tivesse que ser reduzida em um só princípio diria que: “O fator mais importante que influencia a aprendizagem é o que o aluno já sabe. Averigüe isto e ensine o aluno em conformidade” (AUSUBEL, 1978, apud NOVAK e GOWIN, 1984, p. 56). Porém, Ausubel não propôs instrumento para averiguar o conhecimento prévio que o aluno tem. Os mapas conceituais podem fazer isso, pois foram desenvolvidos para externar a estrutura cognitiva do aprendiz, expondo o que ele já sabe sobre determinado assunto.
- b) ***Traçado de um roteiro de aprendizagem:*** mapas conceituais mostram a relação entre ideias da mesma forma que um mapa de uma estrada mostra a ligação entre lugares. Podemos construir mapas conceituais globais que evidenciem as ideias mais importantes de um semestre ou de um ano, de semanas, ou de alguns dias de aula. Assim como um mapa de estrada, os alunos podem adquirir ou relembrar o agregado de ideias coordenadas oferecido pelo mapa conceitual.
- c) ***Extrair significados dos livros textos:*** a leitura é um meio muito útil de se aprender significados. Os mapas conceituais com seis ou sete conceitos e proposições podem dirigir a leitura de uma seção de um livro, quebrando o círculo vicioso “pouco significativo – difícil de ler”.
- d) ***Extrair significado de trabalhos de laboratórios, de campo e/ou de estúdio:*** “Os mapas conceituais podem ser utilizados para ajudar os estudantes a identificarem os conceitos chave e suas relações, o que por sua vez os ajudará a interpretar os acontecimentos e objetos que observam” (NOVAK e GOWIN, 1984, p.64).
- e) ***Leitura de artigos em jornais e revistas:*** os mapas conceituais pode ser uma boa “estenografia” para tomar notas de artigos e jornais, revistas ou publicações especializadas, permitindo identificar os conceitos chave e/ou proposições e reformular de uma forma resumida os principais pontos de um artigo.
- f) ***Preparação de trabalhos escritos ou de exposição orais:*** as mensagens escritas seguem uma sequência linear de conceitos e proposições, enquanto nossa mente armazena o conhecimento de forma hierárquica ou holográfica. Quando escrevemos ou dizemos algo, esta informação deve ir de forma linear. Porém, quando ouvimos, essa informação se organiza de forma hierárquica. Os mapas conceituais podem ajudar nessa transformação linguístico-psicológica.

3.1.12.2 A pontuação dos mapas conceituais

Novak e Gowin (1984) propõem os seguintes critérios de classificação para mapas conceituais:

- *Proposições*: se a relação de significado entre dois conceitos for válida e representada por setas com palavras de ligação, atribuir 1 ponto para cada proposição válida.
- *Hierarquia*: se o mapa revelar hierarquia, se os conceitos subordinados são mais específicos e menos geral que o conceito acima dele, atribuir 5 pontos por cada nível hierárquico.
- *Ligações cruzadas*: o mapa revela ligações cruzadas significativas? As relações são válidas? Atribuir 10 pontos para cada ligação cruzada válida e significativa. Se a relação for válida, mas não traduzir qualquer síntese entre grupos de proposições ou conceitos relacionados, atribuir apenas 2 pontos. Um ponto a ser observado é que as ligações cruzadas podem indicar capacidade criativa, que podem receber um reconhecimento especial ou uma pontuação adicional.
- *Exemplos*: os exemplos (acontecimentos ou objetos concretos) que sejam válidos podem valer 1 ponto.

Assim, a pontuação proposta por Novak e Gowin pode ser organizada como na tabela abaixo.

Figura 4: Critérios de Classificação dos Mapas Conceituais segundo Novak e Gowin

<i>Critérios Classificatórios</i>	<i>Pontuação de acordo com cada característica dos Critérios Classificatórios</i>
Proposições (ligações entre dois conceitos): <i>cada ligação se for válida e significativa</i>	1
Hierarquia: <i>cada nível válido</i>	5
Ligações Transversais: <i>cada ligação se for válida e significativa</i>	10
Exemplos: <i>cada exemplo válido</i>	1

Fonte: Almeida, Souza e Urenda, 2003, p. 6.

4 CONHECIMENTOS FÍSICOS PARA O FUNCIONAMENTO DO BIODIGESTOR

Neste capítulo será apresentada a base teórica que norteou as exposições em sala de aula, bem como o funcionamento do biodigestor. Vale lembrar que durante as aulas teóricas, devido à interdisciplinaridade envolvida no funcionamento do biodigestor, foram ministradas aulas sobre a transferência de energia no ecossistema (ecologia).

Abordamos aqui os conteúdos principais que serviram de ideias iniciais para a absorção do conteúdo que foi explorado no funcionamento do biodigestor.

4.1 Biodigestor: tipos e funcionamento

O biodigestor, ou simplesmente digestor, é uma câmara de fermentação onde a biomassa sofre a digestão anaeróbica, produzindo gás (COMASTRI, 1981). É um reator onde microrganismos degradam a matéria orgânica na ausência de oxigênio. Alguns de seus benefícios são (OLIVER et al, 2008):

- Geração de biogás, energia renovável e limpa;
- Produção de biofertilizantes, utilizado como adubo.
- Melhoria nas condições de higiene para animais e pessoas.
- Benefícios ambientais, como, por exemplo, redução de emissão de gases do efeito estufa.
- Benefícios sociais e econômicos: o biogás gera economia de GLP (gás liquefeito de petróleo).
- Tecnologia sustentável: permite o máximo de aproveitamento de dejetos que de outra forma contaminariam o meio ambiente.

Esses são pontos importantes que justificam a utilização do biodigestor como eixo principal, pois fazem parte de temáticas atuais onde espera-se que o aluno atue como modificador do meio com base naquilo que ele aprende na escola.

4.1.1 Tipos de biodigestores

Os tipos de biodigestor são o contínuo e o descontínuo. No biodigestor descontínuo, chamado também de batelada, a matéria orgânica é inserida de uma só vez e o biodigestor fechado hermeticamente, sendo aberto novamente só após o término da produção de biogás, para retirada dos resíduos. O modelo didático utilizado nesta pesquisa se aproxima do modelo batelada, formado por um pequeno tanque anaeróbico, sendo abastecido uma única vez, mantendo-se em fermentação por um tempo, sendo descarregado posteriormente (DEGANUTTI et al., 2002).

Já os biodigestores contínuos permitem inserir a matéria orgânica concomitantemente com o processo de biodigestão, bem como também permite a retirada dos resíduos a qualquer tempo durante o funcionamento. Os tipos de biodigestores mais usados são o Canadense, Indiano e Chinês (CASTANHO e ARRUDA, 2008).

4.1.2 Funcionamento

Os produtos principais da biodigestão são o biogás e biofertilizantes. Estes são produzidos a partir da digestão anaeróbica de matéria orgânica (substrato), sendo os substratos ideais resíduos orgânicos de origem agrícola, industrial, doméstico, bem como resíduos de indústria alimentícia e excremento de origem animal ou humana (SOLANO, VARGAS, WATSON, 2010). A digestão anaeróbia é aquela que ocorre sem a presença de oxigênio. Por isso, o biodigestor deve ser fechado hermeticamente.

O biogás é uma mistura gasosa composta principalmente por metano (50% - 75% em volume) e dióxido de carbono (25% - 50% em volume), contendo ainda algumas pequenas quantidades de hidrogênio, sulfeto de hidrogênio, amônia e outros gases.

Tabela 1: Composição básica do biogás

Componente	Concentração
Metano (CH ₄)	50% - 75% em vol.
Dióxido de carbono (CO ₂)	25% - 45% em vol.
Água (H ₂ O)	2% - 7% em vol. (20 - 40 °C)
Sulfeto de hidrogênio (H ₂ S)	20 - 20.000 ppm
Nitrogênio (N ₂)	< 2% em vol.
Oxigênio (O ₂)	< 2% em vol.
Hidrogênio (H ₂)	< 1% em vol.

Fonte: Guia Prático do Biogás, 2010, p.29

Outro subproduto da biodigestão é o biofertilizante. Trata-se de um adubo orgânico, que pode ser usado diretamente no solo. Em média, apresentam em sua composição nitrogênio (1,0 a 1,5%), fósforo (1,0 a 1,5%) e potássio (0,5 a 1,0%), variando essa porcentagem dependendo do substrato e do manejo do biodigestor (ALVES, IOUANE & BORGES, 2010). O biofertilizante pode ser usado em hortas ou nas plantas em geral, contribuindo para um cultivo orgânico, livre de agrotóxicos.

O gás formado a partir da biodigestão é um dos principais conceitos a ser explorado pelo professor. O que é um gás? Quais as suas características? Como pode ser medido? Para auxílio do professor, os itens a seguir fornecem uma explanação dos conceitos físicos que envolvem a temática dos gases.

4.2 O que é um gás?

Quando observamos a natureza, vemos que a matéria se apresenta principalmente em três estados (ou fases) físicos: *líquido, sólido e gasoso*. O estado da matéria vai depender de sua temperatura e da pressão que é exercida sobre ela (HEWITT, 2015). Devido às propriedades macroscópicas dos estados líquido, sólido e gasoso, podemos diferenciá-los facilmente. O estado líquido apresenta volume definido, porém, sua forma é indefinida, assumindo a forma do recipiente que o contém. O estado sólido possui forma e volume definidos. Já o estado gasoso não possui nem forma nem volume definidos. Essas características provêm da natureza microscópica da matéria.

No estado sólido, devido à atração mútua e intensa dos átomos ou moléculas, a matéria forma uma estrutura rígida que garante forma e volume definidos. No estado líquido, as moléculas possuem mais energia, permitindo o movimento com maior facilidade, o que dá ao estado volume definido, mas forma variável. No estado gasoso, as moléculas possuem uma quantidade de energia que permite as moléculas se moverem com muito mais facilidade, dando ao estado gasoso forma e volume indefinidos.

Uma substância muda de estado físico quando recebe certa quantidade de calor que não resulta em mudança de temperatura (aumentar ou diminuir, dependendo se a substância recebeu ou perdeu calor). Se a temperatura não varia, o calor está sendo usado em outro processo. É o que acontece quando uma substância está mudando de estado físico.

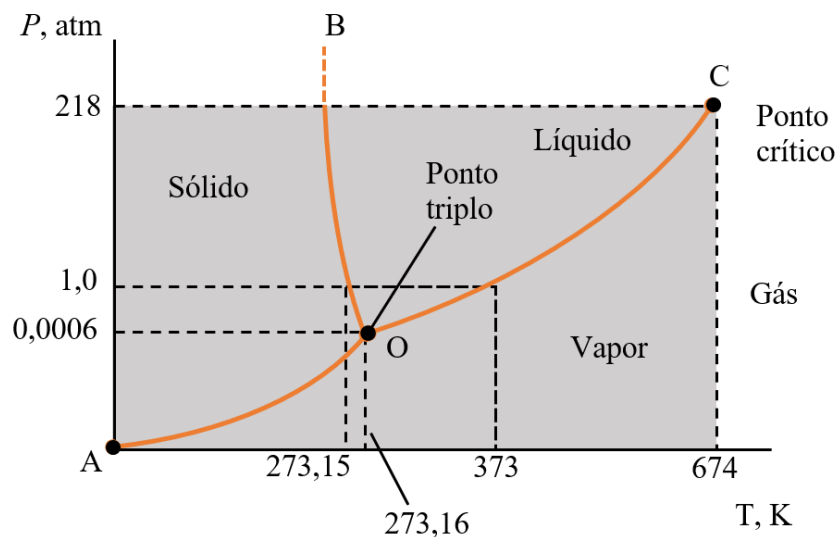
A quantidade de calor recebida ou cedida por um corpo que provoca a mudança de estado físico é chamada quantidade de calor latente, dada por:

$$Q = \pm m \cdot L$$

4.2.1 Influência da pressão nas temperaturas de mudança de estado.

Não é somente a temperatura que influencia na mudança de estado físico de uma substância. A pressão também. O diagrama que mostra o estado físico de uma substância pura em determinadas condições de temperatura e pressão é chamado diagrama de fases. Abaixo, temos o diagrama de fases para a água.

Figura 5: Diagrama de fases da água



Fonte: Adaptado de TIPLER e MOSCA (2009), p.676.

Entre *O* e *C* temos a pressão de vapor versus temperatura. À medida que o recipiente contendo a água é aquecido, a massa específica do líquido diminui e a massa específica do vapor aumenta. No ponto *C* as massas específicas são iguais. O ponto *C* é chamado ponto crítico, onde nele e acima dele não há distinção de líquido ou gás. Acima da temperatura crítica, um gás não condensará para nenhum valor de pressão.

Se o recipiente for resfriado, a substância volta pelo caminho *OC*, até atingir o ponto triplo *O*, começando a se solidificar. No ponto triplo, a substância coexiste nos três estados físicos em equilíbrio. Para temperaturas e pressões abaixo do ponto triplo, o líquido não pode existir. Toda substância tem um ponto triplo único em valores específicos de temperatura e pressão. No caso da água, o ponto triplo é a 273,16 K (0,01°C) e a pressão é 4,58 mmHg (TIPLER e MOSCA, 2009).

Ainda observando o gráfico da figura, a curva *AO* identifica as pressões e as temperaturas para as quais o sólido e o vapor coexistem em equilíbrio. A curva *OB* é a curva de fusão que separa as fases líquida e sólida. No caso da água, a curva se inclina para a esquerda, visto que para a água a temperatura de fusão diminui com o aumento da pressão. Para as outras substâncias a temperatura de fusão aumenta com o aumento da pressão, inclinando a curva *OB* para cima e para a direita, a partir do ponto triplo. Para quase todos os materiais conhecidos, as pressões críticas são muito maiores que a pressão atmosférica, não sendo observável esse comportamento na vida cotidiana. As caldeiras que aquecem vapor em usinas termoelétricas, em geral, mantêm gás em temperaturas e pressões maiores que os valores correspondentes no ponto triplo (YOUNG e FREEDMAN, 2015).

Destacamos aqui um ponto importante do diagrama de fases da figura anterior: a partir da temperatura crítica não pode ocorrer mais a liquefação ou condensação. Ou seja, a partir do ponto crítico, a substância sempre estará no estado gasoso, qualquer que seja o valor da pressão. A partir desta compreensão, podemos diferenciar gás de vapor:

- **Gás:** corresponde a uma substância que, se encontrando na fase gasosa, está a uma temperatura superior à temperatura crítica, não podendo ser liquefeita, ainda que se aumente a pressão (compressão isotérmica).
- **Vapor:** corresponde a substância que, na fase gasosa, está a uma temperatura abaixo da temperatura crítica, podendo ser liquefeita com o aumento da pressão, mantendo-se constante a temperatura (compressão isotérmica).

Quando analisamos a constituição do biogás, vemos que seus maiores componentes são o metano e o dióxido de carbono. O metano, possui temperatura crítica no valor de $-82,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Então, de acordo com o exposto acima, na temperatura ambiente, não é possível liquefazê-lo. Já o dióxido de carbono, tem temperatura crítica de $31\text{ }^{\circ}\text{C}$, podendo então ser liquefeito por compressão isotérmica, se a temperatura ambiente for menor que 31°C . Porém, para que haja essa compressão, é necessário uma alta pressão, chamada pressão crítica, no valor de $72,9\text{ atm}$. Então, levando em conta que esses dois componentes formam a maioria na constituição do biogás, pode-se afirmar que é impossível liquefazê-lo em temperatura ambiente, sendo, portanto, realmente um gás.

4.2.2 A Teoria Cinética dos Gases

Dentro do estudo da Termodinâmica, um dos tópicos principais é o estudo dos gases. Um gás é formado por átomos isolados ou unidos em moléculas qu pelas características já

estudadas anteriormente, tem volume e forma variáveis, exercendo pressão sobre as paredes do recipiente que o contém. Devido ao movimento constante dos átomos, podemos estabelecer três propriedades que estão relacionadas a este movimento: volume (V), temperatura (T) e pressão (P). A *teoria cinética dos gases* relaciona estas três variáveis ao movimento dos átomos de um gás.

Para o início do estudo da teoria cinética dos gases, precisamos primeiramente saber quanto de gás existe em uma amostra. Isso é possível através do número de Avogadro.

4.2.3 O Número de Avogadro.

Quando lidamos com gases, faz sentido medirmos as amostras em mols, que no SI é definido como o número de átomos em uma amostra de 12g de carbono 12. Para sabermos quantos átomos ou molécula existem em um mol, usamos o número de Avogadro (N_A) que foi obtido experimentalmente, tendo o valor de:

$$N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

ou seja, em um mol temos $6,02 \cdot 10^{23}$ unidades (moléculas ou átomos).

A massa molar M de um gás é obtida pelo produto massa molecular (m) e o número de Avogadro. Se quisermos saber o número de mols n de uma amostra, podemos dividir a massa da amostra (M_a) pela massa molar M , logo:

$$n = \frac{M_a}{M} \quad \text{onde} \quad M = m \cdot N_A$$

se quisermos saber o número total de moléculas N de um gás, basta multiplicar o número de moles n pelo número de Avogadro.

$$N = n \cdot N_A$$

4.2.4 O Gás Ideal

Os diferentes gases existentes na natureza (hidrogênio, oxigênio, hélio e etc.), devido às suas características moleculares, apresentam comportamentos diferentes. Esses gases são chamados gases reais. Para melhor entender o comportamento dos gases reais, determinou-se um gás hipotético, chamado gás ideal ou gás perfeito. No gás ideal, pode-se desprezar os efeitos das forças intermoleculares e o tamanho finito das moléculas individuais (HEWITT, 2015). Todos os gases reais se aproximam dos gases ideais quando suas concentrações forem

suficientemente baixas, quando suas moléculas estão tão distantes umas das outras que podemos considerar a interação entre elas nula. Esse comportamento ocorre quanto maior for a temperatura e menor a pressão do gás.

4.2.5 Energia Interna de um Gás Ideal

A energia cinética de translação K das moléculas de um gás ideal está relacionada à temperatura absoluta T pela equação:

$$K = \frac{3}{2} nRT$$

Se a energia interna de um gás ideal é apenas a energia cinética de translação, então temos:

$$E_{int} = \frac{3}{2} nRT$$

Por esta equação, temos: n = número de moles do gás; R = chamada **constante universal dos gases**.

$$R = 8,31 \text{ J/mol.K}$$

Pela equação acima, podemos observar que, para um gás ideal, a energia interna depende apenas da temperatura, não do seu volume ou pressão.

4.2.6 Variáveis de Estado de um Gás Ideal.

Qualquer tipo de fluido homogêneo pode ter o estado de equilíbrio termodinâmico inteiramente caracterizado por qualquer par de três variáveis: P (*pressão*), V (*volume*) e T (*temperatura*) (NUSSENZVEIG, 2002). Isso significa dizer que a terceira é uma função de outras duas variáveis, guardando entre elas a seguinte relação:

$$f(P, V, T) = 0$$

Essas variáveis, quando relacionadas à um gás ideal, são chamadas variáveis de estado de um gás ideal.

4.2.7 O Volume de um Gás Ideal.

Como vimos anteriormente, uma das características de um gás é o fato de ele não ter forma e nem volume definido, ficando o volume do gás por conta do recipiente que o contém. No SI, o volume é dado em m^3 . Um mol de qualquer gás ocupa sempre o mesmo volume, 22,415 litros.

4.2.8 A Temperatura de um Gás Ideal

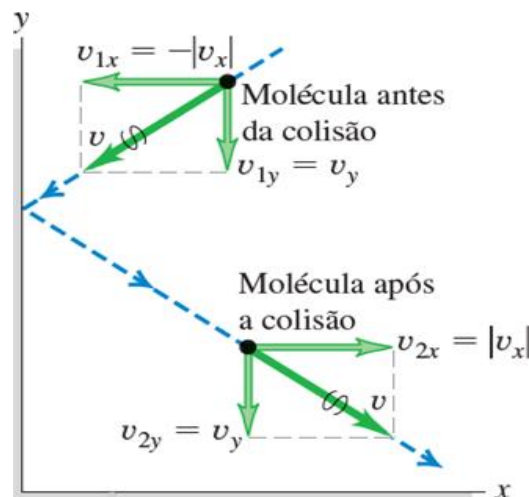
A temperatura de um gás ideal, no SI, é dada em Kelvin (K). Como no Brasil fazemos o uso da escala Celsius, vale lembrar aqui a relação entre as duas escalas:

$$T_K = T_C + 273,15$$

4.2.9 A Pressão de um Gás Ideal e Velocidade Média Quadrática.

Nas colisões, as moléculas exercem forças sobre as paredes do recipiente em que o gás se encontra. Essa é a origem da pressão que o gás exerce. Para fins práticos, vamos imaginar uma colisão elástica de uma molécula com uma parede idealizada (figura abaixo).

Figura 6: Esquema da colisão de uma molécula de gás



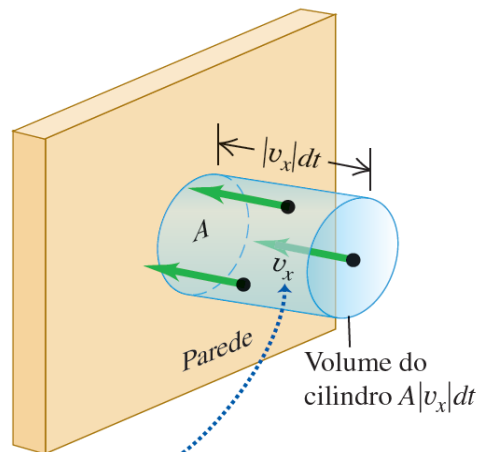
Fonte: adaptado de YOUNG e FREEDMAN, 2015, p. 252.

Vamos agora imaginar que todas as moléculas no gás possuem o mesmo módulo da velocidade $|v_x|$. Para cada colisão, o componente x da velocidade varia de $-|v_x|$ até $+|v_x|$, então, o componente x do momento linear P_x varia de $-m|v_x|$ até $+m|v_x|$, e a variação do componente x do momento linear P_x é dada por:

$$m|v_x| - (-m|v_x|) = 2m|v_x|$$

Suponhamos agora que uma molécula está prestes a colidir com uma área A da parede durante um pequeno intervalo de tempo dt . Então, no início desse intervalo, ela deve estar a uma distância $|v_x|dt$ da parede. Logo, o número de moléculas que colidem com a parede é o mesmo que ocupariam um cilindro imaginário, de volume $A|v_x|dt$, conforme a figura abaixo.

Figura 7: Colisão de uma molécula de gás



Supõe-se que todas as moléculas tenham o mesmo módulo $|v_x|$ do componente x da velocidade.

Fonte: YOUNG e FREEDMAN, 2015, p. 252.

Considerando que o número de moléculas por unidade de volume (N/V) seja uniforme, o número de moléculas no cilindro vale $(N/V)(A|v_x|dt)$. Na média, metade das moléculas se aproximam da parede e as demais se afastam. Logo, o número de colisões na área A durante dt é dado por $\frac{1}{2} \left(\frac{N}{V}\right) (A|v_x|dt)$. Agora, para o sistema constituído por todas as moléculas do gás, a variação total do momento linear dp_x durante dt é igual ao número de colisões multiplicado por $2m|v_x|$:

$$dp_x = \frac{1}{2} \left(\frac{N}{V}\right) (A|v_x|dt)(2m|v_x|) = \frac{NAmv_x^2 dt}{V}$$

Sendo a taxa de variação do componente p_x do momento linear $\frac{dp_x}{dt} = \frac{NAmv_x^2}{V}$, de acordo com a segunda Lei de Newton, essa taxa é, na verdade, a força que a área A da parede exerce sobre as moléculas de gás. Pela terceira Lei de Newton, essa força é igual e contrária à exercida pelas moléculas do gás sobre a parede. Então, a pressão P é dada por:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{Nmv_x^2}{V}$$

onde F é a componente da força perpendicular à área A da superfície em contato. No SI, pressão é dada em N/m^2 .

Na segunda igualdade, temos: N/V = número de moléculas por unidade de volume; m = massa por molécula; v_x^2 = valor médio do quadrado da componente x da velocidade de todas as moléculas.

A expressão acima mostra que a pressão exercida pelo gás depende, na verdade, do número de moléculas por unidade de volume (N/V), da massa m por molécula e da velocidade das moléculas v .

Para qualquer molécula, $v^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$. Como há muitas moléculas se movendo em direções aleatórias, o valor médio do quadrado das componentes da velocidade não depende da direção considerada, portanto, $v_x^2 = v_y^2 = v_z^2$. Assim, temos:

$$P = \frac{Nmv_{méd}^2}{V}$$

A raiz quadrada de $(v^2)_{méd}$ é uma espécie de velocidade média, conhecida como “*velocidade média quadrática*” das moléculas e representada pelo símbolo v_{rms} (HALLIDAY e RESNICK, 2016, p. 496). Esta velocidade é dada por:

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Onde M é a massa molar do gás.

4.2.10 A Lei de Dalton

Quando um recipiente de volume V contém uma mistura de gases que não reagem entre si, a pressão exercida pela mistura é a soma das pressões parciais. Em 1802, Dalton obteve experimentalmente o seguinte resultado: “a pressão exercida pela mistura é a soma das pressões que cada gás componente da mistura exerceria se ocupasse sozinho todo o volume do recipiente” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 243). Esta é a Lei de Dalton.

4.2.11 Condições Normais de Pressão e Temperatura (CNPT)

Dizemos que um gás está no estado normal quando se encontra nas condições normais de pressão e temperatura, que correspondem a:

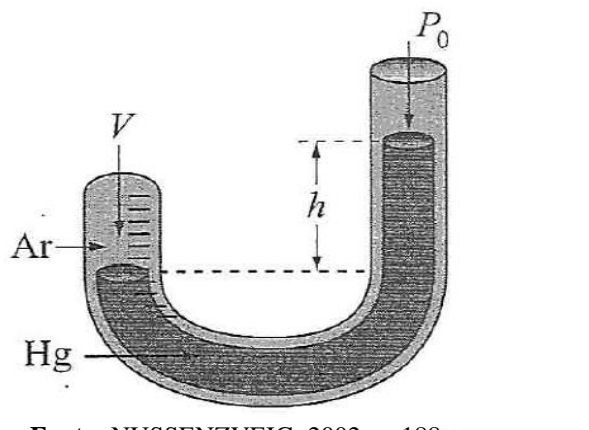
$$P = 1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg}$$

$$T = 273,15 \text{ K}$$

4.2.12 Lei de Boyle

Em 1662, o físico inglês Robert Boyle publicou um livro intitulado “A Mola do Ar”, que continha uma nova lei sobre a elasticidade do ar relacionando a pressão e o seu volume. A experiência realizada por Boyle está ilustrada na figura abaixo:

Figura 8:Experiência de Boyle



Fonte: NUSSENZVEIG, 2002, p. 188.

A partir dessa experiência, a pressão total P sobre o ar de volume V , é obtida por:

$$P = P_0 + \rho gh$$

onde g é a aceleração da gravidade e ρ é a densidade do mercúrio.

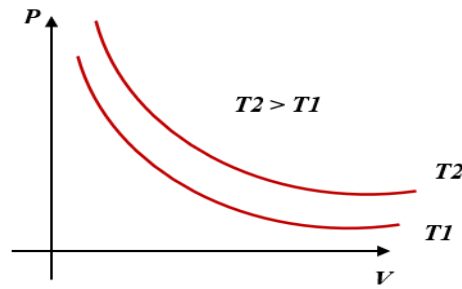
Mantendo a temperatura constante (ambiente), a pressão variava inversamente com o volume,

$$V = k/P \{ PV = cte$$

o que levou Boyle a concluir que:

“O volume de uma dada quantidade de gás, a temperatura constante, varia inversamente com a pressão”

Em 1676, a Mariotte redescobriu a Lei de Boyle de maneira independente, o que faz a lei levar o nome de Boyle-Mariotte. A representação gráfica da Lei de Boyle é uma *isoterma*, que é a equação de uma hipérbole.

Figura 9: Representação gráfica da Lei de Boyle

Representação gráfica da lei de Boyle.

4.2.13 Leis de Charles/Gay-Lussac²

Vamos agora analisar como varia V ou P com T , quando uma das variáveis é mantida constante. Verificando a relação de V com a temperatura T , a pressão constante, veremos que equivale a estudar o coeficiente de dilatação volumétrica β do gás (NUSSENZVEIG, 2002).

Imaginemos um volume V_{θ} de um gás à temperatura T na escala Celsius e volume V_0 correspondente a temperatura de 0°C , ambos sob pressão de 1 atm. Partindo da definição de β , temos:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V_{\theta} - V_0}{V_0} = \beta T \quad (P = 1 \text{ atm})$$

Jacques Charles, físico francês, em 1787, observou que todos os gases têm aproximadamente o mesmo coeficiente de dilatação volumétrica, $\beta \approx 1/273$. Em 1802, esse valor foi mais precisamente verificado por Joseph Louis Gay-Lussac, sendo atualmente aceito por $\beta \approx 1/273,15 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Então, substituindo na equação acima, temos:

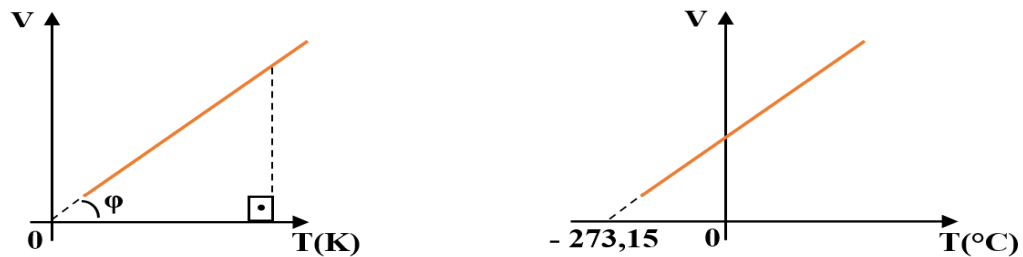
$$V_{\theta} = V_0(1 + \beta\theta) = \frac{V_0}{273,15} (\theta + 273,15)^{\circ}\text{C}$$

Como $(\theta + 273,15)^{\circ}\text{C} = T$ e sendo $T_0 = 273,15 \text{ K} (\approx 0^{\circ}\text{C})$, chegamos à:

$$\frac{V(T)}{V(T_0)} = \frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0} \quad \text{para } P = P_0 = \text{cte}$$

que é a Lei de Charles: “A pressão constante, o volume de um gás é diretamente proporcional à temperatura absoluta.” A representação gráfica da Lei de Charles é um segmento de reta oblíquo aos eixos.

² Nussenzveig (2002) considera a lei de transformações isobáricas e isocóricas como sendo Lei de Charles.

Figura 10: Representação gráfica da lei de Charles

Representação gráfica da lei de Charles para as temperaturas em Kelvin e Celsius.

Quando determinada massa de gás sofre uma transformação à volume constante, dizemos que a transformação é isovolumétrica, isocórica ou isométrica. Aquecendo-se um gás em um recipiente fechado, a energia cinética média das moléculas aumenta, ocasionando um aumento da pressão. Os experimentos da Gay-Lussac levaram a conclusão de que a pressão do gás é diretamente proporcional à temperatura absoluta do gás, logo:

$$\frac{P}{T} = \text{constante}$$

Quando as leis de Charles e Gay-Lussac foram estabelecidas, ainda não havia o conceito de temperatura absoluta. Sendo T a temperatura absoluta e Θ a temperatura em graus Celsius, temos a relação

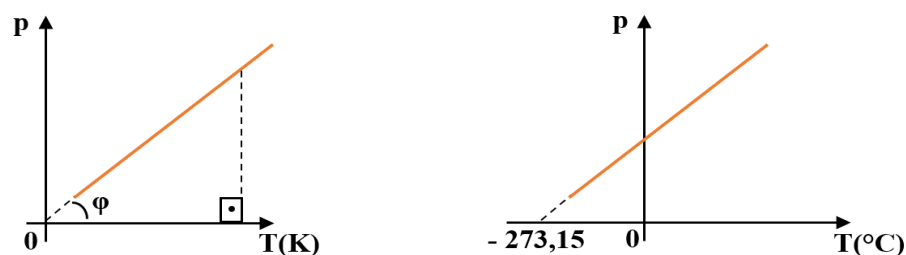
$$T = \Theta + 273,15$$

assim, essas leis na verdade foram expressas nas formas:

$$\frac{V}{\Theta + 273,15} = \text{constante (transformação isobárica)}$$

$$\frac{P}{\Theta + 273,15} = \text{constante (transformação isovolumétrica)}$$

o que nos dá o gráfico para uma transformação isovolumétrica um segmento de reta oblíquo aos eixos.

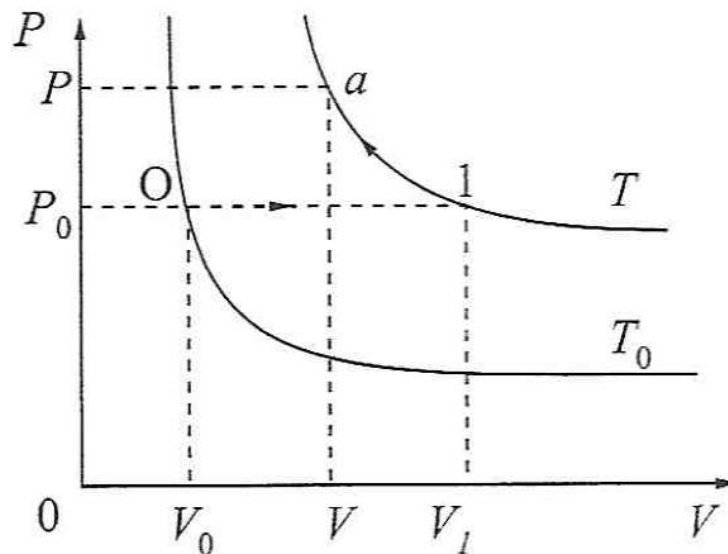
Figura 11: Representação gráfica da Lei de Charles (transformação Isovolumétrica)

Representação gráfica da Lei de Charles para as temperaturas em Kelvin e Celsius.

4.2.14 A Lei Geral dos Gases Ideais

O resultado dos estudos de Boyle, Charles e Gay-Lussac podem ser combinados a ponto de chegarmos à *equação de estado de um gás ideal*. Para isso, vejamos um exemplo proposto por Nussenzveig (2002) de como se pode passar de um estado inicial P_0, V_0, T_0 , para um estado final P, V e T .

Figura 12:Gráfico dos estados P, V, T de um gás ideal



Fonte: NUSSENZVEIG, 2002, p. 190.

No gráfico acima, temos duas isothermas associadas à Lei de Boyle, para uma dada massa de gás. Vamos passar do ponto O para o ponto a do plano.

Podemos passar do ponto O para o ponto a indo primeiramente até ao ponto 1, a pressão constante P_0 , e depois ir até a , a temperatura constante. Pelas relações vistas anteriormente, podemos fazer isso da seguinte maneira:

$$\text{até o ponto } O \Rightarrow \frac{V_1}{V_0} = \frac{T}{T_0} \text{ (com } P = P_0\text{)}$$

$$\text{até o ponto } 1 \Rightarrow P_0 V_1 = PV \text{ (com } T \text{ constante)}$$

Substituindo V_1 na segunda equação pelo seu valor tirado da primeira, temos:

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0} = \text{CONSTANTE}$$

A constante acima depende apenas da natureza do gás e de sua quantidade. Podemos deduzir como isso ocorre a partir da Lei de Avogadro³.

Um mol de uma substância pura equivale a massa molecular dessa substância. Por exemplo, 1 mol de O₂ é igual a 32g. Nas CNPT, a Lei de Avogadro estabelece que 1 mol de qualquer gás ocupa sempre o mesmo volume, 22,415 litros. Logo, se aplicarmos a equação acima a 1 mol de gás, o resultado será o mesmo para qualquer gás, uma constante universal. Esta constante é chamada constante universal dos gases, e vale:

$$R = 8,314 \frac{J}{mol K} = 1,986 \frac{cal}{mol K}$$

Para 1 mol de gás, da equação acima temos:

$$V = \frac{RT}{P}$$

Sendo o volume V diretamente proporcional a quantidade de gás, uma massa de n moles, nas mesmas condições, ocupa um volume n vezes maior, chegando então a

$$PV = nRT$$

onde nesse caso, n é o número de moles.

Chegamos então à Equação de Estado dos Gases Ideais.

4.2.15 A densidade de um Gás Ideal

Se uma certa quantidade de gás ideal tem massa m e volume V , sua densidade é dada por:

$$d = \frac{m}{V}$$

Se o gás for constituído por um único tipo de molécula, a densidade será a massa específica, e teremos: $m = n.M$, onde n número de mols e M é a massa molar do gás. Combinado a equação anterior e a lei geral dos gases ideias, chegamos à expressão:

$$d = \frac{PM}{RT}$$

³ “Volumes iguais de todos os gases, nas mesmas condições de temperatura e pressão, contém o mesmo número de moléculas” (NUSSENZVEIG, 2002, p. 240)

4.3 Equivalência energética do biogás

A tabela abaixo, proposta por Deganutti et al. (2002), apresenta em termos práticos o equivalente energético de 1 m³ de biogás com os combustíveis usuais. Ressalta-se aqui que a porcentagem do metano é o que confere ao biogás um alto poder calorífico, que varia de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico e que, quando submetido a um alto índice de purificação, pode chegar até 12.000 kcal por metro cúbico (GASPAR *apud* SCARPARI, 2009, p. 109).

Tabela 2: Equivalência energética do Biogás

1m³ de Biogás corresponde	
Gasolina	0,61 L
Querosene	0,57 L
Óleo Diesel	0,55 L
Gás Liquefeito	0,45 kg
Álcool Combustível	0,79 L
Lenha	1,538 kg
Energia elétrica	1,428 kWh

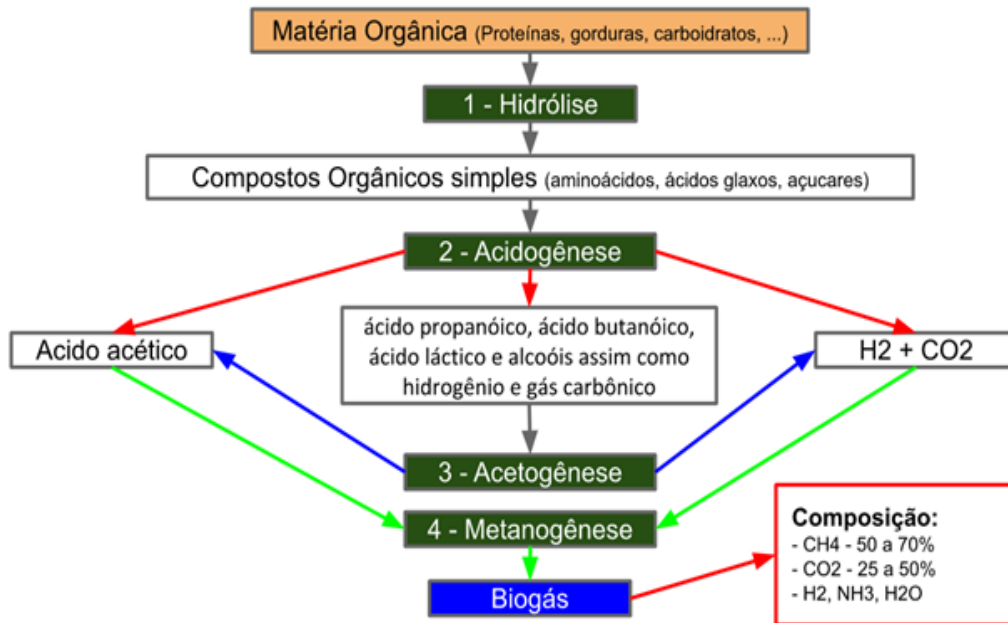
Fonte: Deganutti et al. (2002).

4.4 Estágios de formação do biogás

A biodigestão anaeróbica é realizada por bactérias em quatro fases: a hidrólise, a acidogênese, a acetogênese e a metanogênese (ALVES, INOUE & BORGES, 2010).

1. Hidrólise: resíduos orgânicos são quebrados em partículas simples menores e mais simples por bactérias hidrolíticas.
2. Acidogênese: os produtos solúveis da hidrólise são fermentados e acidificados, formando ácidos orgânicos, CO₂, álcoois etc.
3. Acetogênese: bactérias acetogêneses convertem os produtos da acidogênese em hidrogênio, dióxido de carbono e acetato.
4. Metanogênese: etapa final onde são produzidos o metano e o dióxido de carbono.

Figura 13: Esquema da biodigestão anaeróbia e suas etapas



Fonte: BIODIGESTÃO ANAERÓBIA- www.portaldobiogas.com/biodigestao-anaerobia/

Apesar de ser um processo que ocorre naturalmente, a digestão anaeróbica é afetada por alguns fatores. Segundo Alves, Inoue e Borges (2010), esses fatores são:

- PH – Para a faixa de operação do biodigestor entre 6,0 a 8,0, sendo o ponto ideal 7,0 a 7,2.
- Temperatura – Para os três grupos básicos de microrganismos que atuam nos biodigestores, temos:
 - Termofílicos: atuam em temperaturas maiores que 45°C, digerem mais rapidamente o substrato.
 - Mesofílicos: atuam em temperaturas entre 20 a 45° C.
 - Psicofílicos: atuam em temperaturas menores que 20°, demoram mais tempo para digerir o substrato.
- Tempo de retenção hidráulica – é o tempo gasto pelo substrato na câmara digestora. De modo geral, situa-se na faixa de 4 a 60 dias.
- Substância tóxicas – as bactérias do processo da biodigestão podem ser prejudicadas por qualquer nutriente ou elemento em solução no digestor ou até mesmo pelo uso de desinfetantes e bactericidas usados nas instalações dos animais, o que pode contaminar as fezes.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo abordaremos os procedimentos adotados para traçar os caminhos para atingir o principal objetivo deste trabalho: aprendizagem significativa do estudo dos gases através do funcionamento de um biodigestor didático. Segundo Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa pode ser classificada quanto a sua natureza, seus objetivos, sua abordagem e seus procedimentos. Seguindo essa proposta, faremos as classificações para o trabalho aqui desenvolvido, bem como descreveremos o ambiente e os participantes da pesquisa.

5.1 Classificação da pesquisa

Quanto à natureza, esta pesquisa é classificada como do tipo aplicada, visto que “objetiva gerar conhecimento para a aplicação prática dirigidos à solução de problemas específicos” (PRODANOV e FREITAS, 2013), visando oferecer conhecimentos práticos que possam contribuir para o ensino de física.

Do ponto de vista dos objetivos, a pesquisa é de caráter exploratória, visto que visa proporcionar maior familiaridade com o problema com vista a torná-lo explícito ou ainda construir hipóteses (GIL, 2002). Esse tipo de pesquisa envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com os que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado, análises de exemplos que estimulem a compreensão. Por isso, pretende-se buscar informações sobre as possibilidades e os benefícios de atividades práticas que envolvam fenômenos físicos para uma aprendizagem significativa dos conceitos em sala de aula.

Do ponto de vista dos procedimentos, essa pesquisa é classificada como pesquisa-ação. Esse tipo de pesquisa tem base empírica, concebida em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo e no qual os pesquisadores e os participantes estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (THIOLLENT, 1998, *apud* PRODANOV e FREITAS, 2013). Na aplicação do produto educacional, o professor conduz o processo de aprendizagem e interagem com os alunos durante toda a aplicação, permitindo a interação entre pesquisador e participantes.

Em relação a abordagem do problema, a pesquisa desenvolvida nesta dissertação é do tipo qualitativa e quantitativa. A pesquisa quantitativa “considera que tudo pode ser quantificável, o que significa traduzir em números opiniões e informações para classificá-las e analisá-las” (SILVA e MENEZES, 2005, p. 20). Já a pesquisa qualitativa, considera que “há uma relação dinâmica entre o mundo real e o sujeito, isto é, um vínculo indissociável entre o

mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números” (PRODANOV e FREITAS, 2013, p. 70). Ela não requer o uso de métodos estatísticos.

Os dados para esta pesquisa foram coletados por meio de questionários aplicados antes, durante e no final da aplicação do produto. Tais questionários contaram com perguntas objetivas e subjetivas. A aplicação mista levou em conta a necessidade de avaliar, sob vários aspectos, o processo de aprendizagem e sua assimilação pelos alunos.

A respostas objetivas oferecem maior uniformidade, podendo ser facilmente processadas quantitativamente. Já as respostas subjetivas, podem aceitar diferentes formas de respostas, o que exige do pesquisador que avalie as respostas qualitativamente, levando em conta não só a exposição individual do aluno, como as discussões em grupo.

5.2 Ambiente de aplicação

A pesquisa foi aplicada em uma escola da rede estadual de ensino do Estado do Pará, que conta com 1.169 alunos no ano letivo de 2021, distribuídos nos três turnos (manhã, tarde e noite). Para a aplicação deste trabalho, foi escolhida uma turma do segundo ano, turno matutino.

5.3 Amostra/ participantes

A escola possui dez turmas de segundo ano, distribuídas em três turnos (manhã, tarde e noite). Destas, foi escolhida uma turma para a aplicação do produto: o M2MR01 (ensino médio, 2º ano, regular, turma 01) com 39 alunos matriculados. Desses 39 alunos, contamos com a participação ativa, até o final da aplicação, de 23 alunos.

5.4 Riscos

Durante a aplicação do produto educacional, poderiam haver riscos relacionados à biossegurança, os quais exigiriam o uso de luvas, óculos de segurança e etc. Porém, distribuiu-se aos alunos um kit contendo os materiais para montagem do biodigestor didático, bem como foi dada toda orientação para que fossem utilizados como substrato sobras das refeições e/ou legumes e frutas estragadas. Também foi solicitada a presença de um adulto durante a montagem do biodigestor.

5.5 Etapas de aplicação da pesquisa

Devido às restrições sanitárias decorrentes da pandemia do Covid-19 em todo país, a aplicação da pesquisa teve que ser adaptada ao programa das aulas remotas. A Secretaria de Estado de Educação do estado do Pará (SEDUC-PA) publicou a portaria 010/2021 estabelecendo obrigatoriedade de aulas não presenciais. Buscando estar dentro do planejamento da escola onde a pesquisa foi aplicada, baseados na portaria referida anteriormente, a aplicação da pesquisa se deu em 12 encontros, cada um com duração de 1 aula (1 hora), entre 22 de março até 23 de junho de 2021. O motivo de poucos encontros em cerca de três meses é que o horário da disciplina de física para a turma escolhida consistia em uma aula de uma hora por semana. Porém, o tempo também era necessário para observação do funcionamento do biodigestor didático, visto ser esse um processo lento. A metodologia foi toda aplicada remotamente, via ferramentas G suíte (Google Forms, Google Classroom) e aulas interativas via WhatsApp.

Além dos doze encontros, os alunos foram acompanhados com atividades extraclasse. Desses doze encontros, no primeiro foram aplicados dois questionários iniciais. No último encontro, foram aplicados uma Avaliação da Aprendizagem, um Questionário Final e a produção de um mapa conceitual. Os outros encontros correspondem as aulas ministradas, bem como o acompanhamento do funcionamento do biodigestor. Ressalta-se aqui que, apesar de doze encontros, em vários momentos os alunos receberam orientação e ajuda via WhatsApp, principalmente durante a montagem dos mapas, montagem do biodigestor e produção do relatório.

Além dos encontros mencionados acima, a pesquisa foi dividida em quatro etapas, seguindo a metodologia encontrada em PAZ (2019), conforme a descrição a seguir.

5.5.1 Primeira etapa

Essa etapa consta fora do cronograma de aplicação do produto, ocorrendo duas semanas antes do início das atividades. Nela, o projeto de aplicação do produto foi apresentado para a coordenação pedagógica, destacando-se suas etapas e os seus benefícios para a aprendizagem dos alunos. No segundo momento (uma semana antes), o produto educacional foi apresentado para a turma participante. Nesta ocasião, expomos os benefícios para a aprendizagem, bem como a importância para a escola de ter seus alunos participando de uma pesquisa de mestrado. Nesse momento, mostrou-se aos alunos participantes que essa é uma forma de aprender física, de maneira diferenciada das aulas tradicionais vivenciadas por eles, mesmo eles já estando

inseridos em uma nova metodologia diferente imposta pelo período pandêmico. Esta dinâmica foi fundamental para que o aluno se sentisse motivado a participar e tivesse interesse pela pesquisa, o que dentro da teoria de Ausubel é um dos pilares para que se tenha uma aprendizagem significativa.

Ainda no primeiro encontro com os alunos, foi realizado a apresentação formal do produto educacional. Neste momento, o professor fez uso de instrumentos online (WhatsApp) para mostrar, de maneira resumida e direta, o projeto.

5.5.2 Segunda etapa

Nesta fase, ocorreu o primeiro encontro relacionado a aplicação do produto educacional. Nela foram aplicados dois questionários, I e II. O questionário I (**Apêndice I**), constando de 10 perguntas, visou saber a opinião dos alunos quanto as aulas tradicionais (com o auxílio apenas de pincéis, livros e quadro branco), conhecer as dificuldades encontradas por eles no ensino de Física, bem como a opinião deles em relação as aulas diferenciadas, com aplicação prática daquilo que é ensinado. As perguntas deste questionário foram objetivas, com nove delas tendo três possibilidades de respostas: sim, não e não sei.

O segundo questionário (**Apêndice II**) continha questões objetivas e subjetivas. As questões objetivas ofereceram quatro alternativas para resposta, A, B, C e D. O questionário constava de 8 questões, sendo 7 objetivas e 1 subjetiva. Esse questionário possui perguntas simples e diretas sobre situações vivenciadas pelo aluno, e teve como objetivo verificar as ideias iniciais (calor, temperatura, pressão, volume e etc.) presentes na estrutura cognitiva do aluno, o que faz parte da etapa inicial para quem quer desenvolver uma aprendizagem significativa. As perguntas levaram em conta os conceitos básicos de temperatura, calor, pressão. O tempo para essa atividade foi de 24 horas (para os dois questionários), visto ser feita através de formulários on-line.

5.5.3 Terceira etapa

A terceira etapa foi destinada as atividades em sala de aula, bem como a montagem e acompanhamento do funcionamento do biodigestor didático. Esta etapa ocorreu em 11 encontros (11 aulas). No primeiro encontro, logo após a aplicação dos questionários I e II, foi feita uma breve revisão ao tema dos mapas conceituais, visto que esta seria uma das ferramentas usadas para avaliar o aprendizado. No segundo encontro, ministrou-se uma aula sobre o

Biodigestor, destacando-se o processo da biodigestão, os tipos de biodigestores e os benefícios. Esta aula foi importante para apresentar mais especificamente o produto educacional, visto que, provavelmente, muitos dos alunos nem sabiam o que era um biodigestor. Também foi um momento usado pelo professor para motivar os estudantes. Ainda neste primeiro momento, foi entregue uma lista com materiais para a montagem do biodigestor didático (**Apêndice VI**).

No terceiro encontro, foi feita uma breve introdução do assunto de calor (temperatura, calor, processo de transmissão de calor), levando em conta conceitos que, provavelmente, já haviam sido vistos no sétimo ano do ensino fundamental nas aulas de ciências. Essa etapa foi importante para que o aluno pudesse fazer uma ponte entre os assuntos de termologia com os novos assuntos que seriam estudados. Esta aula contou com exercícios e mapas conceituais para avaliação.

No quarto encontro, o professor divulgou o tutorial (**Apêndice VI**) para montagem do biodigestor didático e o relatório de observação que deveria ser entregue no final da metodologia (**Apêndice III**). Esse tutorial foi feito também em forma de vídeo e postado no grupo da turma para que todos tivessem acesso, mesmo fora do horário de aula.

Do quinto encontro até o décimo primeiro, as aulas foram ministradas com o auxílio do funcionamento do biodigestor. Os assuntos foram ministrados via Google meet. Após cada conteúdo, os alunos tiveram a oportunidade de resolver exercícios e confeccionar mapas conceituais. Na tabela a seguir são apresentados os conteúdos por etapa. Vale ressaltar que, durante todo esse processo, o professor fez o acompanhamento do funcionamento do biodigestor, junto aos alunos.

Os alunos tiveram como recursos smartphones, computadores, cadernos, aulas em PDF, lápis, caneta, borracha. Já o professor fez uso de ferramentas do G Suíte (google meet, google classroom, google forms), além de ferramentas do Office (Excel) para confeccionar os gráficos junto com os alunos.

A partir do quarto encontro, cada aula foi iniciada com uma rápida revisão do assunto anterior, com momentos para esclarecer eventuais dúvidas sobre as questões das atividades para casa. Esse acompanhamento também foi feito através do WhatsApp, em horário extraclasse, de acordo com a organização do professor. Os exercícios visavam preparar e estimular os alunos para a tensão de provas futuras, como o Enem.

A aplicação remota da metodologia trouxe imprevistos e dificuldades, como, por exemplo, a falta de conexão. Os alunos que não participaram da metodologia por não terem acesso à internet, nem a WhatsApp, tiveram atividades diferenciadas (impresa), visto que deveriam ser assistidos de todas as formas possíveis para que tivessem seu direito de estudar

suprido. Então, por essas dificuldades de acompanhamento, participaram da pesquisa apenas os que puderam ser assistidos pelo professor, no mínimo, através do WhatsApp.

Devido às dificuldades durante a aplicação remota, ocorreram algumas situações. As aulas foram transmitidas via Google Meet, com uma média de 8 alunos por aula. As aulas ficaram disponíveis no drive, podendo ser acessadas em outro momento. Também se disponibilizou as aulas em PDF no grupo da turma. Poucos alunos assistiam as aulas depois. Outros, por não terem dados para acessar sites, também não puderam assistir. A maioria afirmava baixar o material e fazer leitura. No entanto, não há garantia de que realmente o fizeram. Então, a interação entre o professor e um maior número de alunos acontecia via WhatsApp.

Outro fator prejudicial foi o fato de que os alunos compararem a quantidade de atividades da disciplina física com as outras disciplinas. As disciplinas foram trabalhadas através de compêndios. Para o primeiro bimestre, foram 4 compêndios, com período de duas semanas para cada um. Quando comparado com as outras disciplinas, a disciplina de física tinha mais atividades, e mais complexas. Isso levou alguns alunos a perguntarem durante as aulas por que eles tinham mais atividades de física do que das outras disciplinas. Se nas aulas presenciais já se observava o desinteresse do aluno pela disciplina, ele aumentou durante as aulas remotas.

Os resultados dos relatórios provenientes da aplicação da metodologia estão descritos nos resultados e discussões desta dissertação.

5.5.4 Quarta etapa

A etapa final da aplicação do produto consistiu na aplicação de uma Avaliação de Aprendizagem (**Apêndice IV**), um Questionário Final (**Apêndice V**) e a construção de um mapa conceitual. Essa atividade foi realizada em um encontro.

O teste final consistiu em uma avaliação com o objetivo de verificar os níveis de conhecimento adquirido pelos alunos sobre os assuntos estudados com base no funcionamento do biodigestor. A avaliação continha questões objetivas e subjetivas, seguindo as orientações da TAS, que orienta que o aprendiz deve ser desafiado a solucionar problemas novos em contexto diferente das atividades anteriores. Com isso, pôde-se avaliar (quantitativamente e qualitativamente) e encontrar evidências de aprendizagem significativa. Também foi solicitado aos alunos participantes que fizessem um mapa conceitual dos principais conceitos estudados durante a aplicação da metodologia. O mapa foi mais um instrumento avaliativo utilizado pelo pesquisador para verificar o que foi assimilado pelo aluno.

O questionário final permitiu avaliar a opinião dos alunos sobre a dinâmica das aulas com o produto educacional. Nesta etapa, o aluno teve a oportunidade de relatar sua experiência durante a pesquisa, bem como opinar sobre melhorias futuras na aplicação do produto. O questionário foi entregue junto com o teste final.

A partir do exposto acima, a aplicação do produto educacional seguiu o cronograma abaixo.

Tabela 3: Cronograma de aplicação do produto educacional.

CRONOGRAMA (cada encontro com duração de 1 hora)	
1° ENCONTRO	Aplicação dos Questionários I e II
2° ENCONTRO	Introdução aos mapas conceituais; distribuição da lista de materiais para o biodigestor.
3° ENCONTRO	Aula sobre Biodigestores. Divulgação do Tutorial de montagem do biodigestor e do relatório de funcionamento.
4° ENCONTRO	Breve introdução aos conceitos de calor, temperatura e transmissão de calor
5° ENCONTRO	Revisão de pressão (Lei de Stevin): como medir a pressão através do manômetro.
6° ENCONTRO	Mudanças de estado físico, curvas de aquecimento e resfriamento, diagrama de fases.
7° ENCONTRO	Estudo dos Gases: características do gás ideal, leis dos gases, e lei geral dos gases, e equação de Clapeyron.
8° ENCONTRO	Estudo dos Gases: medida da produção de biogás a partir da lei dos gases.
9° ENCONTRO	Transferência de energia na natureza: cadeia alimentar, níveis tróficos, produtores, consumidores e decompositores.
10° ENCONTRO	O problema da energia e do lixo na natureza.
11° ENCONTRO	Apresentação Geral dos relatórios de funcionamento dos biodigestores.
12° ENCONTRO	Aplicação da Avaliação de Aprendizagem, do Questionário final e mapa conceitual.

Fonte: Autor (2021).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão feitas as discussões em torno dos resultados obtidos nas etapas de aplicação da pesquisa. O produto educacional está associado ao conteúdo programático para a turma em que foi aplicado (2º ano do ensino médio), ocorrendo a aplicação durante o período letivo. Dessa forma, os alunos participantes contaram com uma pontuação para preencher os requisitos das avaliações bimestrais.

Abaixo, tem-se a os subitens organizados seguindo a mesma sequência apresentada no **item 5.5**.

6.1 Resultados e discussões da primeira etapa da pesquisa

O primeiro encontro desta etapa foi para apresentar o projeto para a coordenação pedagógica e a direção da escola. No princípio, os gestores e a coordenação resistiram a aplicação do produto, não pelo produto em si, mas pelo momento pandêmico que o estado estava passando. A escola foi orientada a não receber os alunos durante os lockdowns impostos por decretos estaduais e municipais. Sendo assim, não haveria possibilidade de acompanhar diretamente os alunos na aplicação, nem ao menos reunir por grupos na escola em horários diferentes. Dessa forma, a direção e a coordenação concordaram em aplicar a metodologia de maneira remota. Essa foi uma dificuldade inicial para a aplicação, pois o produto tinha como base um experimento, e o acompanhamento presencial era essencial.

O segundo passo foi escolher a turma participante. O processo de organização das turmas se deu por meio de grupos de WhatsApp tutorado por um professor. Esse foi o principal meio de comunicação entre a escola e os alunos durante a pandemia. A escolha da turma para a aplicação da metodologia levou em conta a maior quantidade de alunos participantes via WhatsApp e com acesso à internet. Vale ressaltar aqui que boa parte dos alunos da escola não têm acesso as redes sociais com internet. Então, muitos foram atendidos através de material impresso cedido pela escola, em forma de compêndios ou PDFs, enviados pelo WhatsApp, para entrega em tempo estipulado pela coordenação escolar.

Escolhida a turma, o próximo passo foi divulgar o projeto para os alunos. Nesse momento, o pesquisador fez uso do WhatsApp, com áudios e vídeos falando sobre a metodologia que seria aplicada. Os alunos, a princípio, ficaram empolgados com a proposta, pois, no semestre anterior, as atividades ocorreram por meio de compêndios impressos entregues pela escola. Este primeiro encontro com os alunos se deu no dia 18 de março de 2021.

Como os horários ainda não estavam organizados, no dia seguinte passamos para a 2ª etapa da pesquisa.

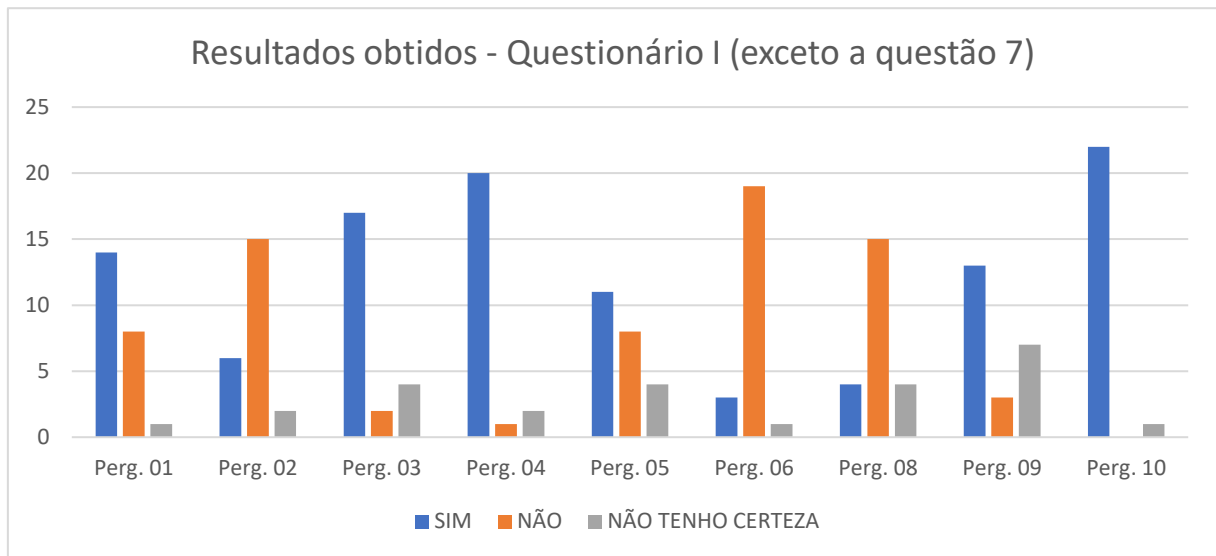
6.2 Resultados e discussões sobre a segunda etapa da pesquisa

Nesta etapa, foram aplicados os questionários I e II para a turma. Vale ressaltar que, a princípio, contou-se com a participação de 33 alunos no preenchimento dos dois primeiros questionários. Destes, 23 continuaram até o fim da aplicação do produto educacional. Os demais resolveram optar por outras atividades (compêndio impresso) ou, por problemas diversos, resolveram optar pela recuperação.

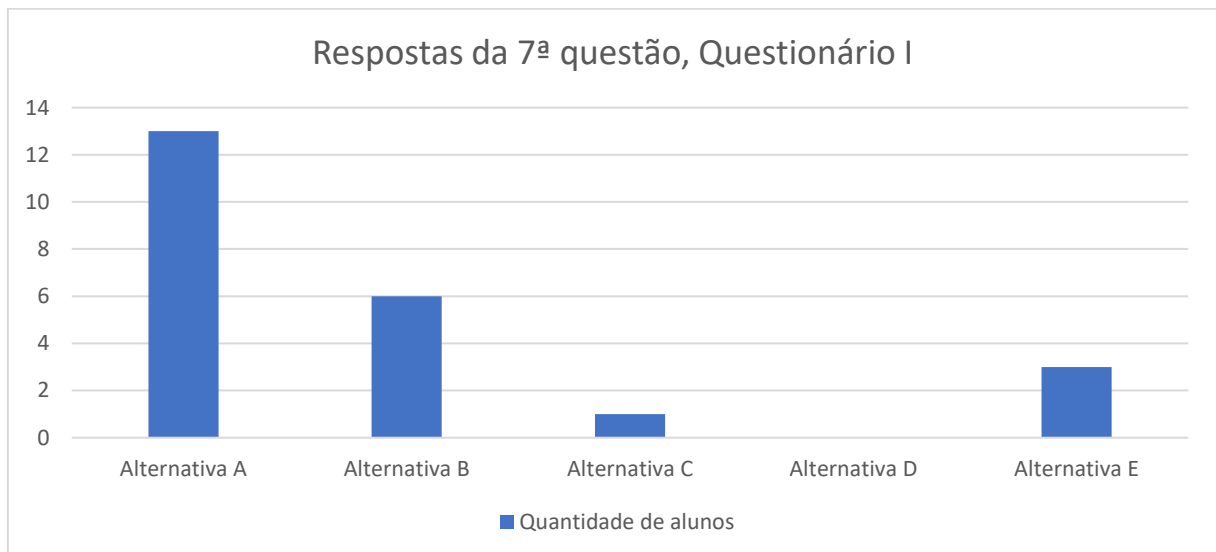
Primeiramente, os alunos foram orientados sobre o preenchimento de cada questionário, pois era o primeiro momento da maioria deles com as plataformas educacionais on-line. Apesar da turma ter um horário específico para a disciplina, os questionários tiveram que permanecer por alguns dias disponíveis para que os alunos participantes pudessem preenche-los. O meio usado para o preenchimento foi a plataforma G Suíte, mais especificamente o Google Forms. Os resultados são mostrados nos itens a seguir.

6.2.1 Questionário I

As perguntas referentes ao questionário I podem ser vistas no **Apêndice I** desta dissertação. Uma exibição geral dos dados é apresentada no **Gráfico 1 e 2** das figuras a seguir. O **Gráfico 2** contém as respostas referentes a sétima questão que não acompanhou o padrão de opções sim, não ou não tenho certeza. As discussões serão feitas logo abaixo, sobre cada questão.

Gráfico 1: Respostas obtidas na aplicação do questionário I, exceto a 7ª questão.

Fonte: Autor (2021).

Gráfico 2: Respostas obtidas na aplicação do questionário I, questão 7.

Fonte: Autor (2021).

A primeira pergunta visou saber a opinião dos alunos quanto às aulas práticas em relação às aulas tradicionais. Por aulas tradicionais, definimos para os entrevistados como aquelas que fazem uso apenas de recursos como o quadro branco e pincéis, apenas para que eles tivessem uma referência para diferenciar uma da outra.

Percebeu-se na primeira pergunta que cerca de 60% responderam “sim”, concordando que as aulas auxiliadas por algum suporte experimental (ou tecnológico) são mais dinâmicas e interessantes.

A pergunta 2 teve o objetivo de saber se os alunos já haviam tido contato com aulas das ciências naturais (Física, Química e Biologia) mediadas por recursos como vídeos, simulações e experimentos. Para essa pergunta, cerca de 65% responderam “não”, e cerca de 8% responderam “não tenho certeza”. Isso mostra que, apesar de cerca de 60% concordarem com aulas dinâmicas mediadas por experimentos e tecnologias, 65% nem se quer teve contato ainda com elas.

Na pergunta 3, cerca de 74% responderam “sim”, que conseguem assimilar o que é ensinado de física e relacioná-los a situações do dia-a-dia. Esse fato pode ajudar no interesse dos alunos pelo conteúdo estudado, o que é fundamental para a aprendizagem significativa.

Na pergunta 4, cerca de 87% responderam “sim”, mostrando que os alunos acham interessante o ensino a partir de experimentos práticos feitos por eles mesmos. Essa aceitação por maior parte dos alunos pode tornar melhor a receptividade à metodologia, visto que esta tem como base um experimento de um biodigestor. Também mostra que pode haver um maior interesse pela metodologia e o conteúdo que será estudado, o que, ressalta-se novamente, é fundamental para a aprendizagem significativa.

Na pergunta 5, cerca de 52% responderam “não” ou “não tenho certeza”. Esse dado mostra que a maioria não realizou nenhum experimento didático durante o ensino fundamental. A aplicação do produto educacional provavelmente será a primeira oportunidade que eles terão de realizar um experimento e estudar a partir dele. A pergunta 6 foi formulada nos mesmos moldes da 5, porém para o ensino médio. Para esta pergunta, cerca de 87% responderam “não” ou “não tenho certeza”. Sobre esta porcentagem, deve-se levar em conta que no ano anterior (2020) as atividades se deram de forma remota para o ensino médio na escola onde a pesquisa foi aplicada.

A pergunta 7 teve o objetivo de verificar as dificuldades dos alunos com relação ao ensino de Física. As respostas estão no **Gráfico 2** e serão comentadas e discutidas abaixo.

Cerca de 56% responderam que a maior dificuldade em estudar Física está na Matemática envolvida (alternativa A), e, cerca de 26%, em entender os conteúdos ministrados em sala (alternativa B). Por esses dados, percebe-se que ainda existe dificuldades dos alunos quanto à Matemática envolvida na aplicação das leis físicas. Isso se deve, talvez, pelo fato de o aluno não conseguir fazer ligação daquilo que ele aprende em Matemática com o a Física, como por exemplo, na construção e leitura de gráficos. Apesar de a metodologia não focar este problema em específico, a dificuldade em Matemática pode desencadear falta de interesse do aluno quando houver a necessidade de cálculos ou até mesmo incentivá-lo a aprender de forma mecânica. Isso talvez ocorra pelo fato de o aluno não ver uma ligação entre o que ele aprende

em Matemática e o que ele vê em Física. Uma possibilidade de amenizar esta dificuldade pode ser através de um recurso da TAS, a reconciliação integrativa. A reconciliação integrativa, como visto anteriormente (**item 3.1.11**), pode permitir que o aluno veja correlação entre os problemas matemáticos em física com os conceitos que ele aprende em Matemática. Acreditamos que uma metodologia mais específica seja necessária para contemplar esta dificuldade, o que não foi objetivo direto deste trabalho. Porém, durante as aplicações dos exercícios que envolviam cálculos matemáticos, os alunos com dificuldades foram ajudados pelo professor. Mas não se espera que tal problema seja sanado ao final da pesquisa, visto que, por muito tempo, tem sido comum essa dificuldade entre os alunos do ensino médio da escola onde a pesquisa foi aplicada.

A pergunta 8 visou saber se os alunos tinham algum conhecimento do experimento que seria usado no produto educacional. Cerca de 82% responderam “não” ou “não tenho certeza”. Esse dado é importante porque uma apresentação do que é um biodigestor seria necessária, até como organizador prévio, para que os alunos conseguissem associar o funcionamento do biodigestor com as leis físicas ligadas ao funcionamento do mesmo.

A pergunta 9 mostrou que cerca de 42% não conseguem associar o conteúdo apresentado em sala com problemáticas sociais, ambientais ou econômicas. O produto educacional oferece uma boa oportunidade para que o aluno possa fazer essa associação, visto que, apesar do biodigestor ser usado de maneira didática nesta pesquisa, sua vasta aplicação está ligada à obtenção de energia limpa, decomposição responsável de matéria orgânica e opção econômica.

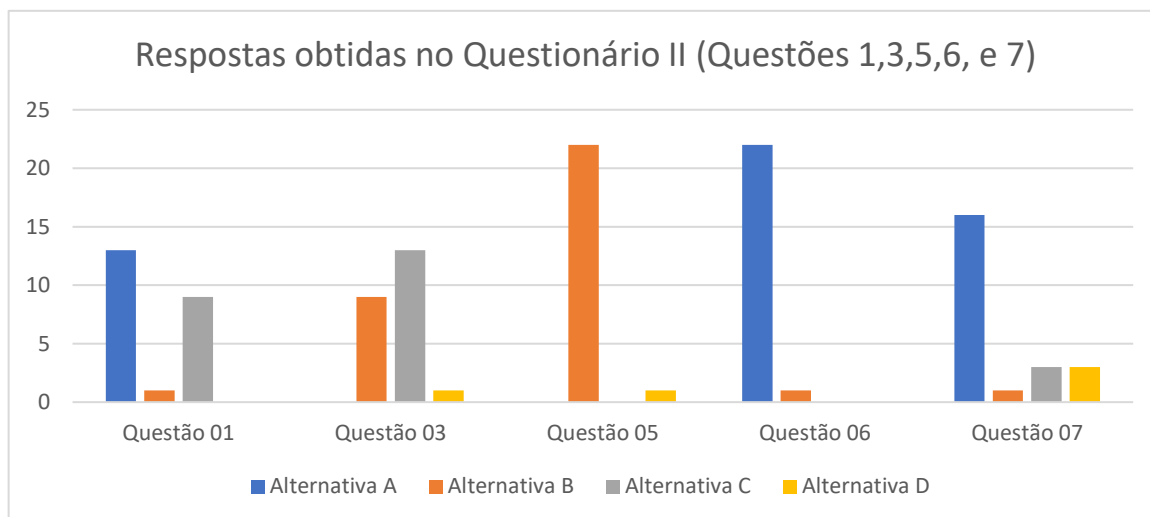
A pergunta 10 investigou se os alunos gostariam de estudar física através de um processo que fosse uma possível solução para problemas ambientais. Cerca de 95% responderam “sim”. A aplicação do produto educacional também visa permitir ao aluno fazer o uso do que ele aprende em sala para a solução de problemas contemporâneos. Portanto, 95% estão receptivos a esse objetivo.

6.2.2 Questionário II

O questionário II (**Apêndice II**) é composto de 8 questões, sendo 5 objetivas e 3 subjetivas. O gráfico a seguir apresenta as respostas obtidas para as perguntas objetivas, que serão comentadas logo abaixo. As questões subjetivas serão comentadas depois das questões objetivas. Vale lembrar que a turma onde o produto foi aplicado é uma turma de 2º ano do ensino médio, e que parte do conteúdo que seria visto na abordagem do funcionamento do biodigestor é conteúdo novo para a turma. Porém, as perguntas visavam verificar a existência

de subsunçores resultantes de conceitos vistos ainda no ensino fundamental ou em qualquer outro momento de aprendizagem durante a vida do aluno. Tais subsunçores são necessários para a aprendizagem significativa do conteúdo novo que viria pela frente.

Gráfico 3: Respostas obtidas na aplicação do Questionário II (questões 1,3,5,6 e 7)



Fonte: Autor (2021).

Na questão 01, a situação abordada na questão foi sobre o processo de transmissão de calor numa colher colocada numa xícara com café quente, situação provavelmente vivenciada pelos alunos em algum momento de suas vidas. A pergunta teve o objetivo de sondar como estava formado e organizado os conceitos de calor e temperatura na estrutura cognitiva dos alunos. Para esta questão, um valor aproximado de 56% das respostas foi para a alternativa A, cerca de 4% das respostas foram para a alternativa B e aproximadamente 39% responderam a alternativa C como correta. Para a questão D não houve respostas. A alternativa correta para esta questão era a alternativa C. O maior percentual de respostas para alternativa A (Temperatura) mostra que a maioria dos alunos participantes não compreendia bem a diferença entre calor e temperatura. Um recurso da TAS utilizado pelo professor durante as aulas para amenizar este problema foi a reconciliação integrativa, colocando para os alunos a correta relação entre calor e temperatura.

Na questão 03, foi abordada uma situação comum do dia a dia: o aquecimento da mão ao aproximar-se de um ferro de passar roupas. Nesta questão, aproximadamente 39% das respostas foram para a alternativa B, cerca de 56% para a alternativa C. A resposta correta dessa pergunta é a letra B. A maioria das respostas para a letra C (ocorre transmissão de ar quente) mostra que não há associação clara do conceito de calor e energia térmica. Novamente, durante

a aplicação das aulas, o professor faz uso da reconciliação integrativa para explorar as relações entre calor e energia térmica.

A questão 5 novamente abordou uma situação comum: o aquecimento da água sobre a chama de fogão. Esta pergunta novamente confrontou o aluno com a questão do conceito de temperatura. Cerca de 95% das respostas foram para a letra B, que é a resposta correta (temperatura). Nessa questão, o conceito de temperatura pareceu ser bem definido, sendo corretamente associado à fervura da água.

Na questão 6, tem-se uma situação bem parecida com a situação anterior, mas agora com uma panela de pressão. Novamente, cerca de 95% das respostas foram para a letra A, que é a alternativa correta. Talvez a maioria fez a associação do nome “panela de pressão” para responder à questão. O que se pode inferir primeiramente é que a associação foi feita corretamente.

A questão 7 teve o objetivo de investigar como a relação pressão x volume está organizada na estrutura cognitiva dos alunos. Essa relação será bastante abordada no funcionamento do biodigestor. A situação abordada é aquela quando o pneu é enchido com ar, ocorrendo uma variação no volume. Aproximadamente 70% das respostas foram a alternativa A, que é a correta. Pode-se observar que a associação entre pressão e volume parece ser definida na estrutura cognitiva da maioria dos alunos. Importante enfatizar que o professor em sala de aula pode diferenciar esses conceitos, tornando-os mais inclusivos.

As questões que serão discutidas mais a diante são as questões subjetivas aplicadas no questionário II. Estas perguntas, além de oferecerem uma evidência dos subsúncos presentes na estrutura cognitiva do aluno, visam também observar a subjetividade do aluno em descrever com suas próprias palavras situações e fenômenos simples do dia a dia. As respostas foram divididas em grupos de respostas e serão discutidas em seguida.

Na pergunta 2, os alunos foram convidados a explicar a escolha que fariam entre duas colheres de materiais diferentes para mexer algo quente em uma panela. A resposta exigia o conhecimento sobre transmissão de calor e classificação dos materiais entre isolantes e condutores térmicos, além de trazer à superfície mais detalhes sobre como estão formados o conceito de calor e temperatura na estrutura cognitiva. As 23 respostas foram organizadas por grupos, e estão listadas abaixo:

1 – “A de aço com cabo de madeira, pois a colher de madeira é uma má condutora de calor, já a colher de aço por ser boa condutora de calor, pode queimar a mão de Mariana que está mexendo o vatapá na panela.” (13% de respostas semelhantes).

2 – *“A de aço com cabo de Madeira, porque, assim, não aqueceria onde ela estará segurando.”* (56,5% de respostas semelhantes).

3 – *“A de aço com cabo de madeira, pois o calor no cabo seria menor”* (13% de respostas semelhantes).

4 – *“Mariana deveria usar a de aço com cabo de madeira porque a colher toda de aço ficaria aquecida numa temperatura quente”* (8,7% de respostas semelhantes).

5 – *“De madeira, porque pode queimar a sua mão com a temperatura da colher de aço”* (8,7% de respostas semelhantes).

Pelos grupos de respostas acima, nota-se que, de maneira geral, todas as respostas dão como opção a colher de cabo de madeira. As justificativas para tal escolha é que tornaram as respostas diferentes umas das outras. Cerca de 56,5% das respostas foram diretas (resposta 2), sem justificar a escolha pela colher de cabo de madeira. Isso pode evidenciar que o aluno, intuitivamente, sabe que o metal aquece com maior facilidade, mas não sabe explicar isso, talvez por falta de mais conhecimento físico sobre o tema ou porque não sabe expor esses conceitos de maneira organizada. De qualquer forma, esse fato foi explorado pelo professor como um conhecimento prévio. Cerca de 13% das respostas (resposta 1) conseguiram associar o conceito de condutor e isolante térmico, mesmo não explicando de maneira detalhada como isso acontece. As respostas 3 e 4 (que somam cerca de 22%), mostram ainda uma certa confusão com os conceitos de calor e temperatura, o que (como dito anteriormente) buscou-se mostrar ao aluno a correta relação entre os conceitos durante a aplicação das aulas expositivas.

Na questão 4, com outra situação comum do dia a dia dos alunos, pode-se dizer que foi explorado os mesmos pontos da questão 2. As respostas novamente foram organizadas em grupos.

1 – *“O de plástico, pois demora mais para aquecer”* (8,7% de respostas semelhantes).

2 – *“Usaria o copo de plástico, porque o alumínio tem alta condutividade térmica, ele transfere o calor da sua mão para a água, fazendo com que a água aumente a temperatura em menor tempo que o copo de plástico, que é um mau condutor de calor.”* (17,4% de respostas semelhantes).

3 – *Copo de plástico, o copo de plástico é um isolante térmico muito melhor do que o copo de alumínio pois o copo de alumínio irá absorver o frio do refrigerante. (resposta única).*

4 – *“O de alumínio porque ele manterá a bebida gelada por que a temperatura da bebida será transmitida para a o copo”* (8,7% de respostas semelhantes).

5 – *“O copo de alumínio por ele depois que o gelo derreta o copo de alumínio, gela e ajuda a manter a bebida gelada por alguns minutos.” (34,8% de respostas semelhantes).*

6 – *“O alumínio, por que o alumínio ela demora mais pra acabar o gelo.” (26% de respostas semelhantes).*

Para essa pergunta, cerca de 30,4% das respostas (respostas 1,2 e 3) foram satisfatórias, com diferenças apenas nas justificativas. Destaque para a resposta 3, onde o aluno parece não entender profundamente o conceito de calor, julgando que o frio é absorvido. A maioria das respostas escolheu o copo de alumínio como opção, também diferenciando nas justificativas. Essas respostas mostram que há falta de conhecimento físico sobre o calor e seu processo de transmissão, ou tal assunto foi explorado de maneira superficial, em classe, pelo professor.

A última pergunta objetiva do questionário II foi a pergunta 8. Ela apresentava uma situação em que uma garrafa com líquido gelado ficava cheia de gotículas de água do lado de fora. Essa questão objetivava verificar como estava o conhecimento prévio do aluno relacionado às mudanças de estado físico, bem como dos estados físicos da matéria. As respostas foram organizadas em grupo, conforme a ordem abaixo.

1 – *“Essas gotículas eram água em estado sólido presente na geladeira, e ao mover a garrafa para um ambiente mais quente essa água voltou ao estado líquido” (8,7% de respostas semelhantes)*

2 – *“Vem de fora, por a garrafa acumula o frio e por causa disso ela cria essas gotas de água.” (resposta única)*

3 – *“Quando se retira uma garrafa da geladeira, veem-se gotas d'água se formando na superfície externa da garrafa. Isso acontece graças, principalmente, à condensação do vapor de água dissolvido no ar ao encontrar uma superfície à temperatura mais baixa.” (39,1% de respostas semelhantes)*

4 – *“Elas vêm de dentro da garrafa devido ela evaporar e ficar assim” (13% de respostas semelhantes).*

5 – *“Pois elas estão descongelando, isso acontece por causa da temperatura diferente!” (21,7% de respostas semelhantes)*

6 – *“Sair de fora a água, porque ela suar” (resposta única).*

7 – *“Acho que de fora é como elas se formam acho que é a concessão do ar frio com ar quente quando o ar quente bate no plástico que está frio faz a evaporação de gás.” (resposta única)*

8 – *“Quando ela começa a se evaporar e ela fica muito quente e é por isso que cai a gota de fora da garrafa.” (resposta única)*

O maior percentual de respostas semelhantes foi a resposta 3, cerca de 39% das respostas. Essa resposta foi a que melhor explicou o fenômeno. Essas respostas são coerentes com os princípios da termologia, associando os conceitos de mudanças de estado físico, mais especificamente de condensação, ao aparecimento das gotículas fora da garrafa. Cerca de 21% deram respostas semelhantes a resposta 5, atribuindo o fato de maneira geral apenas à diferença de temperatura. Treze por cento das respostas foram semelhantes à 4, justificando que as gotículas saíram de dentro da garrafa. Percebe-se que maioria dos que responderam não conseguiram organizar conceitos como mudanças de estado físico, temperatura, quente ou frio. Um fato curioso foi a resposta 6, onde o aluno associou o fenômeno ao suor, julgando que a água saiu de dentro da garrafa, assim como os que deram respostas semelhantes a resposta 4. Esses subsunçores foram trabalhados nas aulas pelo professor, para que pudessem servir de ancoradouro para os conceitos que seriam introduzidos.

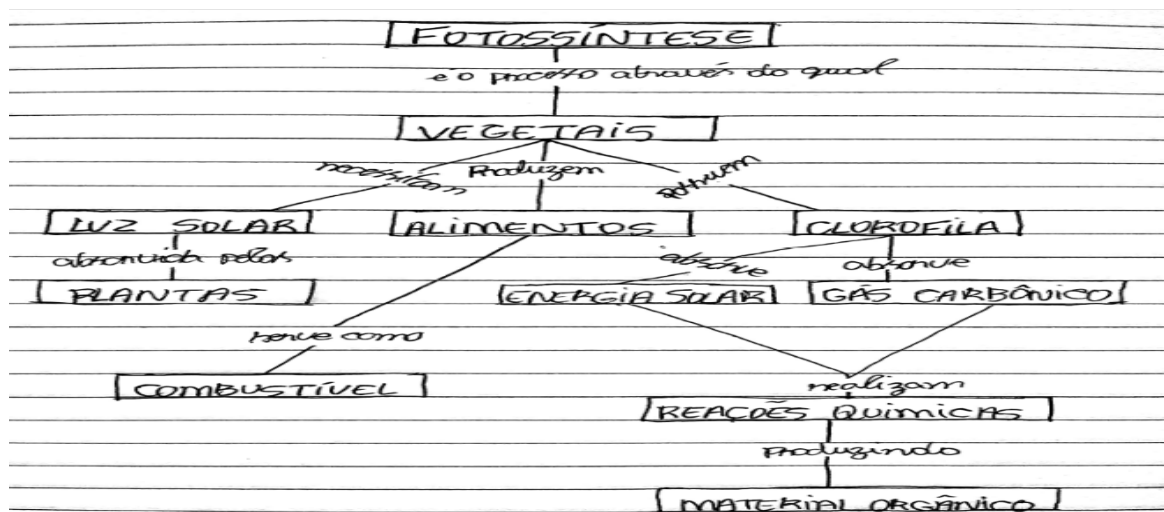
A perguntas do questionário II foram feitas para se sondar os subsunçores necessário para os demais conceitos que foram apresentados nas aulas com o biodigestor. Essa pesquisa julga que é necessário o conhecimento prévio sobre calor e temperatura para estudar os gases e suas transformações. Tais conhecimentos podem ter sido adicionados nas séries anteriores, ou em algum momento da instrução do aluno, ou até mesmo não existirem ainda na estrutura cognitiva do aluno. A aplicação de organizadores prévios visa justamente essa avaliação, permitindo ao professor organizar meios para que os subsunçores necessários possam estar disponíveis antes da aplicação do novo conteúdo.

6.3 Resultados e discussões sobre a terceira etapa da pesquisa

O primeiro momento desta etapa corresponde ao segundo encontro descrito na **Tabela 4**. Nesse encontro, foi feita uma introdução básica sobre o tema dos mapas conceituais. Disponibilizou-se para os alunos um vídeo (Como fazer um mapa conceitual - Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=F54SWctP7-E&ab_channel=LucidchartPortugu%C3%AAs) e um texto tutorial para que eles pudessem desenvolver um mapa a partir de um pequeno texto sobre fotossíntese. O texto era simples, onde os alunos poderiam encontrar cerca de 5 a 10 conceitos importantes. A partir desse momento, em algumas aulas, foram solicitados os mapas como atividade, objetivando a familiarização dos alunos com uma das ferramentas que seriam usadas para verificar como ficou organizado o conteúdo na estrutura cognitiva deles no final do processo. Foi dado um tempo de uma semana para que a atividade fosse entregue, e nesse período, os alunos poderiam compartilhar com o professor os seus mapas.

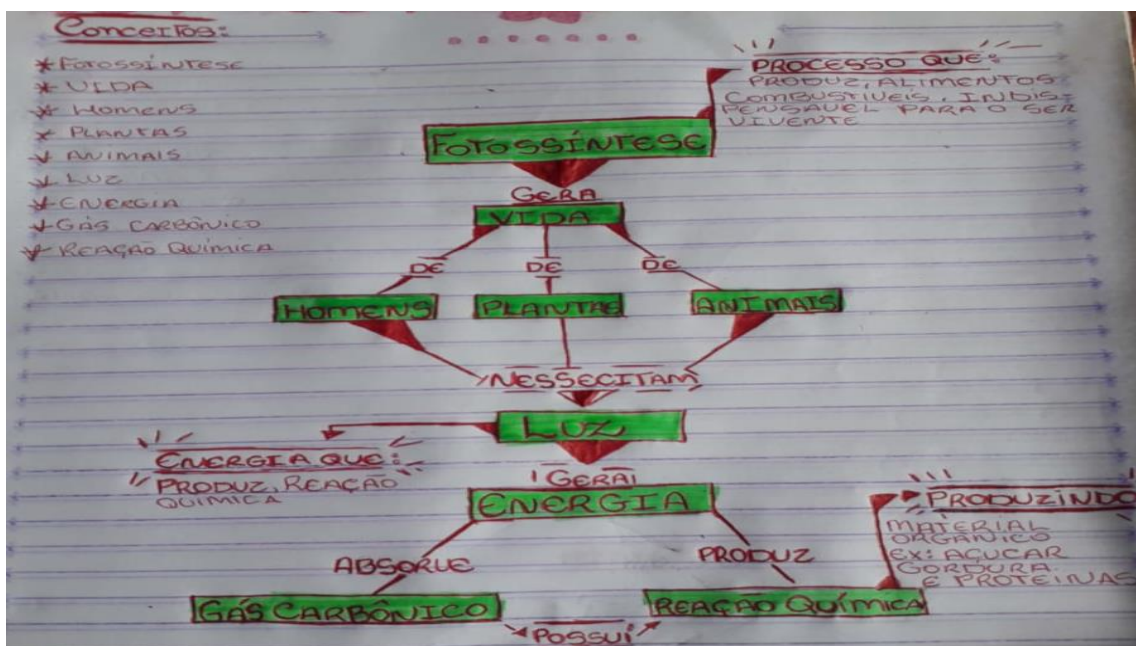
Todos os 23 alunos (e mais alguns que inicialmente participaram da atividade) entregaram os mapas. A entrega foi feita através de fotos do caderno em JPG ou PDF. A maior dificuldade apresentada pelos alunos nesse primeiro momento foi retirar os conceitos do texto e depois organizá-los hierarquicamente, colocando os conceitos mais inclusivos acima, seguido dos mais específicos abaixo, bem como fazer a ligação entre os conceitos com as proposições. A maioria procurou a ajuda do professor que explicou, através do WhatsApp, mais detalhadamente, os passos para a confecção dos mapas. Alguns mapas ficaram bem elaborados para um primeiro mapa. Abaixo, são apresentados alguns deles:

Figura 14: Mapa conceitual 1 do texto fotossíntese.



Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio – 2021.

Figura 15: Mapa conceitual 2 do texto fotossíntese.



Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio – 2021.

Figura 16: Mapa conceitual 3 do texto fotossíntese.



Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio – 2021.

Os mapas conceituais acima podem transmitir uma ideia de como os alunos sintetizaram o conteúdo. Destaque para o mapa da **figura 1**. Esse mapa apresentou uma boa elaboração quanto aos conceitos apresentados no texto fornecido para a atividade. Pode-se ver que o mapa segue uma lógica, com o conceito mais geral e inclusivo acima, seguido dos mais específicos abaixo. Também se destaca as proposições apresentadas, que permitem uma leitura lógica para o mapa. O mapa conceitual da **figura 2** apresentou certa hierarquia dos conceitos, colocando o conceito fotossíntese no topo. Destaque foram os conceitos homens, plantas e animais, colocados pelo aluno no mesmo nível, mostrando que, para o autor do mapa, os três conceitos estão no mesmo nível de generalidade e inclusividade. A **figura 3** mostra um mapa de pouca relação hierárquica, mesmo apresentado uma certa lógica. Destaque para este mapa é o fato de que alguns quadros com conceitos, na verdade, contêm proposições.

Vale ressaltar aqui que não há um mapa modelo ou correto, visto que o mesmo reflete como os conteúdos estão dispostos na estrutura cognitiva do aprendiz. Também é de se esperar que os alunos tenham dificuldades de entender a confecção dos mapas e suas regras, pois isto requer experiência e prática. Dessa forma, é importante destacar que quase 100% dos alunos nunca tinham ouvido falar de mapas conceituais. Alguns já conheciam o mapa mental, que tem objetivo diferente do mapa conceitual.

Neste encontro, também foi pedido para os alunos a lista de materiais (um kit) para a montagem do biodigestor didático. Esse material está na **Apêndice VI** desta dissertação. O professor também forneceu o kit de montagem para os alunos que tiveram dificuldades em

adquirir os materiais. A entrega ocorreu em hora e local marcado, onde os alunos ou seus responsáveis puderam pegar o kit, sendo observadas todas as medidas sanitárias e de distanciamento.

No terceiro encontro, a aula foi sobre o biodigestor propriamente dito, durando 1 hora, e contando com a presença de 10 alunos. Nesse momento, foram abordados os tipos de biodigestores, o processo de biodigestão, os benefícios, os produtos da biodigestão e a equivalência energética do biogás. O professor iniciou a aula com uma pergunta para instigar os alunos: O que acontece depois que um ser vivo morre? Esta pergunta deu início aos processos de decomposição anaeróbia e aeróbia, chegando ao dispositivo que acelera o processo de decomposição anaeróbia, o biodigestor. Assim, foram apresentados os tipos e modelos de biodigestores, dando-se destaque ao modelo batelada, pois foi o modelo escolhido para o biodigestor didático. Alguns alunos interagiram com informações que já tinham aprendido nas séries anteriores, como, por exemplo, o processo de decomposição aeróbia da compostagem. Como atividade, foi solicitada aos alunos a confecção de um mapa conceitual com base na aula.

Após a aula, os alunos foram desafiados a montarem seus próprios biodigestores. A proposta, a princípio, era de que os participantes fossem distribuídos em equipes. Porém, as restrições impostas por meio de decretos não permitiam os alunos se reunirem. Assim, o professor preparou vídeos curtos como tutoriais mostrando passo a passo como montar e colocar o biodigestor em funcionamento. O tutorial também está disponível no **Apêndice VI**.

Alguns alunos já estavam de posse de seus kits e iniciaram a montagem durante a semana seguinte. Cerca de 20 kits completos foram distribuídos pelo professor para que os alunos pudessem montar os biodigestores. Os alunos deveriam montar seus biodigestores e colocá-los em funcionamento, tirando fotos para a comprovação da atividade. Também foi disponibilizado o modelo de relatório que deveria ser preenchido para o fim da aplicação. O modelo está disponível no **Apêndice III**. Os alunos foram orientados, após o início do funcionamento do biodigestor, a fazer as anotações da altura da coluna líquida e anotações sobre a aparência do substrato, bem como a temperatura, tudo isso diariamente, durante um horário escolhido aleatoriamente. Esses dados seriam a base para os cálculos futuros: a pressão e o volume de gás produzido. A seguir, há alguns dos biodigestores montados pelos alunos.

Figura 17: Biodigestores já em funcionamento

Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio – 2021.

No quarto encontro, foi feita uma rápida introdução aos principais conceitos de termologia. Estavam presentes 6 alunos. Essa aula foi necessária para estabelecer melhor os conceitos de calor e temperatura, para que pudessem servir de ancoradouro para o conteúdo relacionado aos gases, assunto que seria a base para estudar as variáveis envolvidas no funcionamento do biodigestor. Este assunto também se tornou necessário pelo fato de que é um dos componentes curriculares da disciplina Física para o 2º ano. Durante a aula, os alunos foram levados à observação de fenômenos do dia a dia, já conhecidos por eles, e direcionados para os conceitos físicos sobre o calor, sua propagação, sua relação com a temperatura, entre outros. A principal confusão feita com os conceitos de calor e temperatura (que foi detectado na aplicação do questionário II) pôde ser esclarecida pelo professor. Novamente, os alunos tiveram como

atividades um mapa conceitual da aula. Após a aula, os alunos foram acompanhados quanto ao funcionamento do biodigestor.

No quinto encontro, foi feita uma breve revisão do assunto de pressão, em especial a lei de Stevin e vasos comunicantes. Estiveram presentes 8 alunos. A aula iniciou com a pergunta do professor sobre se os alunos já haviam mergulhado fundo em um igarapé, e qual a sensação. A resposta foi unânime de que sentiam os ouvidos doerem. A partir daí, o conceito de pressão foi introduzido, sendo falado sobre a pressão atmosférica e seus efeitos, partindo para a lei de Stevin e vasos comunicantes. Nesta etapa, foi apresentado aos alunos um dispositivo em particular: o manômetro de tubo aberto. Um aluno lembrou que haviam visto algo parecido no biodigestor, e isso foi o passo para que o professor orientasse sobre como poderiam medir a pressão em uma das garrafas (a menor) do seu experimento, e, futuramente, medir a quantidade de gás produzida. Após a aula, os alunos tiveram como atividade fazer os cálculos a partir das primeiras medidas da altura de coluna líquida que eles já haviam anotado e assim, preencherem uma das colunas do relatório de observação.

Quando iniciaram as atividades extraclasse, os alunos apresentaram muitas dificuldades, não com o conceito físico sobre pressão, mas com a matemática envolvida nas resoluções. Isso está de acordo com a pesquisa feita no primeiro questionário (Questionário I) que apontou que a maior dificuldade estava na matemática envolvida no estudo da Física. Assim, durante as semanas seguintes, o professor orientou parte dos alunos no cálculo da pressão, via WhatsApp. Os alunos que foram orientados individualmente, conseguiram fazer boa parte dos outros cálculos, visto que se tornavam repetitivos, pois deveriam ser feitos com cada medida diária aferida no manômetro. Ressalta-se que a pesquisa não objetivou resolver esta deficiência dos alunos, por entender que isso exigiria uma metodologia mais específica.

No sexto encontro, o assunto abordado foi as mudanças de estado físico, com destaque para as curvas de aquecimento e resfriamento e diagrama de fases. Estavam presentes 8 alunos. Na aula, os discentes foram levados a compreender melhor a constituição da matéria e sua mudança de um estado para outro, novamente com base em fenômenos do dia a dia. Foram recapituladas as perguntas sobre o tema a partir do Questionário I (a questão 8, por exemplo). Dois alunos comentaram que acreditavam que as gotas de água eram provenientes de dentro da garrafa, como o suor humano. Nessa aula, o professor falou sobre a diferença entre gás e vapor, com base na análise do diagrama de fases de determinada substância. Isso foi importante para entender o que realmente é um gás, pois um dos produtos da biodigestão é o biogás, composto basicamente de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Ao final da aula, os alunos tiveram atividade sobre o assunto, através do Google Forms.

Aqui vale ressaltar um ponto sobre os exercícios on-line. A maior parte dos alunos deixava os exercícios acumularem para a semana seguinte. A justificativa deles era que havia muitas atividades das outras disciplinas e que elas eram feitas também on-line. Isso se tornou uma dificuldade para a aplicação das aulas e o acompanhamento. Os alunos não estavam acostumados ao novo ritmo imposto pelas aulas remotas.

Outro ponto a destacar era que a maior parte do acompanhamento do funcionamento do biodigestor e o preenchimento do relatório eram feitos extraclasse.

No encontro 7, entramos no assunto do estudo dos gases que se estendeu por dois encontros. Estavam presentes 10 alunos. Começamos a aula falando do exercício anterior. O professor observou que cerca de 50% das respostas erradas estavam concentradas em uma questão que envolvia as mudanças de estado físico. Após a explicação para a resposta correta, deu-se seguimento a aula do dia. No estudo, foi apresentado aos alunos de maneira mais específica as características de um gás ideal e como um gás real se aproxima de um gás ideal. Também foram apresentadas as leis dos gases, ressaltando a relação entre pressão, temperatura e volume, e as variáveis de estado de um gás ideal. Nessa aula, o professor trouxe novamente questões sobre o assunto que foram dadas no Questionário II. Isso foi importante porque a maioria das respostas mostrou que eles entendiam, superficialmente, com base no que viam no dia a dia (panela de pressão, pneu e etc), a relação entre pressão e volume, pressão e temperatura, volume e temperatura. Assim, de posse desses subsunçores, o professor apresentou as equações que relacionavam essas variáveis. Ao fim da aula, o professor resolveu exemplos para que os alunos pudessem fazer os exercícios que seriam disponibilizados on-line.

Após a aula, já no grupo da turma no WhatsApp, o professor constatou que poucos alunos, dos 23 que estavam acompanhando a aplicação, estavam conseguindo uma produção de gás no biodigestor, evidenciado pela variação na altura de coluna líquida. Os alunos foram orientados a vedar as entradas das mangueiras, pois poderia haver entrada de ar, o que atrapalha a atividade das bactérias. Um outro fator que também pode ter afetado a produção de gás foi o tipo de substrato usado pelos alunos, pois alguns usaram compostos orgânicos com excesso de sal, gordura, ou colocaram muita água na mistura, o que talvez tenha afetado a ação das bactérias.

Para que os alunos que tiveram problemas acompanhassem as atividades com o biodigestor, o professor disponibilizou os dados de um biodigestor que ele mesmo havia montado no mesmo período em que os alunos receberam a atividade. Esses dados foram distribuídos entre os alunos que não haviam conseguido observar as transformações nos seus biodigestores, podendo o relatório ser preenchido em duplas.

No encontro seguinte, o número 8, a aula iniciou como anteriormente, com uma recapitulação do assunto. O professor também respondeu as dúvidas de alguns alunos sobre o exercício que havia ficado como atividade para casa. Estavam presentes 10 alunos. A maioria errou uma das perguntas que associava os termos isotérmicos, isobáricos e isocóricos, e os seus significados (temperatura constante, pressão constante e volume constante, respectivamente). Outra situação levantada foi uma das questões que pedia a leitura de um diagrama de fases. Os alunos mostraram muita dificuldade em lê-los e associar a informação aos estados líquido, sólido e gasoso. Após o momento, o professor iniciou a aula lembrando os alunos de que o biodigestor que eles haviam montado produzia gases. Mas, como medir essa produção de gás? Uma das possibilidades era através das fórmulas que eles haviam visto na aula anterior, em principal, a lei geral dos gases. Sendo assim, adaptando as variáveis da equação dos gases às variáveis da garrafa menor (utilizada para armazenar os gases produzidos, conforme o **Apêndice VI** desta dissertação), o professor apresentou a maneira como se poderia fazer uma medida aproximada da produção de gases durante um certo período de tempo, subtraído o volume interno livre da garrafa onde o gás estava armazenado menos o volume que o gás assumiria se estivesse a pressão atmosférica, externa a garrafa. O volume interno do gás foi um dos dados que eles anotaram no início da experiência, e seria constante para toda a observação. O volume externo do gás poderia ser obtido através da **equação 6**, na descrição do produto educacional no **Apêndice VI**.

A partir desta aula, os alunos poderiam preencher a última coluna do relatório de observações (**Apêndice III**).

No encontro 9, a aula foi sobre as fontes de energia e transferência de energia na natureza, através dos níveis tróficos. Nesta aula, 7 alunos estavam presentes. O professor iniciou a aula perguntando de que eles se alimentavam, e de onde vinha a energia que eles precisavam. A partir daí, o professor levou a discussão até apresentar o processo de transferência de energia na natureza, por meio das cadeias alimentares, mais especificamente através dos níveis tróficos, até chegar nos decompositores, que fazem o processo de decomposição anaeróbia ou aeróbia, reaproveitando o restante da energia que sobrou na matéria orgânica morta. Alguns alunos conseguiram perceber que o quê biodigestor fazia, nada mais era do que reaproveitar o que sobrou de energia na matéria orgânica. Novamente, foi pedido aos alunos um mapa conceitual da aula, bem como exercícios no Google Forms. Vale lembrar que os exercícios também eram postados no grupo de WhatsApp da turma para que os demais pudessem acompanhar as aulas.

No encontro seguinte, a aula foi sobre a utilização de energia e o despejo do lixo. O título da aula foi “O problema da energia e do lixo”. O objetivo era chamar a atenção dos alunos

para as questões ambientais envolvendo as fontes de energia, de como o meio ambiente era afetado pela atividade humana em busca de energia, e também sobre a problemática do lixo na natureza. Também se chamou a atenção dos alunos para a questão do aquecimento global, principalmente para a alta concentração de CH_4 e CO_2 , que são os principais gases causadores do efeito estufa. Para esses problemas, o biodigestor foi apresentado como opção por ser uma forma de se obter energia limpa (através do biogás) e por permitir a degradação de lixo orgânico de maneira menos poluente. Após a aula, o professor postou um vídeo onde foi feita a “prova de fogo” do gás produzido pelo biodigestor didático montado por ele, do qual os dados foram distribuídos entre os alunos que não tiveram sucesso na montagem do biodigestor. A combustão do gás mostrou a presença de metano, um gás inflamável que pode ser fonte de energia para muitas atividades como, por exemplo, cozinhar os alimentos. Os alunos não foram orientados a fazer a prova de combustão com o gás produzido pelos seus biodigestores, pelo fato de que a maioria funcionou pouco tempo e, principalmente, pelo fator segurança.

O último encontro antes da avaliação da aprendizagem foi via grupo de WhatsApp. O grupo foi criado no início das aulas, e foi exclusivo para a disciplina de Física. O grupo foi batizado com o nome “Física Interativa – 2ANO”. A figura abaixo mostra as informações iniciais do grupo.

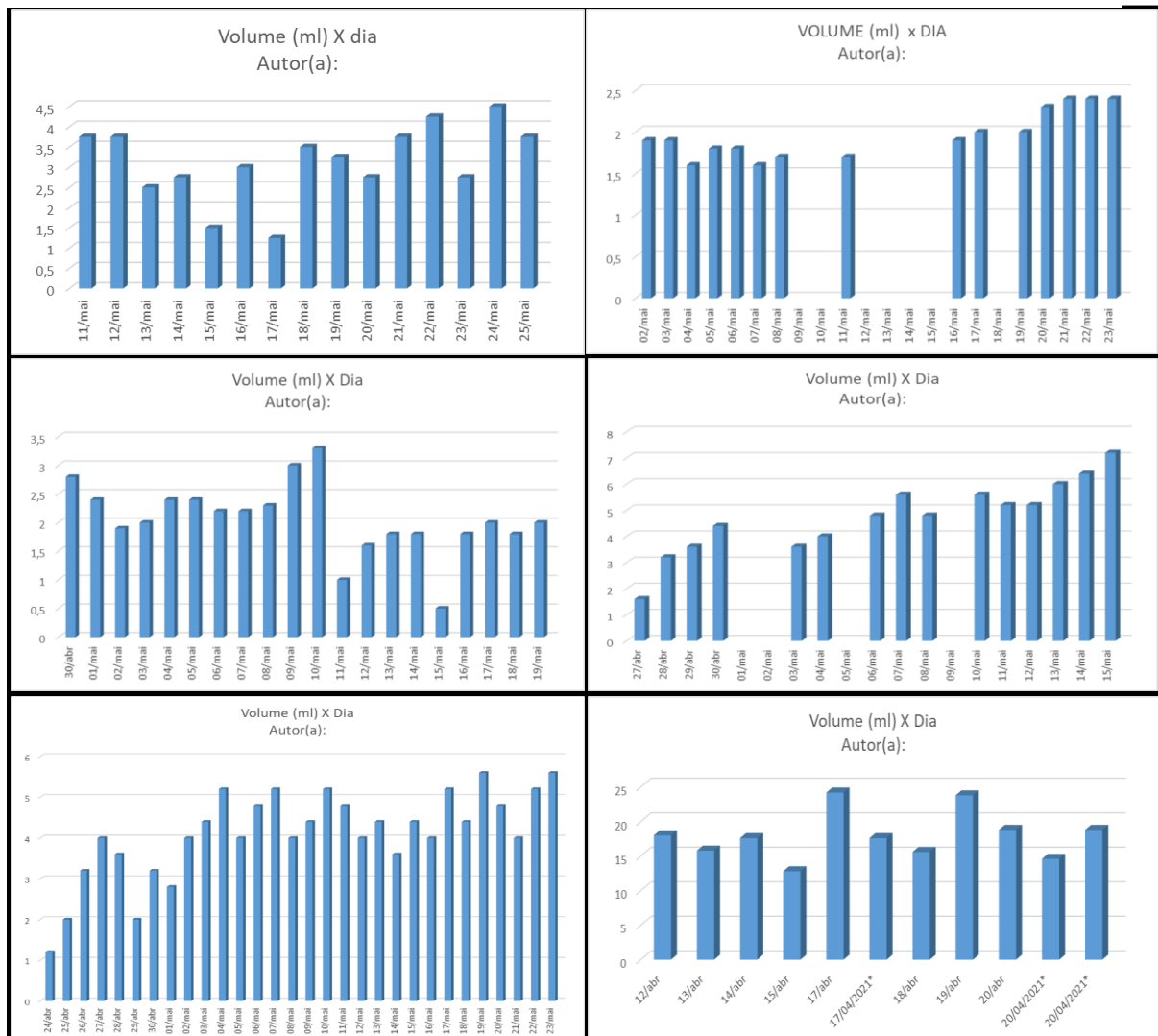
Figura 18: Grupo de WhatsApp da disciplina física do 2º ano do Ensino Médio.



Fonte: o Autor (2021).

Nesse encontro, o professor divulgou para a turma os gráficos de funcionamento dos biodigestores. Os gráficos foram feitos no Excel e mostravam a produção de gás por dia, utilizando os dados fornecido pelos alunos. Dos 23 que acompanharam a aplicação até o final, 13 conseguiram obter algumas marcações no manômetro de tubo aberto. Os outros 10 preencheram seus relatórios a partir dos dados do biodigestor didático fornecido pelo professor. Abaixo estão alguns dos gráficos produzidos a partir dos dados fornecidos pelos os alunos.

Figura 19: Gráficos construídos a partir dos dados fornecidos pelos alunos.



Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do Ensino Médio.

Pode-se observar pelos gráficos que os alunos conseguiram fazer o mínimo de 10 anotações, o que foi pedido para o preenchimento do relatório. Os gráficos mostram uma produção pequena de gás em comparação ao gráfico mostrado no **Apêndice VI**, onde foi usado

o substrato composto basicamente por fezes de gado, um material orgânico de grande facilidade de fermentação. Para preenchimento desses dados, os alunos se valeram de anotações diárias de temperatura, altura de coluna líquida, pressão e volume. Também fizeram observações do substrato. Abaixo, mostra-se o trecho de 6 relatórios entregues no final da atividade.

Figura 20: Relatórios de observação do biodigestor didático

REGISTRE AQUI OUTRAS OBSERVAÇÕES (presença de fungos, cor, odor (cheiro), presença de gases (bolhas)). Registre por dia.

1º Semente e medida começaram a subir
 2º Medida maior que a anterior
 3º começaram a aparecer bolhinhas de ar
 4º começaram a se separar o material orgânico
 5º não subiu a medida
 6º nada de diferente
 10º voltou a subir a medida
 15º formação de alguns fungos de cor (laranja)
 16º nada de diferente
 17º nada de diferente
 20º Os fungos ficaram maiores
 22º Separação do material orgânico

REGISTRE AQUI OUTRAS OBSERVAÇÕES (presença de fungos, cor, odor (cheiro), presença de gases (bolhas)). Registre por dia.

27/04: o biodigestor apresentava bolhas pequenas, não havia separação do material sólido do líquido, o gás que saía da garrafa pequena passava mau odor.
 28/04: o biodigestor continua da mesma forma que estava ontem.
 29/04: o biodigestor estava apresentando bolha na garrafa menor.
 30/04: o biodigestor estava com bolhas na garrafa maior / 5L
 03/05: o biodigestor apresentava mau odor na garrafa maior e menor.
 04/05: o biodigestor continua da mesma forma que estava ontem.
 06/05: o biodigestor apresentava bolhas nas duas garrafas.
 07/05: o biodigestor estava com bolhas na garrafa pequena.
 08/05: o biodigestor estava com mau odor na garrafa grande e estava com a água separação do material.
 10/05: o biodigestor apresentava bolhas na garrafa pequena.
 11/05: o biodigestor não havia apresentado mudança do material sólido e líquido.
 12/05: o biodigestor continua da mesma forma que estava ontem.
 13/05: o biodigestor apresentava aumento da pressão de gás na garrafa menor.
 14/05: o biodigestor apresentava bolhas na garrafa menor.
 15/05: o biodigestor estava com bolhas nas duas garrafas e apresentava bolhas na garrafa menor.

REGISTRE AQUI OUTRAS OBSERVAÇÕES (presença de fungos, cor, odor (cheiro), presença de gases (bolhas)). Registre por dia.

17/05: meu biodigestor está com o odor muito forte.
 18/05: hoje está tudo igual o experimento da garrafa maior está dividido, em cima está com tipo uma cobertura branca e o resto está pra baixo.
 19/05: hoje o biodigestor está do mesmo jeito.
 20/05: o biodigestor está saltando umas bolhas da garrafa maior.
 21/05: o biodigestor em cima está saltando umas bolhas.
 22/05: da garrafa menor está com a água um pouco suja.
 23/05: tá tudo igual.
 24/05: hoje o negócio que está em dentro da garrafa maior subiu um pouco.
 25/05: o biodigestor passou de quilonia.

Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio.

Figura 21: Relatórios de observação do biodigestor didático

Material utilizado para o biodigestor (Descreva aqui os materiais que você utilizou para a confecção do biodigestor didático (garrafas, mangueira e etc...)):

Usei uma garrafa de 5 litros, uma garrafa fina de 350 ml, também usei duas manguieiras, uma grossa e uma fina, e um bico de câmara de pneu com rosca e um Duraspoci.

Substrato (Descreva aqui os materiais orgânicos utilizados (restos de alimentos, legumes, fezes de animais, e etc...), o peso do material orgânico e a quantidade de água adicionada – para cada 1 kg de material sólido, 1 litro de água):

Usei um 1,5 kg de alimento, e 1,5 de água, os alimentos foram, milho, pimenta, e mamão, etc...

REGISTRE AQUI OUTRAS OBSERVAÇÕES (presença de fungos, cor, odor (cheiro), presença de gases (bolhas)). Registre por dia.

31/05 - Coloquei por funcionar meu "Biodigestor" tudo conforme me foi explicado, funcionando normalmente, cheiro de comida com odor muito ruim - tucano.

01/06 - Acabei de manhã fui dar uma olhada no biodigestor no varrão, cheiro bom o que seria isso mas no meu "varrão" poderia ser "pontos" ou "problemas" de decomposição.

10/06 - Biodigestor em funcionamento normal, a cor branca no topo parece não interferir no trabalho.

13/06 - Notei "cheiro" o conteúdo do biodigestor e o cheiro estava um pouco "maio" talvez "pouco decima da vida".

14/06 - percebi que o biodigestor estava gerando pouco "gás" pois as medidas não chegavam de 10cm!

15/06 - tempo umido e não gerou "gás" algum, no momento percebi que estava quebrado!

16/06 - Tirei a medida e vi que está em a medida de 10cm.

REGISTRE AQUI OUTRAS OBSERVAÇÕES (presença de fungos, cor, odor (cheiro), presença de gases (bolhas)). Registre por dia.

17/06 - por completo não houve nenhuma mudança somente a coloração laranja e foi abastecido com 1,25 kg de resto de comida e 1,25 litro de água, e formação de bolhas e um pouco de mal cheiro. Dia 27: Nesse período de tempo ocorreu uma expansão, a massa subiu e uma líquida acumulou na parte de baixo, Dia seguinte surgiram de pedruzcos brancos que deve se jogar. Hoje está com várias bolhas na garrafa grande e bolhas muito pequenas na garrafa menor, mas pequenas apenas na garrafa grande.

Temperatura pode observar que quanto maior a temperatura maior pode ser a produção de gás.

Dia 29/06 ocorreu muita chuva clima frio, a produção de gás caiu bastante.

Com a chuva, na garrafa grande a cor do líquido está amarelado com a direção das massas e com fungos na parte superior da garrafa.

Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio.

Observa-se que as observações foram pertinentes com o funcionamento do biodigestor: aparecimento de bolhas, fungos, aumento no volume do substrato, mudança de cor. As medidas de gás tiveram problemas, pois o biodigestor precisa de tempo de funcionamento para o trabalho das bactérias. Como os alunos não montaram seus biodigestores ao mesmo tempo, cerca de 50% dos que montaram fizeram poucas observações.

A prática com o biodigestor foi bastante prejudicada devido às condições oferecidas pelo ensino remoto. O professor não teve como acompanhar diretamente a execução do experimento, nem pôde acompanhar de perto para verificar os problemas que impediam a produção de gás. Dessa forma, se os alunos conseguissem fazer algumas medidas e

observações, já teriam alcançado o objetivo. Treze alunos conseguiram fazer essas medidas. Os outros 10 fizeram a partir dos dados enviados pelo professor.

A partir das observações, os alunos poderiam fazer conexões dos conceitos vistos em sala com os fenômenos na prática. Por exemplo, pelo aparecimento de bolhas e “fungos”, os alunos podiam observa as evidências de atividades bacterianas. Com as variações de temperatura, eles poderiam comparar essas variações com a produção de gás. Observa-se da figura acima, que um dos alunos observou que, com maior temperatura havia produção maior de gases. Outra relação importante foi comparar a altura de coluna líquida com a produção de gás. Quanto maior fosse a altura da coluna líquida, maior pressão do gás dentro da garra pequena e, conseqüentemente, maior era a produção de gás.

Essas atividades investigativas são importantes para o processo de aprendizagem significativa. Apesar de não termos nessa atividade um instrumento de aprendizagem exclusivamente por descoberta (pois todo o experimento foi programado e orientado passo a passo, portanto, por recepção), os alunos puderam observar os fenômenos na prática, e, principalmente, as falhas e imprevistos, recorrendo à possíveis soluções.

6.4 Resultados e discussões sobre a quarta etapa da pesquisa.

6.4.1 – Resultados e discussões sobre a Avaliação de Aprendizagem.

Como foi visto no item **3.1.9** desta dissertação, os testes para a aprendizagem significativa podem não obter as evidências necessárias (posse de significados claros, precisos, diferenciáveis e transferíveis), detectando apenas respostas mecanicamente memorizadas. Porém, seguido algumas diretrizes propostas no referencial teórico desta dissertação, propôs-se a utilização de problemas não familiares que requeriam a transformação do conhecimento adquirido e a diferenciação de conceitos relacionados através de instrumentos, como os mapas conceituais, buscando evidencias de uma aprendizagem significativa.

Para este objetivo, foi elaborado uma lista de exercícios (**Apêndice IV**) contendo 10 questões: 8 questões de múltipla escolha e 2 subjetivas. A tabela a seguir mostra a relação dos alunos e seus acertos obtidos nas 8 questões objetivas. As análises das 2 questões subjetivas serão feitas posteriormente. Por sigilo, para a discussão das respostas, os alunos serão identificados pela letra A acompanhada de um número.

Tabela 4: Relação de acertos por aluno.

Aluno	Questão 1	Questão 2	Questão 3	Questão 5	Questão 6	Questão 7	Questão 8	Questão 9	Total de acertos
A1	X	X	X	X		X		X	6
A2	X	X			X		X		4
A3	X	X	X		X		X		5
A4	X	X	X	X	X	X	X	X	8
A5	X		X	X	X	X		X	6
A6	X	X	X	X			X	X	6
A7	X	X	X					X	4
A8	X								1
A9	X	X				X	X	X	5
A10	X								1
A11	X	X	X	X	X	X		X	7
A12	X			X	X	X		X	5
A13	X	X	X		X	X			5
A14	X	X	X	X	X	X		X	7
A15	X	X							2
A16	X	X							2
A17	X		X	X					3
A18	X	X	X	X	X			X	6
A19	X	X	X					X	4
A20	X			X	X			X	4
A21	X					X			2
A22	X						X	X	3
A23	X					X		X	3

A primeira questão teve 100% de acerto. Essa questão exigia que o aluno tivesse compreendido que, apesar da energia proveniente da fotossíntese ser importante para os seres vivos, ela, bem como outras formas de energia que utilizamos, em primeira instância, provém do Sol. A totalidade das respostas corretas mostra que pode ser uma evidência da ocorrência de aprendizagem significativa, não excluído, no entanto, que muitos podem ter respondido de maneira mecânica. A resposta correta para esta questão era a alternativa D.

A segunda questão exigia que o aluno tivesse organizado em sua mente os conceitos envolvidos no processo de transferência de energia na natureza. Para esta questão, obteve-se 14 respostas corretas (Alternativa C). Em porcentagem, 60,9% de acertos e 39,1% de erros. A maioria respondeu corretamente, mostrando, possivelmente, uma evidência de aprendizagem significativa.

Na terceira questão, apesar de ser uma pergunta direta, apenas 12 respostas foram corretas (Alternativa B), em percentual 52,2% de respostas corretas e 47,8% de erros. Os que erraram provavelmente não fizeram associação correta entre os conceitos de digestão

anaeróbia/aeróbia com a presença ou não de oxigênio. Portanto, provavelmente, esta pode ser uma evidência de aprendizagem significativa para as respostas corretas.

A quinta questão apresentava uma figura onde estava representada a estrutura da matéria pelo movimento dos átomos. O texto fornecia informações sobre como os átomos se comportam quando o calor é fornecido ou retirado de um corpo. Para esta questão, 10 respostas foram corretas (Alternativa C), 43,5% de acertos e 56,5% de erros. A questão exigia a análise das três estruturas internas de uma mesma substância. Os conceitos de sólido, líquido e gasoso deveriam ser associados corretamente as figuras, o que não aconteceu para a maioria das respostas. Para esta questão, provavelmente, não houve aprendizagem significativa para a maioria dos que responderam.

Na questão 6, os alunos encontraram duas situações envolvendo as variáveis de um gás. Na primeira situação (item A), uma garrafa com gás sulfídrico, fechada, foi exposta ao Sol. Na segunda situação (item B), areia foi colocada sobre o êmbolo de um cilindro contendo oxigênio. Nestas duas situações, os alunos deveriam observar qual variável de estado permanecia constante. Alguns alunos comentaram que ficaram em dúvida se a alternativa correta não seria a letra c. Provavelmente, a confusão estava no termo “isobárica” que aparecia na questão c, que pode ter sido associado incorretamente à compressão do gás. A alternativa correta nesta questão era a letra a. A questão teve 43,5% de acertos (10 respostas) e 56,5% de erros. Chamou a atenção a segunda resposta mais escolhida, a alternativa b. Esta alternativa afirmava que no item A, a garrafa com gás sulfídrico teria diminuição das colisões das moléculas com a parede da garrafa. Isso provavelmente aconteceu pelo fato de os que escolheram esta alternativa não associaram o aumento de temperatura a uma maior agitação das moléculas. Portanto, os conceitos não foram corretamente associados para mais de 50% dos participantes.

A questão 7 apresentou uma situação que envolvia novamente as variáveis de um gás ideal. Nessa situação, um balão com gás a 25°C e pressão constante é colocado em uma geladeira. A alternativa correta para esta questão foi a letra A. Dez respostas foram para essa alternativa, formando um percentual de 43,5% de respostas corretas. Novamente, a maioria não teve uma aprendizagem eficiente neste assunto, pois não conseguiram relacionar os efeitos do volume às variações de temperatura numa transformação isobárica, que são vistas na lei de Gay-Lussac. As respostas desta questão com a anterior (questão 6), mostraram que não parecia estar bem definido na estrutura cognitiva dos alunos o conceito de isotérmico, isobárico, isocórico, com seus respectivos significados (temperaturas iguais, pressões iguais e volumes iguais). Talvez, por parecer tão simples, o professor não tenha destacado bem essa relação durante as aulas. Alguns dos alunos responderam a letra C (4 alunos, 17,4%), justificando que achavam

que a densidade do gás diminuiria. Quando o professor perguntou se a temperatura dentro da geladeira é maior ou menor que o meio exterior, eles responderam menor. Então, o professor prosseguiu: com volume menor, para uma mesma massa, a densidade aumenta ou diminui? Então, os alunos se deram conta de que haviam analisado mal a questão.

A 8ª questão mostrou não apresentou evidências de aprendizagem significativa para a maioria dos participantes no tocante ao uso das equações das leis dos gases. Apenas 6 alunos marcaram a alternativa correta (alternativa E). Em percentual, foram 26,1% de acertos e 73,9% de erros. Um dos alunos relatou que não conseguiu colocar os valores no lugar das letras. E então, multiplicou alguns dos valores e encontrou o valor correspondente a letra D. Este é um fato interessante que pode mostrar que as letras das fórmulas não foram relacionadas de forma eficiente a algum subsunçor na estrutura cognitiva do aluno, nem houve relação entre os valores e suas letras correspondentes, ou seja, não houve atribuição de significado. Essas dificuldades com fórmulas e cálculos já foram identificadas anteriormente, depois da aplicação do Questionário I. Os alunos encontram muita dificuldade quanto à resolução de problemas envolvendo fórmulas matemáticas. Esta pode ser uma motivação para pesquisas futuras, visto que a metodologia descrita nesta dissertação não visava sanar tais dificuldades.

Na questão 9, apresentou-se uma situação aparentemente mais complexa do que a anterior. Nessa questão, os alunos deveriam encontrar o volume que 250 mols de gás ocupariam quando submetidos à pressão atmosférica. Para essa questão, obteve-se 60,9% de acertos (14 respostas) e 39,1% de erros, o que mostra uma boa assimilação desta parte do conteúdo. Contudo, contrastando com a questão anterior, pode parecer contraditório que mais alunos conseguiram resolver a questão mais complexa (envolvendo a equação de Clapeyron) e não conseguiram resolver a questão 6. A questão 6, apesar de matematicamente mais simples, exigia primeiramente a correta relação entre o termo “isocórica” e a correspondente fórmula, no caso, a Lei de Gay-Lussac. Então, pode ter havido confusão quanto a escolha da fórmula, na associação desta com seu conceito.

As questões 4 e 10 foram de respostas subjetivas. Para a questão 4, foram obtidos 7 grupos de respostas. Seis deles estão dispostos nas **Figuras 22, 23, 24, 25, 26, 27 e 28**.

Figura 22: Resposta dada pelo aluno A2 para a questão 4.

É impossível liquefazee o metano apenas por elevação da pressão. portado o metano é realmente um gás

Fonte: Autor (2021).

Nessa questão, fez-se a seguinte pergunta: “Um dos principais componentes do biogás é o gás Metano (CH₄). Por que o metano é um gás? Justifique com suas próprias palavras, sabendo que a temperatura crítica do metano é -83°C ”. A pergunta teve o objetivo principal de avaliar a capacidade do aluno de explicar com suas próprias palavras as características de um gás com base no diagrama de fases. Analisando a resposta apresentada na **Figura 22**, dada pelo aluno A2, nota-se que a mesma foi dada maneira incompleta. Talvez a falta de informação seja pelo fato de que não ficou claro na mente do aluno o conceito de temperatura crítica, ou este conceito não encontrou ancoragem em nenhum subsunçor relevante. Resposta semelhante também foi dada pelo aluno A1.

Figura 23: Resposta dada pelo aluno A7 para a questão 4.

O gás é um elemento que na fase gasosa se encontra condição em temperatura superior à sua temperatura crítica e jamais consegue ser liquefeita por compressão sustentando em síntese a temperatura constante, desta maneira, a temperatura ambiente, que por indício é muito acima desse valor de 83°C , é improvável liquefazer o metano apenas elevamento da pressão. Por isso, o metano é de fato um gás

Fonte: Autor (2021).

A resposta dada pelo aluno A7 (**Figura 23**) foi a mais completa, encontrando semelhança com a resposta dos alunos A3, A5, A6 e A16, totalizando 21,7% de respostas semelhantes. A resposta foi rica em detalhes, associando os conceitos de maneira correta e apresentado bastante substantividade. Portanto, essa resposta apresentou evidências de aprendizagem significativa.

Figura 24: Resposta dada pelo aluno A4 para a questão 4.

Porque ele não tem um corpo físico ou sólido isso é uma das características dos gases, além dele ficar sempre em movimento como no efeito estufa, que ele acaba prejudicando o meio ambiente, e o gás metano não tem cheiro

Fonte: Autor (2021).

Na **Figura 24**, temos a resposta dada pelo aluno A4. A resposta apresentou pouco significado. O aluno atribuiu diversos conceitos que, apesar de se referirem ao mesmo assunto, não apresentaram muita lógica no contexto da resposta. Um detalhe interessante foi o fato de o aluno dizer que o metano não tem “um corpo físico”. Provavelmente, ele quis afirmar que um gás não possui forma definida. A confusão talvez seja devido a conceitos que não foram bem diferenciados. Respostas semelhantes foram observadas nas respostas dos alunos A13, A15 e A20 (17,4% de respostas semelhantes).

Figura 25: Resposta dada pelo aluno A11 para a questão 4.

Por quê esse gás também suportar a temperatura crítica do metano.

Fonte: Autor (2021).

A resposta da **Figura 25**, dada pelo aluno A11, apresentou o conceito de temperatura crítica, porém, o conceito não foi diferenciado adequadamente, sendo aparentemente confundido com o conceito de pressão, pois o aluno afirmou que o gás “suporta” uma temperatura crítica. A resposta foi semelhante também para os alunos A8, A14 e A21 (17,4 % de respostas semelhantes).

Figura 26: Resposta dada pelo aluno A9 para a questão 4.

O gás metano, e um gás que pode ser produzido por matéria orgânica, e pode ser chamado de biogás que pode ser usado como fonte de energia
Esse gás também trás alguns problemas pra saúde, como também pode causa aquecimento global.

Fonte: Autor (2021).

Na resposta da **Figura 26**, dada pelo aluno A9, foram apresentados muitos conceitos relacionados ao metano, porém, a resposta não satisfaz à pergunta. Semelhantes respostas foram encontradas nas respostas dos alunos A10, A12 e A22, totalizando 17,4% de respostas semelhantes.

Figura 27: Resposta dada pelo aluno A19 para a questão 4.

Por que ele pode ser explosivo se caso adicionarmos ao ar por ser pouco solúvel

Fonte: Autor (2021)

Seguindo a mesma linha da resposta anterior, a resposta da **Figura 27** dada pelo aluno A19 apresentou a propriedade do metano de ser um gás de alto teor inflamável quando adicionado ao ar. Mas a resposta também não contemplou a pergunta.

O aluno A17 respondeu “Não sei dizer”. A resposta foi semelhante à dos alunos A18 e A23. A resposta pode mostrar que o aluno não conseguiu ser contemplado pela metodologia, não teve interesse pelo assunto ou não estava muito motivado para aprender o tema, o que é previsto pela TAS. O interesse em aprender é um dos principais requisitos para que haja uma aprendizagem significativa. Observa-se que o aluno A17 e A23 acertaram apenas 3 questões

das perguntas objetivas e o A18 acertou 6. Para o assunto da pergunta, não houve uma clara evidência de aprendizagem significativa.

A questão 10, de caráter subjetivo, teve o objetivo de avaliar como os alunos utilizariam o conhecimento adquirido nas aulas para a solução de problemas cotidianos. A resposta exigia dos alunos subjetividade, além de uma disposição clara dos conceitos estudados durante as aulas. A pergunta pedia para que os alunos dissessem como poderiam utilizar o biodigestor como alternativa para o problema do aquecimento global, do lixo e da obtenção de energia limpa. Como já exposto anteriormente neste trabalho, o biodigestor é uma opção para obtenção de energia limpa e preservação do meio ambiente. De fato, não faria sentido estudar apenas seu funcionamento físico, biológico e químico, sem enxergá-lo como parte de soluções viáveis para os problemas ambientais. As respostas obtidas foram organizadas em quatro grupos, conforme as **Figuras 28, 29, 30 e 31**.

Figura 28: Resposta dada pelo aluno A1 para a questão 10.

E uma forma melhor para se usar Frutas,verduras e vegetais que normalmente seriam jogadas fora.

Fonte: Autor (2021).

As respostas semelhantes às da Figura 28, dada pelo aluno A1, destacaram a utilização do biodigestor para reduzir o acúmulo de lixo na natureza. Este foi um dos pontos ressaltados durante as aulas, e que satisfazem as aplicações do biodigestor. Respostas semelhantes foram dadas pelos alunos A8, A11, A13, A14, A17 e A22. Para esses alunos, ficou claro que a biodigestão ocorre a partir da degradação de matéria orgânica presente no lixo. Essa parece ser a ideia que se ancorou com mais firmeza ao conceito de biodigestão. Apesar de haver respostas mais completas, acreditamos que, para as respostas semelhantes à da **Figura 28**, pode-se observar uma assimilação de parte do conteúdo dado durante as aulas, e, portanto, uma possível evidência de aprendizagem significativa.

Figura 29: Resposta dada pelo aluno A4 para a questão 10.

Porque ele usa alguns tipos de lixo como combustível restos de comida,plantas mortas,fezes etc e ele acaba produzindo biogás e fertilizantes bem mas rápido que o normal

Fonte: Autor (2021).

As respostas semelhantes à da **Figura 29** associaram melhor os conceitos de biogás e biofertilizantes ao conceito de biodigestão/biodigestor. A resposta destacou o biodigestor como acelerador da biodigestão, isso porque oferece um ambiente propício para as bactérias anaeróbias. Respostas semelhantes foram encontradas nas respostas dos alunos A3, A15 e A16. Acreditamos que, para essa pergunta, houve aprendizagem significativa.

Figura 30: Resposta dada pelo aluno A5 para a questão 10.

Como nesse processo pegamos resto de comidas que não vamos utilizar mas, ajudaria a reduzir muito os lixos nas ruas e rios, e com o adubo que produzimos através da biodigestão, podemos usar nas plantas, assim produzir alimentos para nós mesmos.

Fonte: Autor (2021).

Nas respostas semelhantes à da **Figura 30**, apenas um dos conceitos foi relacionado ao conceito de biodigestor: o adubo (biofertilizantes). Os alunos conseguiram associar apenas esse conceito ao conceito de biodigestor, sendo o conceito principal pouco diferenciado. Resposta semelhante foi encontrada para o aluno A19.

Figura 31:Resposta dada pelo aluno A2 para a questão 10.

Eu utilizaria o processo da biodigatao para o aquecimento para mostra para as outras pessoas quer nós fazendo biodigesto nos tarimos ajudando o aquecimento global ,reduzindo o acúmulo de lixo ,é terimos a energia mas limpa

Fonte: Autor (2021).

As respostas semelhantes a resposta da **Figura 31** foram diferentes por introduzirem a ideia de aquecimento global e energia limpa. Respostas semelhantes foram encontradas nas respostas dadas pelos alunos A7, A10, A12, A20 e A23. Como estes foram conceitos trabalhados em sala de aula associados ao biodigestor, acreditamos que nestas respostas vemos evidências de aprendizagem significativa.

Analisando as respostas apresentadas para a questão 10, observa-se que, de maneira geral, houve uma assimilação e retenção do conteúdo, de forma bem abrangente, permitindo que os alunos pudessem responder, de maneira subjetiva, porque proporiaram o biodigestor como opção frente a problemas cotidianos. Isso é importante, pois que o aluno aprende em sala deve ser utilizado para a solução de problemas que podem ir desde um nível local (lixo residencial, por exemplo) até escala global (como o efeito estufa).

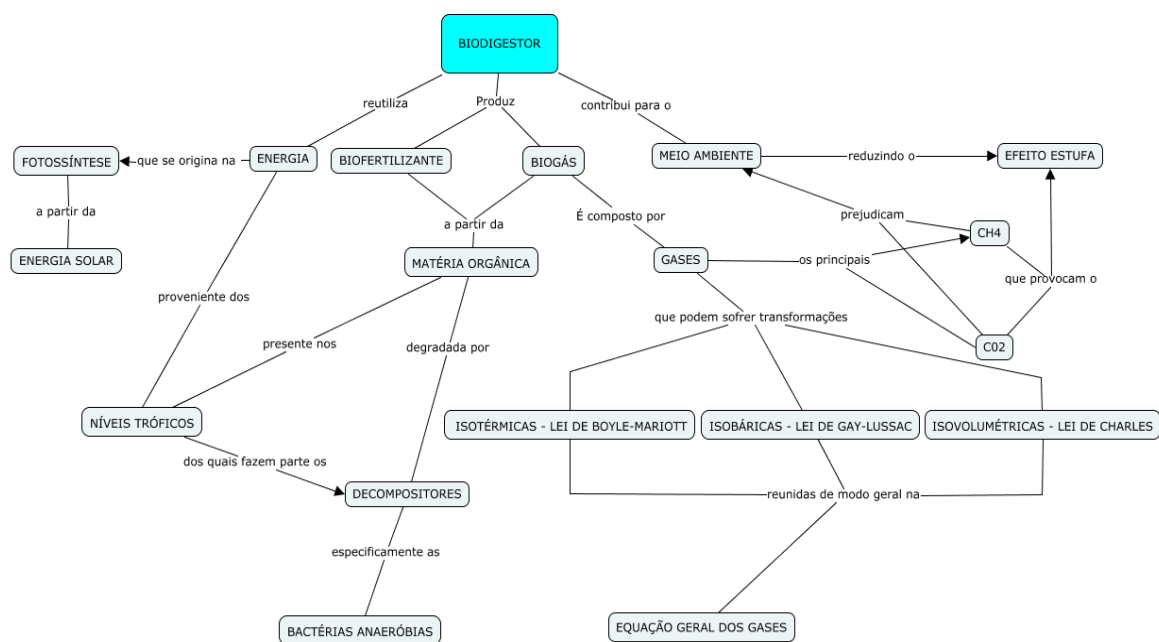
Mas nem todos os alunos conseguiram de forma satisfatória responder à pergunta. Os alunos A6, A9, A18 e A21 não deram respostas. Se tais alunos estavam atentos às orientações dadas no grupo da turma ou leram o material fornecido, então é possível que o material ou a didática do professor não instigou seu interesse pelo conteúdo. Também pode acontecer de a ligação entre o que está sendo aprendido e o que há na estrutura cognitiva do aluno não tenha sido estabelecida ou o foi fracamente. Para esses alunos, não podemos encontrar evidências de que ocorreu aprendizagem significativa para o conteúdo que satisfaz à pergunta.

6.4.2 Análise e discussão sobre os mapas conceituais.

Para auxiliar na identificação da ocorrência de aprendizagem significativa, usou-se o recurso dos mapas conceituais. Os mapas conceituais procuram mostrar a organização dos conteúdos na estrutura cognitiva do aprendiz, de maneira hierárquica, do conceito mais inclusivo para os mais específicos. Com a finalidade de se obter mais um instrumento para a avaliação dos alunos, ministrou-se uma aula no segundo encontro (**Tabela 4**), para introduzir o assunto antes das aulas propriamente ditas. A experiência foi descrita no **item 6.3** desta pesquisa.

O mapa abaixo foi elaborado pelo autor com os principais conceitos que ele esperava encontrar nos mapas dos alunos. O mapa não foi apresentado durante as aulas.

Figura 32: Mapa conceitual elaborado pelo autor.



Fonte: Autor (2021).

A seguir, apresenta-se uma discussão com base em 11 mapas (de 15 alunos) apresentados ao final das atividades. Os mapas poderiam ser feitos em dupla, e alguns alunos fizeram mapas semelhantes. Os alunos A7, A8, A9, A11, A12, A13, A18 e A20 não entregaram os mapas. Tal atitude pode refletir a falta de interesse do aluno na atividade ou, mesmo, a dificuldade em confeccionar o mapa conceitual, visto que a técnica não é algo fácil e rápido de se aprender, exigindo experiência e tempo de prática.

O conceito central para os mapas foi o Biodigestor. Para a análise, utilizou-se o método apresentado por SILVA (2015) que divide os mapas em três grupos: bem elaborados e significativos, elaborados e significativos e mapas pouco significativos. Vale ressaltar que o mapa conceitual varia muito de acordo com a subjetividade de quem o confecciona, não havendo, portanto, um mapa correto ou errado.

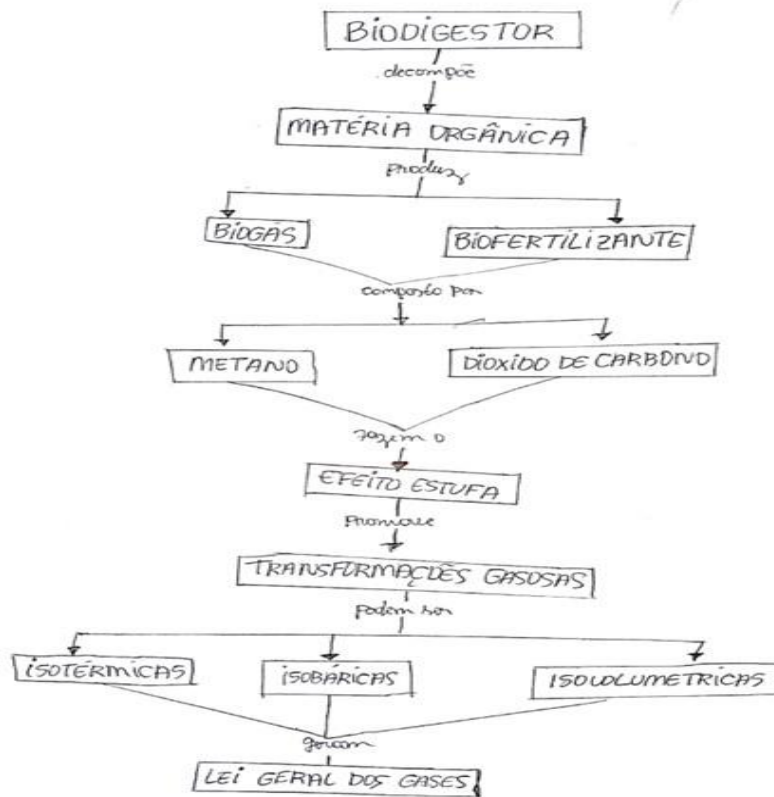
a) MAPAS BEM ELABORADOS E SIGNIFICATIVOS

Os mapas a seguir foram classificados como bem elaborados e significativos pelos seguintes critérios:

- Estar organizado de maneira hierárquica;
- Formar proposições lógicas e coerentes com o conteúdo ministrado.

O mapa da **Figura 33** foi elaborado pelo aluno A19. Observa-se que o mapa apresentou uma hierarquia dos conceitos, colocando o tema principal (o Biodigestor) no topo do mapa. Observa-se também que o conceito biodigestão teve ligação direta com os conceitos de biogás e biofertilizantes, os dois principais produtos da biodigestão. Também se percebe que o aluno fez uso de termos de ligação para formar proposições, o que dá sentido ao mapa. Apesar de outros conceitos importantes não aparecerem no mapa, ele apresentou sentido e hierarquia dentro de conceitos vistos em sala de aula, e, portanto, uma evidência de que houve uma organização hierárquica na mente do aluno.

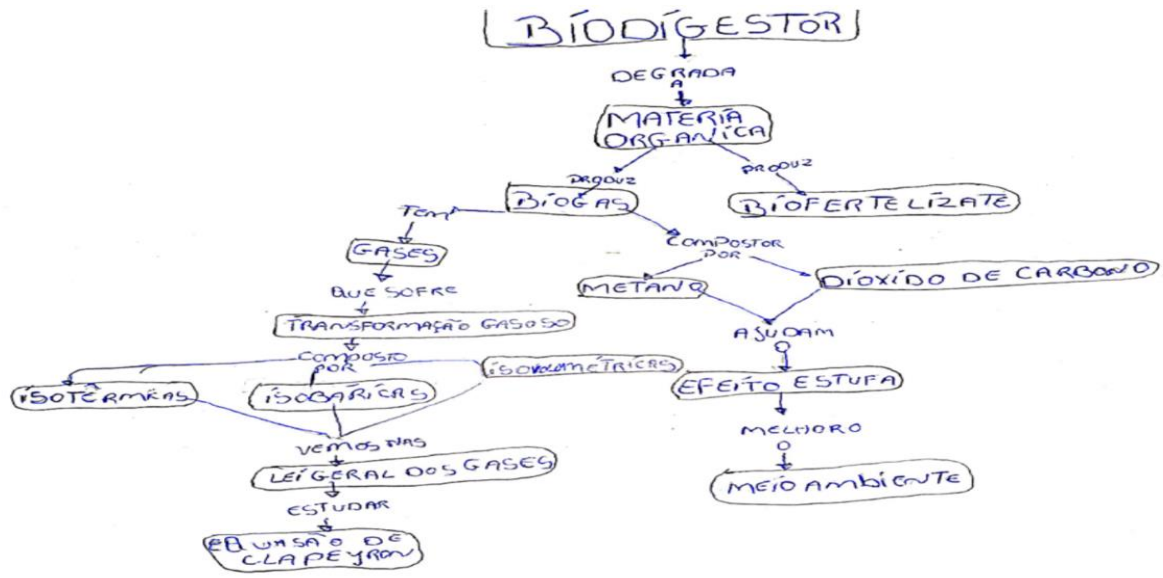
Figura 33: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A19.



Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio – 2021.

O mapa da **Figura 34** foi confeccionado pelo aluno A2. Esse mapa foi bem mais elaborado, pois apresentou mais conceitos importantes estudados durante a aplicação do biodigestor, bem como fez ligações pertinentes entre os conceitos, ricas em palavras de ligação e proposições válidas. O mapa também tem estrutura um pouco semelhante ao mapa do aluno A12 na **Figura 33**. Isso se deve pelo fato de que os alunos poderiam interagir entre si na confecção dos mapas.

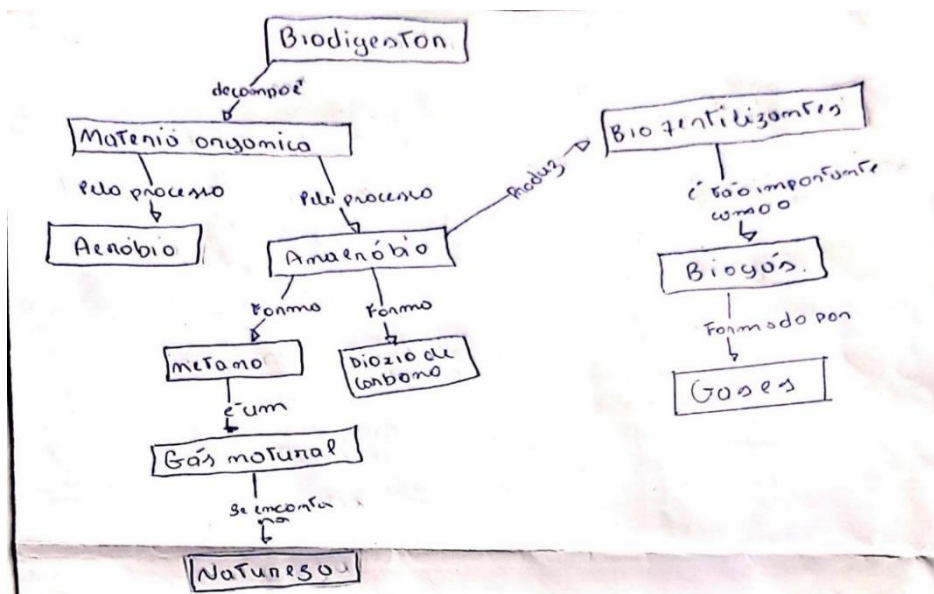
Figura 34: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A2.



Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio – 2021.

O mapa seguinte, da **Figura 35**, também apresentou algumas relações significativas. Por exemplo, o conceito de biodigestor está corretamente relacionado à matéria orgânica e, por conseguinte, com o processo de digestão anaeróbia/aeróbia. Essas proposições refletem os conteúdos ministrados em sala durante a aplicação do produto, e, provavelmente, o que foi assimilado pelo aluno. O mapa foi construído pelo aluno A5.

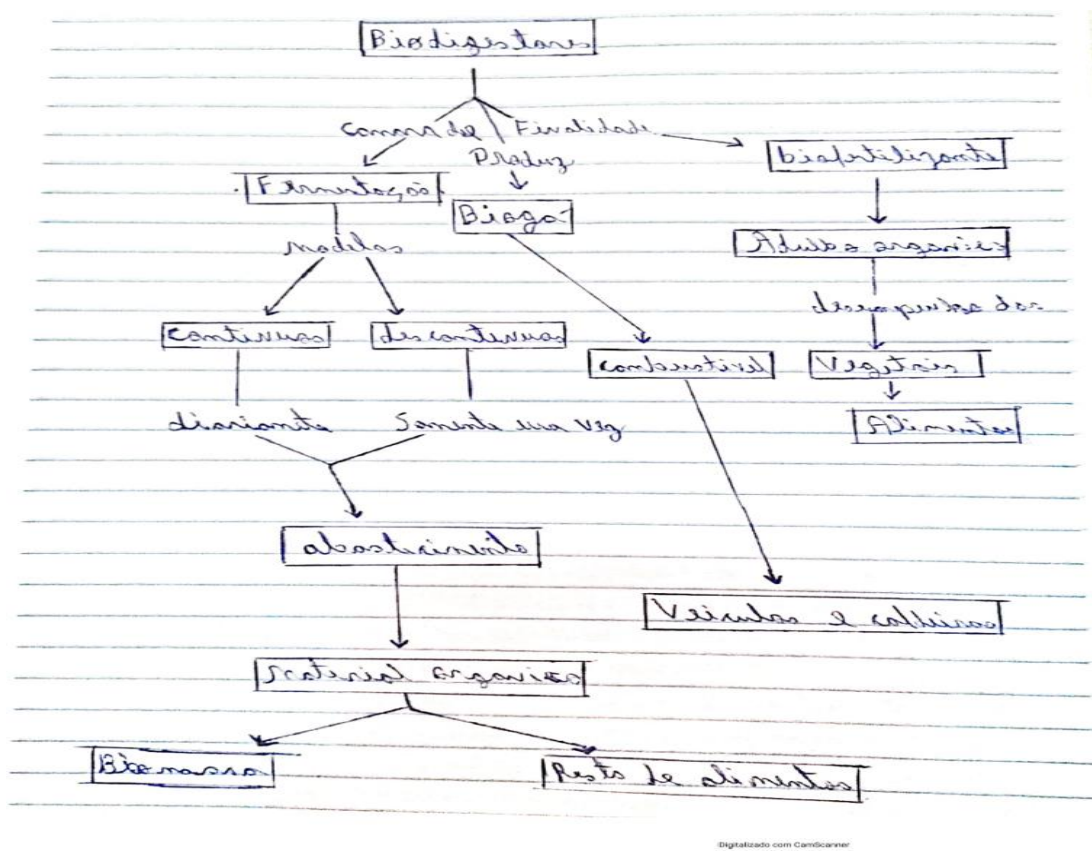
Figura 35: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A5.



Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio – 2021.

Abaixo, na **Figura 36**, está o mapa apresentado pelo aluno A4. Esse aluno, conforme a **Tabela 5**, acertou todas as questões objetivas. Também foi quem conseguiu fazer maiores anotações do biodigestor didático. Semelhante à maioria dos mapas, esse aluno colocou o conceito principal “biodigestores” fazendo a conexão por palavras de ligação com os conceitos de “fermentação”, “biogás” e “biofertilizantes”. Um destaque interessante deste mapa é que o aluno buscou colocar os exemplos no final do mapa, o que representa uma boa diferenciação dos conceitos.

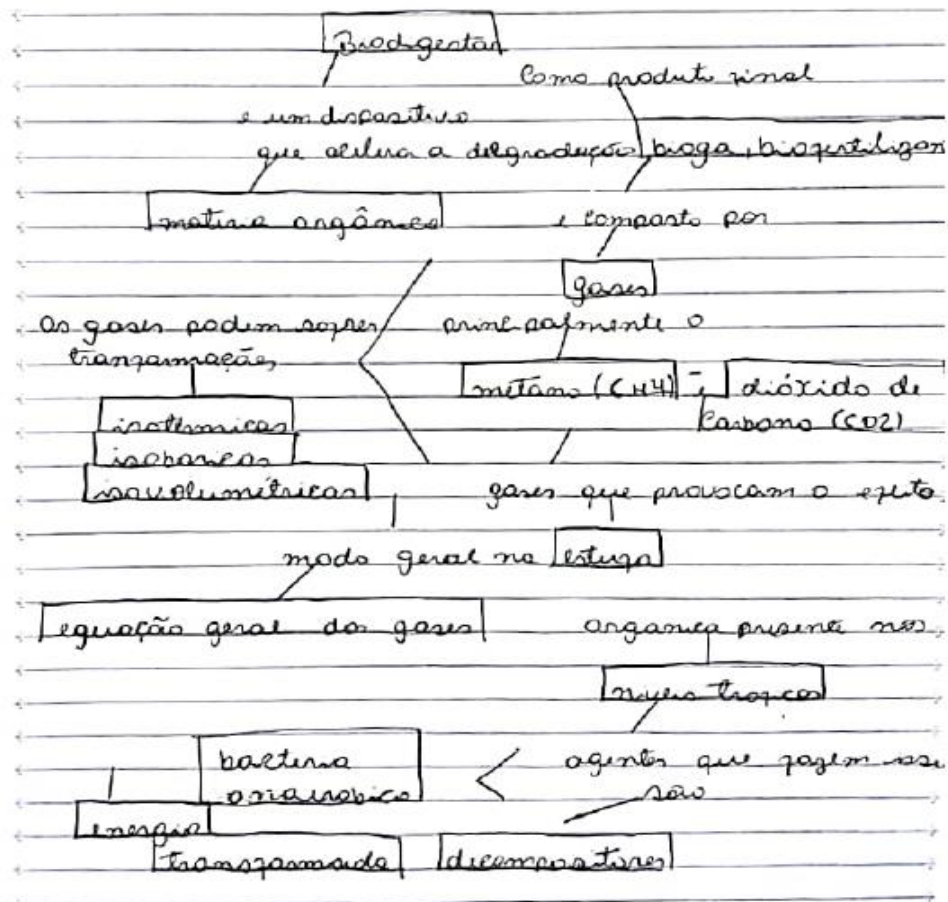
Figura 36: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A4.



Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio – 2021.

Na **Figura 37**, apresenta-se o mapa produzido pelo aluno A23. Esse mapa também foi rico em diferenciação progressiva e hierarquia. A partir do tema principal, o aluno conseguiu organizar a maioria dos principais conceitos vistos durante as aulas, principalmente os relacionados ao estudo dos gases. Apesar de não apresentar uma boa visualização, se for observado detalhadamente, o mapa apresenta proposições relevantes e corretas, como podemos ver na relação do conceito “gases” como seus temas correlatos (isotérmico, isobárico, isovolumétrico, equação geral dos gases).

Figura 37: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A23.



Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio – 2021.

b) MAPAS ELABORADOS E SIGNIFICATIVOS

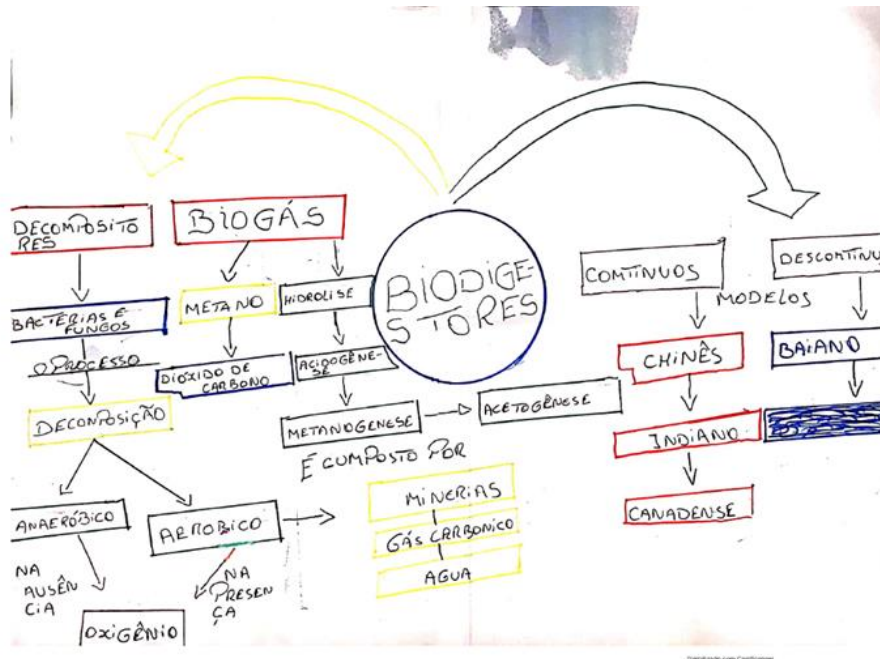
Os mapas a seguir apresentaram uma relação lógica entre os conceitos estudados em classe, porém, não tão elaborado quanto os anteriores. Os critérios usados para classificar os mapas em elaborados e significativos foram o seguinte:

- Apresentar ligações corretas entre os conceitos.
- Apresentar alguma proposição formada corretamente.

Na **Figura 38**, o mapa elaborado pelo aluno A6 apresenta uma estrutura diferente da estrutura dos demais mapas apresentados. O aluno colocou o tema principal no centro, semelhante a um mapa mental, e ligou ao redor conceitos relacionados ao biodigestor, apresentando uma hierarquia entre os conceitos e ideias, porém, como se fossem “blocos”. Observa-se que ao lado do conceito Biodigestor, o aluno construiu quatro colunas principais:

decompositores, biogás, contínuos e descontínuos, colocando após estes conceitos outros que, de alguma forma, tem relação com aqueles. Dessa forma, o mapa foi considerado elaborado e significativo, mesmo não sendo organizado de forma hierárquica (com o conceito biodigestor em cima), pois dá uma noção do conteúdo estudado em classe, e que melhor foram assimilados pelo aluno.

Figura 38: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A6.

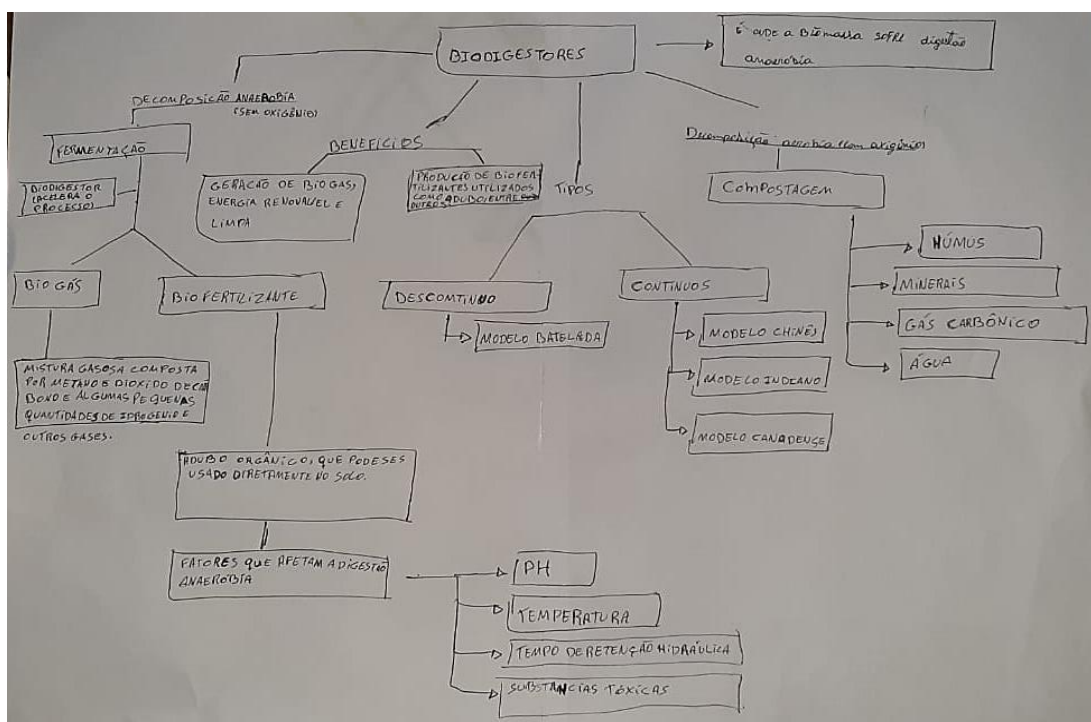


Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio – 2021

O mapa da **Figura 39** também apresentou uma boa estrutura hierárquica, com mais conceitos interligados que dão uma ideia mais ampla dos temas que norteiam o conceito de Biodigestão/biodigestor. O mapa foi feito pelo aluno A17. Nesse mapa, nota-se a ligação direta entre o conceito de biodigestor com o conceito de decomposição anaeróbia, assunto que foi explorado nas aulas. Destaque para o conceito de fermentação, o qual foi ligado com o conceito de biogás e biofertilizantes, uma ligação que está dentro do que foi apresentado em classe. Observa-se também que o mapa destacou os tipos de biodigestores, colocando no mesmo nível de diferenciação os biodigestores contínuos e descontínuos, dois conceitos que podem ser colocados apropriadamente no mesmo nível. Apesar de não apresentar os conceitos relacionados ao estudo dos gases, este aluno conseguiu confeccionar um mapa com bom nível de sentido e organização hierárquica, porém, com poucas proposições. Mas a falta dessas proposições não impediu de se ter uma noção de como o conteúdo se organizou na mente do aluno. Se observamos a **Tabela 5**, veremos que o aluno A17 acertou 3 das 8 questões. É

interessante o fato de que a maioria das questões erradas estavam relacionadas especificamente ao estudo dos gases, o que não foi desenvolvido no mapa do aluno. Talvez, esta parte do conteúdo não foi assimilado de maneira significativa pelo aluno, o que também é esperado, devido a vários fatores como material ou conteúdo sem potencial significativo para o aluno, desinteresse pessoal, ou mesmo o professor não conseguiu na metodologia oferecer um ambiente de ensino onde este aluno possa captar os conteúdos de maneira significativa.

Figura 39: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A17.

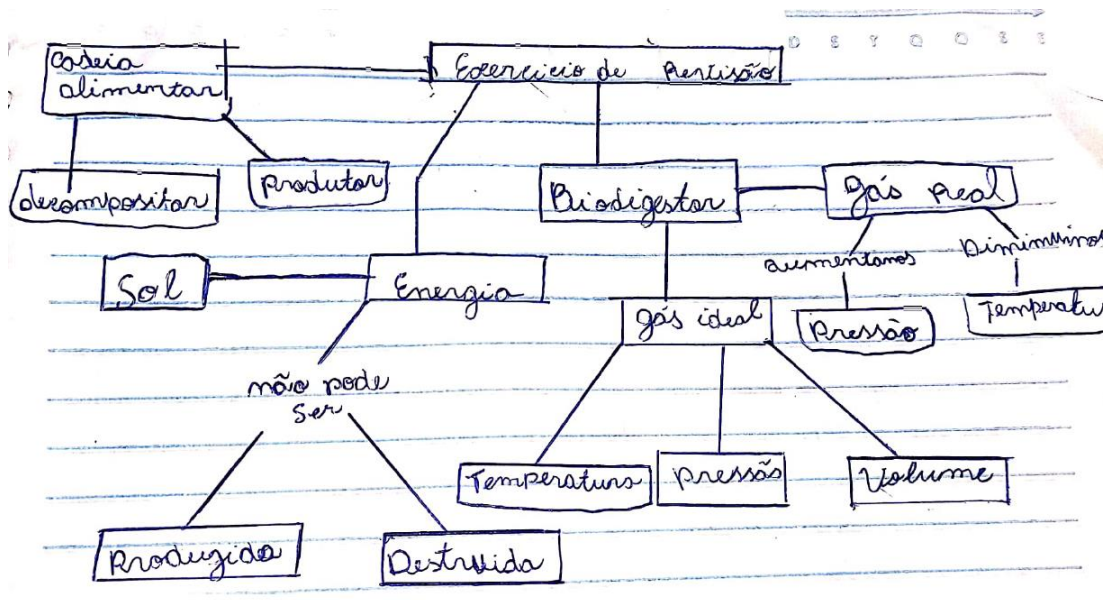


Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio – 2021.

Na figura abaixo (**Figura 40**), está o mapa confeccionado pelo aluno A1. Nesse mapa, observa-se relações importantes e significativas. Por exemplo, o aluno associou ao conceito de biodigestor o conceito de gás real e gás ideal, sendo este último associado corretamente com as variáveis temperatura, pressão e volume. Nota-se que, apesar da proposição formada não ser correta, o aluno ligou o conceito de gás real às duas variáveis que, em condições especiais (alta temperatura e baixa pressão), podem fazer com que um gás real tenha o comportamento mais próximo de um gás ideal. Também se destaca a relação entre os conceitos de energia-sol. Durante as aulas, foi enfatizado pelo professor que a principal fonte da energia que consumimos na Terra provem do Sol. Também se destacou em sala que a energia não pode ser destruída nem produzida. Um ponto interessante é que o aluno colocou o conceito “exercício de revisão” no

topo, diferenciando os demais conceitos abaixo. Muito provavelmente, o aluno se valeu da revisão dos conteúdos para confeccionar seu mapa.

Figura 40: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A1.

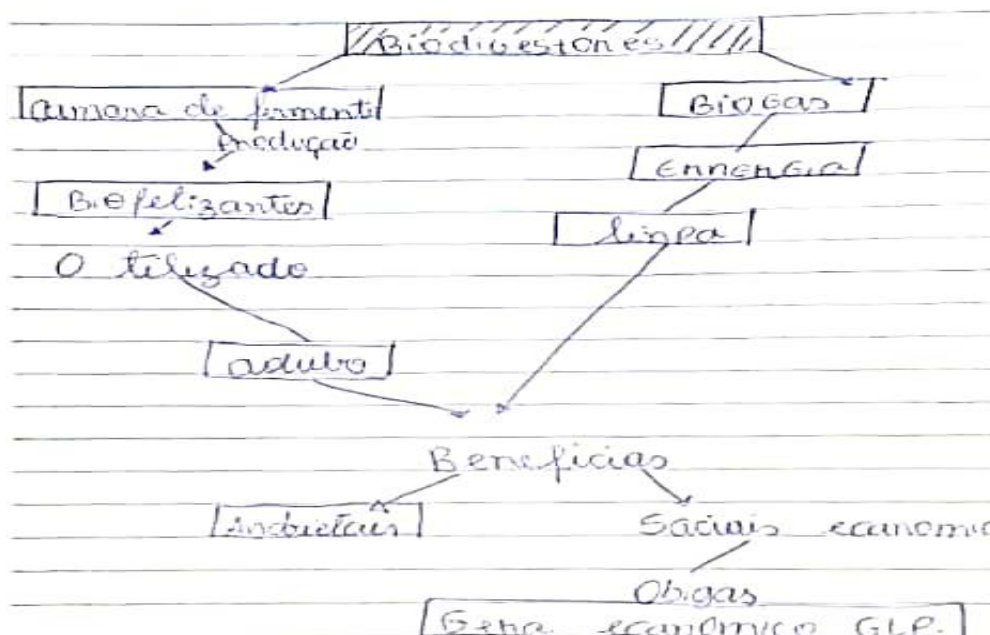


Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio – 2021.

c) MAPAS POUCO SIGNIFICATIVOS.

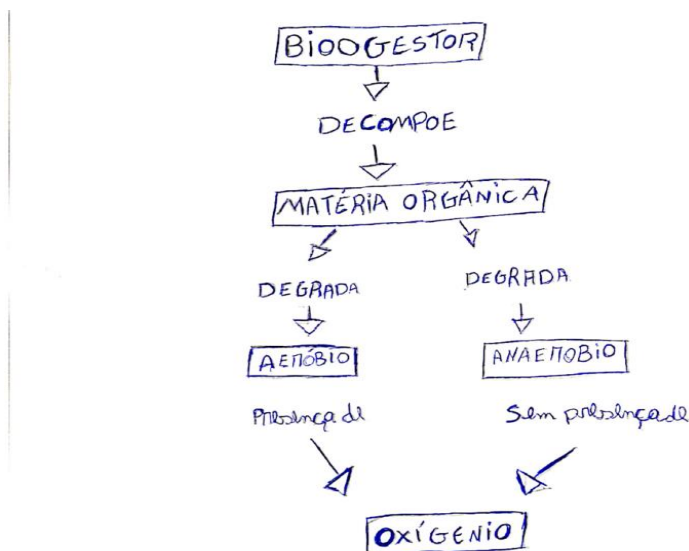
Os mapas a seguir foram classificados como pouco significativos, com pouca ou nenhuma relação lógica entre os conceitos. Vale ressaltar que fazer um mapa conceitual não é uma tarefa fácil, e exige uma certa experiência na confecção. A maioria dos alunos nunca tinha ouvido falar em mapas conceituais. Outros estavam familiarizados com os mapas mentais, que são usados por professores de outras disciplinas para a fixação dos conteúdos.

O mapa apresentado pelo aluno A10 (Figura 41) apresentou pouco sentido com poucos conceitos relevantes, podendo alguns deles serem melhores diferenciados. Por exemplo, ao descer o primeiro nível do mapa, o aluno colocou “câmara de fermentação” no mesmo nível de diferenciação do “biogás”. O biodigestor é uma câmara de fermentação, mas os dois produtos principais da fermentação são o biogás e os biofertilizantes, que deveriam se encontrar no mesmo nível de diferenciação. Apesar disso, o mapa apresenta algum significado ao associar biogás – energia – limpa e biofertilizantes – adubo. Mapa semelhante foi apresentado pelo aluno A3 e A16.

Figura 41: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A10.

Fonte: A autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio – 2021.

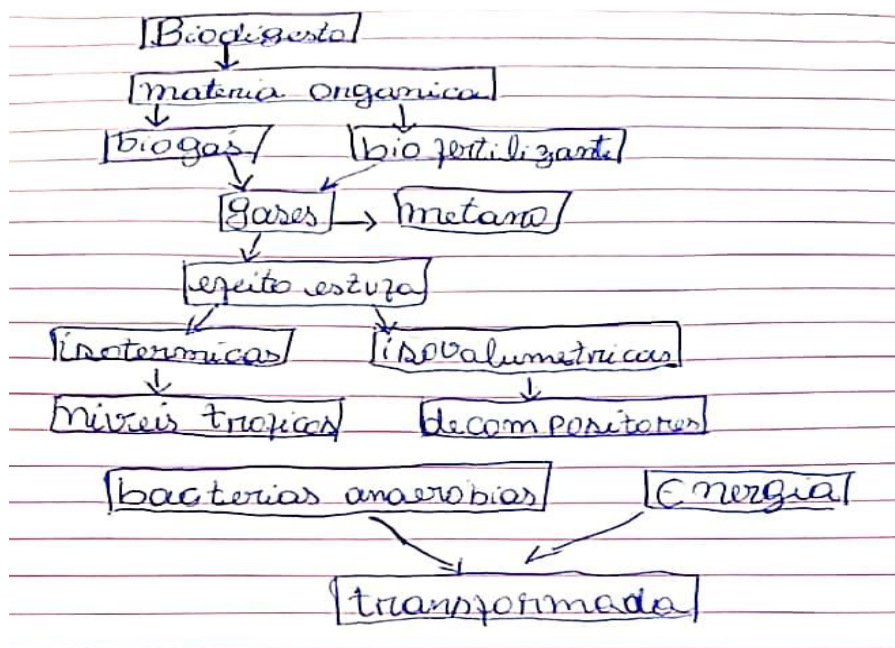
O mapa a seguir (**Figura 42**) foi confeccionado pelo aluno A21 e foi semelhante ao do aluno A22. Apesar de ser lógico e fazer sentido, apresentando uma hierarquia, com o tema central sendo o Biodigestor, foi diferenciado em poucos conceitos, os quais foram tomados como requisito para avaliar o que o aluno aprendeu, mostrando que os conceitos foram pouco assimilados pelo aluno. Esses alunos também não foram bem no teste objetivo, conforme a **Tabela 5**.

Figura 42: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A21.

Fonte: A autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio – 2021.

A seguir (**Figura 43**), há o mapa feito pelo aluno A14. Ele, a princípio, apresenta uma certa lógica, ligando os conceitos de biodigestor - matéria orgânica – biogás – biofertilizantes – gases – metano, mas depois os conceitos seguintes não são diferenciados de maneira lógica. O aluno A14 acertou 7 das 8 questões objetivas. Porém, ao retratar seu aprendizado no mapa, não teve tanto significado. Aqui temos uma aparente discrepância nos dados. É possível que os instrumentos utilizados (como os exercícios/questionários) tenham coletado apenas respostas mecanicamente memorizadas ou, como dito anteriormente (**item 3.1.9**), não consigam obter evidências necessárias. Porém, para efeito de análise desta dissertação, com base no que se pôde detectar para este instrumento avaliativo, o aluno A14 não apresentou um mapa que acompanhasse ou refletisse o seu desempenho na Avaliação de Aprendizagem.

Figura 43: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A14.

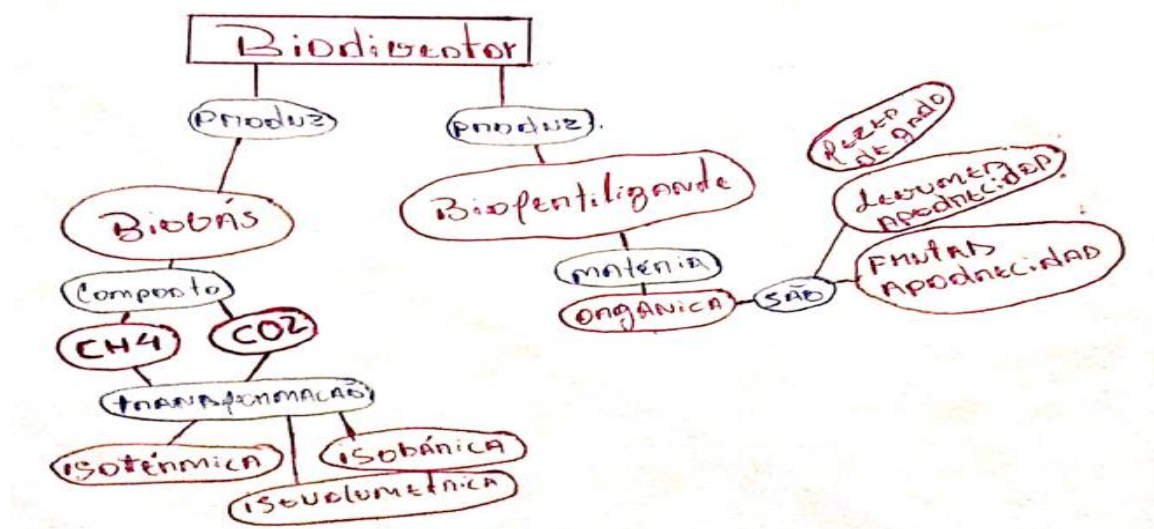


Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio – 2021.

Na **Figura 44**, está o mapa feito pelo aluno A15. Apesar de ter alguns dos conceitos estudados durante a aplicação do produto, não foi diferenciado suficientemente. Alguns conceitos como isotérmica, isobárica e isovolumétrica foram ligados ao conceito de transformação, este, porém, foi ligado diretamente aos gases CH₄ e CO₂, o que formou uma proposição confusa. Além disso, os substratos degradados no biodigestor foram ligados apenas ao biofertilizante, sendo que a decomposição dele também produz o biogás. Novamente, uma

proposição confusa, que pode refletir um baixo aprendizado por parte do aluno. O aluno A15 acertou apenas 2 das 8 questões objetivas.

Figura 44: Mapa conceitual apresentado pelo aluno A15.



Fonte: Autoria dos alunos do 2º ano do ensino médio – 2021.

Se levarmos em conta a nota avaliativa para uma das avaliações estipuladas para o ensino médio pela Secretaria de Educação de Educação do Pará (SEDUC-PA), podemos determinar uma nota para a avaliação da aprendizagem. A SEDUC-P determina que a média mínima seja 5,0 para as avaliações. Dessa forma, para efeito de uma avaliação quantitativa exigida pela escola, consideraremos a seguinte distribuição: 1,0 ponto para cada questão da Avaliação da aprendizagem. As notas dos mapas entram como nota bônus (essa definição é apenas para a atribuição de nota do bimestre, não para a análise relacionadas à pesquisa) de 2,0 pontos, seguindo como base os critérios de avaliação propostos na **secção 3.1.12.2** desta dissertação, porém, com pontuações diferentes.

Tabela 5: Resultado final da avaliação de aprendizagem.

Aluno	Notas das questões objetivas	Notas das questões subjetivas	Nota do mapa conceitual	Nota Final	Aluno	Notas das questões objetivas	Notas das questões subjetivas	Nota do mapa conceitual	Nota Final
A1	6,0	1,5	1,5	9,0	A13	5,0	1,0	0,0	6,0
A2	4,0	1,5	2,0	7,5	A14	7,0	1,0	1,0	9,0
A3	5,0	2,0	1,0	8,0	A15	2,0	1,0	1,0	4,0

A4	8,0	1,0	1,5	10,0	A16	2,0	2,0	1,0	5,0
A5	6,0	2,0	1,5	9,5	A17	3,0	1,0	1,5	5,5
A6	6,0	1,0	1,5	8,5	A18	6,0	0,0	0,0	6,0
A7	4,0	2,0	0,0	6,0	A19	4,0	1,0	1,0	6,0
A8	1,0	1,0	0,0	2,0	A20	4,0	1,0	0,0	5,0
A9	5,0	0,0	0,0	5,0	A21	2,0	0,0	1,0	3,0
A10	1,0	1,0	1,0	3,0	A22	3,0	1,0	1,0	5,0
A11	7,0	1,0	0,0	8,0	A23	3,0	1,0	2,0	6,0
A12	5,0	1,0	0,0	6,0					

Pela tabela acima, nota-se que 4 alunos ficaram com notas abaixo de 5,0. Representando a distribuição dessas notas em aprovados e reprovados, temos o seguinte gráfico:

Gráfico 4: Resultado final da Avaliação de Aprendizagem.



A notas gerais mostram que os 23 alunos ficaram na média de aproximadamente 6,20. Como dito acima, essas notas foram definidas com o objetivo de suprir a exigência de uma nota geral para o bimestre, portanto, não as tomamos como base para uma avaliação da aprendizagem significativa. Apenas as notas não poderiam nos dizer muito sobre as evidências de aprendizagem significativa.

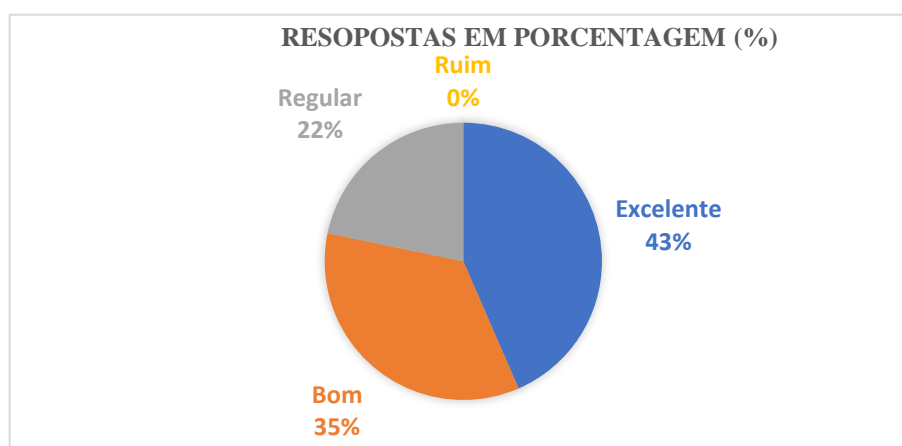
Mas, com base em outros instrumentos utilizados na pesquisa, pode-se inferir que o ensino mediado pelo produto desta dissertação, aliado à uma metodologia, conseguiu obter

resultados positivos com relação aos conteúdos estudados a partir do funcionamento do biodigestor.

6.4.3 Análise e discussão sobre o Questionário Final.

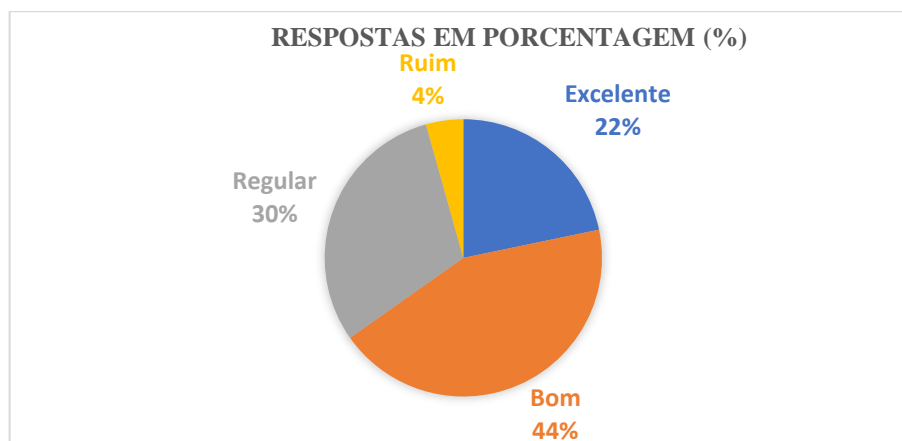
O questionário final teve a finalidade de obter uma avaliação dos alunos referentes à aplicação do produto. A primeira pergunta visava saber a opinião dos alunos quanto à metodologia de utilização e funcionamento do biodigestor. Foram obtidas as seguintes respostas: 10 “excelente”, 8 “bom”, 5 “regular”, 0 “ruim”. A distribuição das respostas está no gráfico abaixo.

Gráfico 5: Resultado em porcentagem obtido na pergunta 01.



Se juntarmos as respostas para “excelente” e “bom”, obteremos 77,3% de aprovação dos participantes para a metodologia, mostrando que o produto educacional de certa forma foi bem recebido pelos alunos. Essa aprovação mostra também que a metodologia foi diferente das demais usadas anteriormente nas aulas, sendo uma alternativa para facilitar a aprendizagem dos conceitos físicos.

A pergunta 02 objetivou extrair dos alunos uma autoavaliação quanto ao seu aprendizado com o auxílio da metodologia. Foram 5 respostas para “excelente”, 10 para “bom”, 7 para “regular” e 1 para “ruim”. A distribuição das respostas está no gráfico abaixo.

Gráfico 13: Resultado em porcentagem obtido na pergunta 02.

Se considerarmos a soma das respostas para “excelente” e “bom”, veremos que 66% de alunos tiveram uma autoavaliação positiva. Isso é importante porque mostra que o aluno percebeu mudanças significativas em seu aprendizado após o processo, mostrando que a metodologia não só é aceita pela maioria como também dá ao aluno a segurança de que ele aprendeu algo novo.

A pergunta 03 objetivou saber dos alunos a opinião quanto à qualidade das aulas ministradas a partir do funcionamento do biodigestor. Treze alunos disseram que as aulas “superaram as aulas tradicionais”, 5 responderam que “foram iguais às tradicionais” e 5 responderam que as aulas “foram inferiores às aulas tradicionais”. No gráfico, temos a seguinte distribuição das respostas:

Gráfico 14: Resultado em porcentagem obtido na pergunta 03.

Para 56% dos alunos, as aulas foram superiores às aulas tradicionais. Isso nos mostra que o produto educacional desta dissertação pode oferecer uma metodologia que facilite a

aprendizagem de maneira mais interativa, diferente das aulas ministradas apenas com o quadro branco e pincel.

Visto que o produto educacional desta dissertação consistia em um experimento, a questão 04 perguntou aos alunos se eles achariam interessante a inserção de experimentos no ensino de Física. Dezoito alunos responderam que “sim”, 5 responderam que “não tinham certeza”. A distribuição das respostas encontra-se no gráfico abaixo.

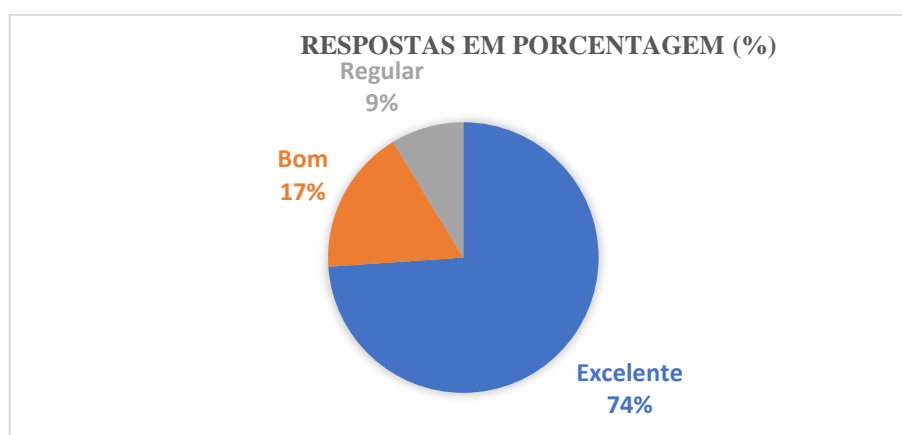
Gráfico 15: Resultado em porcentagem obtido na pergunta 04.



A maioria das respostas para sim mostra que o uso de experimentos que facilitem a compreensão dos fenômenos físicos (biológicos ou químicos) é bem aceito pelos alunos. Vale ressaltar que com o funcionamento do biodigestor pode-se abordar as três áreas das ciências naturais, proporcionando um aprendizado interdisciplinar.

A pergunta 05 visou avaliar a atuação do professor durante a aplicação do produto educacional. Dezesete alunos responderam “excelente”, 4 responderam “boa” e 2 “regular”. A distribuição das respostas encontra-se abaixo.

Gráfico 16: Resultado em porcentagem obtido na pergunta 05.

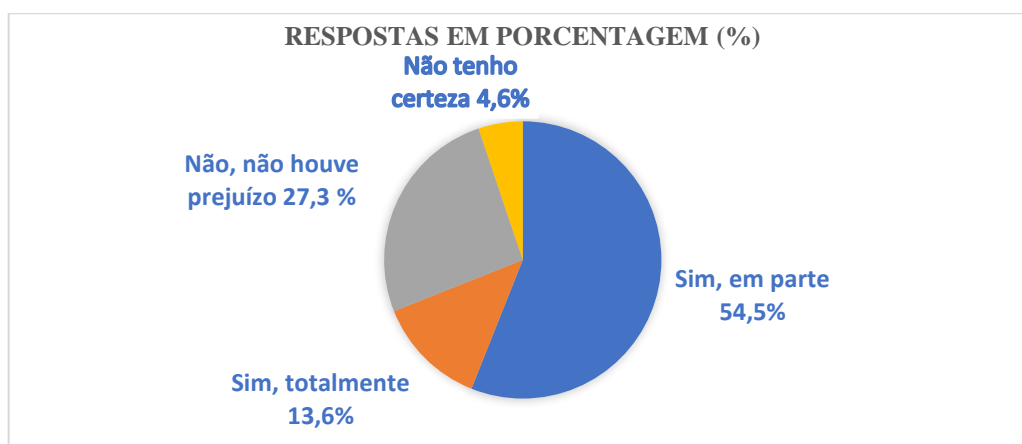


Essa informação é importante visto que, de acordo com a TAS, o professor é a peça fundamental no processo de aprendizagem significativa. Não adianta uma boa metodologia, bons recursos, sem a mediação do professor. Isto mostra que o produto educacional, a didática e a atuação do professor contribuíram para a aceitação do modelo de aprendizagem utilizado durante a aplicação da metodologia. Também permite ao professor avaliar possíveis mudanças em sua postura para aplicações futuras.

A pergunta 06 visou avaliar a opinião dos alunos quanto à aplicação do produto educacional na modalidade remota. Devido as restrições sanitárias estabelecidas durante a pandemia do Covid-19, as aulas tiveram que ser ministradas remotamente. Dessa forma, pode ter havido prejuízos para a aplicação da metodologia, ou não.

Três alunos responderam que a metodologia foi totalmente prejudicada por ser aplicada remotamente; 13 alunos responderam que em parte foi prejudicada; 6 responderam que não houve prejuízo e 1 disse que não tinha certeza. A distribuição das respostas é mostrada no gráfico a seguir.

Gráfico 17: Resultado em porcentagem obtido na pergunta 06.



Se considerarmos os que responderam que totalmente ou em parte a metodologia foi prejudicada por ser aplicada remotamente, teremos 68,1% de participantes que de alguma forma acharam que a metodologia foi prejudicada pela aplicação remota. De fato, a aplicação do produto teve dificuldades que foram ampliadas com a aplicação remota. Orientar e acompanhar um experimento remotamente não é fácil. As dificuldades aumentam quando se soma a isso os problemas relacionados ao acesso à internet. Já foi dito anteriormente que apenas uma média de 10 alunos conseguiram acompanhar as aulas on-line. Os demais, acompanhavam pela leitura

do material em PDF ou por vídeos postados no grupo da turma, pois a conexão disponível para a maioria deles era apenas a do WhatsApp.

A pergunta 07 exigia dos alunos uma resposta subjetiva. A pergunta ofereceu um espaço para que o aluno pudesse tecer comentários sobre a metodologia, fazendo críticas ou elogios, podendo inclusive sugerir melhorias. Um dos pontos positivos citados pelos alunos foi a aplicação prática dos conteúdos. Para eles a metodologia foi boa porque foi mediada por um experimento, onde eles podiam ver na prática o que aprendiam nas aulas. Um ponto negativo relatado foi o fato de não poderem ter o acompanhamento presencial do professor. Isso, como mostrado anteriormente, foi devido às aulas serem remotas. Outro ponto positivo destacado pelos alunos foi o biodigestor em si. A maioria nem sabia o que era e como funcionava e ficaram impressionados com benefícios que ele oferece.

6.4.4 – Uma breve reflexão sobre os alunos que não participaram efetivamente da aplicação do produto.

Durante a aplicação, alguns alunos não participaram da maioria das atividades envolvendo a aplicação do biodigestor. Os motivos não foram analisados via questionários, mas alguns pontos foram notados pelo pesquisador durante o processo. No início da aplicação, os alunos estavam motivados para a metodologia. Porém, quando as dificuldades começaram a aparecer, alguns deixaram de fazer as atividades. Este fato foi angustiante para o pesquisador, pois devido às restrições estipuladas pelo órgão de Educação competente (restrições para conter o Covid-19), o professor não pôde ter contato com os alunos, não podendo motivá-los e ajudá-los presencialmente. Somou-se a isso as dificuldades (68% dos alunos participantes acham que a metodologia foi prejudicada pelo processo remoto) provenientes da aplicação remota. Dezesesseis alunos não tiveram participação na avaliação da aprendizagem. Desse total, cerca de 94% não alcançaram a média mínima estipulada pela SEDUC-Pa (5,0). Por causa do momento pandêmico, e para que estes alunos não fossem prejudicados, o pesquisador, junto com a coordenação pedagógica, encontrou outras formas de assistir e contemplar os alunos com acesso aos objetos de conhecimento da disciplina Física.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem contextualizada e interdisciplinar aplicada ao ensino de Física pode trazer benefícios para a retenção de conhecimento, além de propiciar aulas dinâmicas que vão além dos espaços físicos das salas, permitindo o aluno ser protagonista de seu próprio saber. Neste trabalho, buscamos avaliar a relevância do ensino atrelado a um experimento contextualizado, como instrumento pedagógico para dinamizar as atividades em sala de aula, tornando-as mais significativas, a partir do funcionamento de um biodigestor. Apesar de que, de maneira geral, a metodologia foi significativa e algumas dificuldades acabaram por influenciar na aplicação.

Na primeira etapa, devido ao momento que o Brasil atravessava por causa da pandemia do Covid-19, houve certa resistência por parte dos gestores e coordenadores da escola onde a metodologia foi aplicada. De certa forma, o momento era inédito para todos os envolvidos e exigiu adaptação da pesquisa para aplicação remota, por meio das plataformas disponíveis, exigindo um conhecimento e uso de tecnologias antes não utilizadas, apesar de já estarem disponíveis no meio educacional. Esta adaptação mostrou que muitas das ferramentas utilizadas durante o período pandêmico poderão se tornar parte comum no processo de ensino-aprendizagem quando as aulas voltarem à normalidade.

Após a aplicação do primeiro questionário, de maneira geral, os alunos estavam receptivos e motivados para aplicação do produto. Essa motivação foi diminuindo com a aplicação da metodologia. Problemas de conexão, adaptação às aulas remotas, entre outros foram fatores observados pelo pesquisador que podem ter contribuído para uma desmotivação por parte dos participantes da pesquisa. Apesar do lado positivo do uso de novas tecnologia, ainda se faz necessário oferecer condições e insumos para que elas possam oferecer os benefícios que prometem.

Durante a terceira etapa, outro fator importante foi afetado devido à aplicação remota. O acompanhamento presencial não foi possível, dificultando muito a montagem e acompanhamento do funcionamento do biodigestor. Alguns alunos não conseguiram montar o biodigestor corretamente, o que não permitiu a produção efetiva de gás. Também destacamos como dificuldade a questão dos horários para as aulas. Como muitos alunos fazem uso dos celulares de familiares para acompanhar as aulas, não foi possível ter todos os alunos participantes acompanhado as aulas no mesmo horário. Para ajudá-los, o professor fornecia os materiais, como PDFs e vídeos tutoriais para que os alunos pudessem acompanhar a aplicação.

Na quarta etapa da pesquisa, por meio da Avaliação da Aprendizagem, foi possível observar uma leve evolução dos conceitos. Um destaque para a dificuldade dos alunos em

resolver questões que exigiam o uso de fórmulas matemáticas, algo detectado durante a aplicação, mas que não pôde ser sanado na metodologia, ficando essa empreitada para trabalhos futuros. Já os mapas conceituais elaborados pelos alunos permitiram perceber que boa parte do conteúdo se organizou de maneira coerente na estrutura cognitivas dos participantes da pesquisa. Isso pôde ser constatado pelo fato de que a maioria dos mapas confeccionados ficou dentro da avaliação de mapas bem elaborados e significativos, ou elaborados e significativos. Tal fato coloca os mapas conceituais como bons instrumentos que, com maior clareza, podem evidenciar a ocorrência de uma aprendizagem significativa dos conteúdos.

Destacamos para futuras aplicações alguns pontos ligados ao funcionamento do biodigestor. Esse dispositivo, apesar de simples, necessita de fatores (temperatura, substrato, vedação e etc...) favoráveis à produção do biogás. O tempo de retenção da matéria orgânica também é longo, o que levou alguns alunos a acharem que seus aparelhos não estavam funcionando. Estes problemas podem ser resolvidos em aplicações futuras, dividindo a turma em equipes, para que haja um biodigestor por equipe, o que é mais fácil para acompanhamento do professor.

Quanto aos aspectos interdisciplinares do produto, notou-se que apesar do biodigestor ser um facilitador, a abordagem interdisciplinar proposta pela BNCC é desafiadora. Relacionar os conteúdos, outrora ensinados separadamente, das disciplinas das ciências da natureza, para uma visão ampla da natureza, não é uma obra tão fácil. Apesar deste trabalho não ter contado com a participação de outros professores de química e biologia no planejamento das aulas, aconselha-se, para aplicação futuras, com objetivo de favorecer a interdisciplinaridade, a participação de docentes das outras áreas das ciências da natureza.

Sobre os resultados alcançados pelo produto educacional em direção a uma aprendizagem significativa, acreditamos que foram positivos, mesmo diante do contexto das dificuldades ocasionadas pela pandemia. A avaliação da aprendizagem foi satisfatória para quase 100% dos participantes. Porém, percebeu-se que para algumas partes do conteúdo houve retenção do conhecimento, não havendo retenção em outras partes, como também a ocorrência do esquecimento de alguns conceitos. Os resultados negativos podem ter ocorrido pelo fato de que partes dos conteúdos estudados não terem encontrado conhecimentos relevantes na estrutura cognitiva do aluno para que houvesse ancoragem, ou não contaram com interesse por parte do aluno, o que pode ocorrer conforme a TAS.

Com base no Questionário Final desta dissertação, a metodologia teve boa aceitação por parte da maioria dos participantes, superando as aulas tradicionais. Os alunos também puderam fazer uma autoavaliação quanto ao seu aprendizado. Isso é importante porque leva o aluno a

pensar no seu desempenho, avaliando o que pode ser mudado ou mantido processo de aprendizagem. A maioria dos alunos fez uma avaliação positiva de sua aprendizagem.

Ainda em relação ao Questionário Final, perguntamos se a aplicação da metodologia na modalidade remota prejudicou a aprendizagem. Notou-se que os alunos acreditam que a metodologia sofreu prejuízos. Não se perguntou quais os fatores foram prejudiciais. Porém, esse fato está em consonância com as dificuldades encontradas durante a aplicação da pesquisa, mostrando que foi uma percepção não só do pesquisador, mas também dos participantes.

Por fim, o produto educacional desta dissertação mostrou seu benefício em auxiliar na aprendizagem significativa, despertando o interesse dos alunos, bem como tem grande potencial interdisciplinar, permitindo a relação entre os componentes curriculares das Ciências da Natureza, o que vem ao encontro das reivindicações dos atuais documentos que norteiam a educação básica brasileira, como os PCNs e a BNCC.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Fabiana C. P. de; SOUZA, A. R.; URENDA, Pablo A. V.; **Mapas Conceituais:** avaliando a compreensão dos alunos sobre o experimento do efeito fotoelétrico. IV Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Bauru-SP, 2003. Disponível em: <<http://abrapecnet.org.br/enpec/iv-enpec/orais/ORAL095.pdf>>. Acesso em 15 de set 2020.
- ALVES, Elton Eduardo; INOUE, Keles Regina Antony; BORGES, Alisson Carraro. **Biodigestores:** construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/262565096_Biodigestores_construcao_operacao_e_usos_do_biogas_e_do_biofertilizante_visando_a_sustentabilidade_das_propriedades_rurais> Acesso em: 27 jun. 2019.
- ANGOTTI, José André Peres. Conceitos unificadores e ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física** V. 15, n.º 1 a 4, p. 191 – 198, 1993.
- ARAGÃO, Rosália Maria Ribeiro de. **A teoria de aprendizagem significativa de David P. Ausubel:** Sistematização dos aspectos teóricos fundamentais. 1976. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Educação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1976.
- ARAÚJO, Ives Solano. **Simulação e modelagem computacionais como recursos auxiliares no ensino de física geral.** Tese (Doutorado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- ASSIS, Mariana Carolina de. O Ensino de Física Pelo Viés da BNCC. E-docente, 23 mar 2021. Disponível em: <<https://www.edocente.com.br/blog/bncc/o-ensino-de-fisica-pelo-bncc/>> Acesso em: 07 nov. 2021.
- AUSUBEL, D. David. **Aquisição e retenção de conhecimento:** Uma perspectiva cognitiva. 1ª ed. Lisboa: Plátano, 2003.
- BIODIGESTÃO ANAERÓBIA. Disponível em: <<https://www.portaldobiogas.com/biodigestao-anaerobia/>> Acesso em: 27 jun. 2019.
- BESSA, Valéria da Hora. **Teorias da Aprendizagem.** Curitiba: IESDE Brasil S.A., 2008.
- BRASIL. **Lei nº 13.415, de 16 de fevereiro de 2017.** Diário Oficial da União, Brasília, 17 de fevereiro de 2017. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/113415.htm>. Acesso em: 06 nov. 2021.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular:** Educação é a Base. Brasil: MEC/SEMTEC – Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília, 2018.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais PCN+EM.** Brasil: MEC/SEMTEC – Secretaria de Educação Média e Tecnológica. Brasília, 2006.
- CASTANHO, Diego Solak. ARRUDA, Heder Jobbins. **BIODIGESTORES.** VI Semana de Tecnologia em Alimentos. v. 02, n. 21. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná,

2008. Disponível em
<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/chines1_000g7gph0mm02wx5ok0wtedt3q5rn9mk.pdf> Acesso em: 20 de nov. 2021.

COMASTRI FILHO, J. A. **Biogás independência energética do pantanal mato-grossense**, Circular técnica, n.9, EMBRAPA Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Corumbá, Corumbá, 1981.

CRUZ, C. C. **A Teoria Cognitivista de Ausubel**. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação (on-line), Unicamp, 2011. Disponível em:
http://www.robertexto.com/archivo3/a_teorias_ausubel.htm. Acesso em: 23 jun. 2020.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. **Biodigestores rurais: modelos indiano, chinês e batelada**. 2002 Disponível em
<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Biodigestores_000g76qdzev02wx5ok0wtedt3spdi71p.pdf> Acesso em: 20 jun. 2019.

FAZENDA, Ivani Catarina A. **Integração e interdisciplinaridade no ensino Brasileiro: efetividade ou ideologia**. Edições Loyola. São Paulo, 2011.

FREITAS, F.; FURTADO, Cristina A.; CUEVAS, A. Y. Construção de um Biodigestor Didático para a Estação Ciências do Parque Tecnológico de Itaipu. **Revista Brasileira de Extensão Universitária**, v. 9, n. 2, p. 65-74, 20 ago. 2018.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GUIA PRÁTICO DO BIOGÁS – GERAÇÃO E UTILIZAÇÃO. 5ª edição, totalmente revista e atualizada, Gülzow, 2010. Publicado pela Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), com o apoio do Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha, em virtude de uma decisão do Parlamento Federal Alemão. Disponível em:
<http://www.resol.com.br/cartilhas/giz_-guia_pratico_do_biogas_final.pdf> Acesso em: 27 jun. 2019.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica**. Vol II. 10ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HEWITT, Paul G. **Física Conceitual** [recurso eletrônico]. Tradução: Trieste Freire Ricci. 12 ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

KIEFER, Neci I. S.; PILATTI, Luiz A. **Roteiro para a elaboração de uma aula significativa**. Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Tecnologia. Vol 7, nº 1, jan-abr 2014. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/1648/1219>>. Acesso em: 03 de mai 2020.

KLEIN, J. Ensino interdisciplinar: didática e teoria. In: FAZENDA, Ivani (Org.). **Didática e interdisciplinaridade**. Campinas: Papirus, 1998. p. 109-132.

MARINIAK, Mikaelly R., HILGER, Thaís R. **A energia da BNCC: um ensaio sobre o ensino fundamental e o ensino médio**. REVISTA DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA, Vol. 33, no. 1

(2021). Disponível em: <www.revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF>. Acesso em: 05 de nov 2021.

METZ, H. L. **Construção de um biodigestor caseiro para demonstração de produção de biogás e biofertilizante em escolas situadas em meios urbanos**. Monografia (Especialista) – Universidade Federal de Lavras. 2013.

MORAES, José Uibson Pereira. **A visão dos alunos sobre o ensino de física: um estudo de caso**. Scientia Plena. vol.5, n.11, 2009. Disponível em: <<https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/736/392>>. Acesso em: 16/11/2021.

MOREIRA, M. A. et al. **Teoria da Aprendizagem Significativa** -Contributos do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Peniche, 2000.

MOREIRA, M. Antônio. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: EPU, 1999.

MOREIRA, M. Antônio. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006a.

MOREIRA, M. Antônio. **Grandes Desafios para o Ensino da Física na Educação Contemporânea**. Revista do Professor de Física. Vol. 1, n. 1. Brasília, 2017. Disponível em: <<https://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/7074/5725>>. Acesso em 16 nov. 2021.

MOREIRA, M. Antônio. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 23 abr. 2010. Disponível em: moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal. Acesso em: 13 jul. 2020.

MOREIRA, M. Antônio. **Mapas Conceituais e Diagramas V**. Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006b. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/Livro_Mapas_conceituais_e_Diagramas_V_COMPLETO>. Acesso em: 04 de maio de 2020.

MOREIRA M. A. & MASINI, E. **Aprendizagem Significativa**. A teoria de David Ausubel. São Paulo: Editora Moraes LTDA, 1982.

MOZENA, E. R. OSTERMANN, F. **Uma revisão bibliográfica sobre a Interdisciplinaridade no ensino de Ciências da Natureza**. Revista Ensaio. Belo Horizonte.v.16, n. 02, p. 185-206, maio-ago, 2014.

NOVAK, Joseph D.; GOWIN, D. Bob. **Aprendendo a Aprender**. Tradução: Carla Valadares. Lisboa. Plátano Edições Técnicas, 1984.

NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física Básica**. Vol 2. 4ª ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2002.

OLIVER, A. de P.M; SOUZA NETO, A de A.; QUADROS, D. G. de, VALLADADRES, R. E. **Manual de Treinamento em Biodigestão**. Salvador – BA: Instituto Winrock – Brasil, 2008.

OLIVEIRA, A. P. S.; FENNER, R. dos S. Interdisciplinaridade: o desafio de trabalhar a área das ciências da natureza na escola pública. #Tear: **Revista de Educação, Ciência e Tecnologia**, Canoas, v. 9, n. 1, 2020. DOI: 10.35819/tear.v9.n1.a3812. Disponível em: <https://periodicos.ifrs.edu.br/index.php/tear/article/view/3812>. Acesso em: 16 nov. 2021.

PAZ, Jailson Cuimar. **Aprendizagem de calorimetria com auxílio de um aplicativo educacional instalado em smartphones**: uma experiência com alunos do terceiro ano do ensino médio. 127f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Ciências Exatas - ICE, Mestrado Nacional em Ensino de Física - MNPEF, Marabá, 2019.

PELIZZARI, Adriana et al. **Teoria da Aprendizagem Significativa Segundo Ausubel**. Revista PEC, v. 2, n. 1, p. 37-42. Curitiba, 2002. Disponível em: <http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf> . Acesso em: 13 jul. 2020.

POZO, J.I.; CRESPO, M.A.G. **A Aprendizagem e o ensino de ciências**: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico. tradução Naila Freitas. 5.ed.-Porto Alegre: Artmed, 2009.

PRAIA, J. F. **Aprendizagem Significativa de D. Ausubel**: Contributos para uma adequada visão sobre sua teoria e incidências no ensino. In: Teoria da Aprendizagem Significativa - Contributos do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Peniche, 2000. P. 121-134.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do Trabalho Científico**: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico. 2 ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAMOS, Luíza Olívia Lacerda. SANTANA, Nisângela Oliveira. Fundamentos da interdisciplinaridade na base nacional comum curricular: um estudo sobre a área de ciências da natureza. In: PURIFICAÇÃO, Marcelo M., CATARINO, Elisângela M., CARNEIRO, Éverton Nery. **A educação no âmbito do político e de suas tramas 5** [Recurso eletrônico]. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

SANTOMÉ, Jurjo Torres. **Globalização e interdisciplinaridade**: o currículo integrado. Porto Alegre: Artmed, 1998.

SANTOS, et.al. **Biodigestores e Conservação da Energia**: educação ambiental feita a partir de interações em redes sociais. In: Educação ambiental em ação / Editores: Berenice Gehlen Adams, Sandra Maria Martins Barbosa, Solange T. de Lima Guimarães. – n. 44 (2013). Novo Hamburgo, RS. Disponível em: <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=1536>. Acesso em 21 de fev. 2022.

SBF, SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA (2018a). **SBF reafirma sua posição sobre a BNCC do Ensino Médio**. 26 de nov. 2018. Disponível em: < <http://www.sbfisica.org.br/v1/home/index.php/pt/acontece/823-sbf-reafirma-sua-posicao-sobre-a-bncc-do-ensino-medio> >. Acesso em: 06 nov. 2021

SBF, SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA (2018b). **SBF solicita reformulação da BNCC do Ensino Médio**. 26 de jul. 2018. Disponível em: <

<http://www.sbfisica.org.br/v1/home/index.php/pt/acontece/745-sbf-solicita-reformulacao-da-bncc-do-ensino-medio>>. Acesso em: 06 nov. 2021

SCARPARI, Deivi de Oliveira. **Física dos Biodigestores**: contextualizando o ensino de física para alunos do curso técnico agrícola. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Programa de Pós-graduação em Ensino de Física-Mestrado Profissional em Ensino de Física. Porto Alegre, 2009.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4 ed. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, Z. R. **O ensino de Ecologia mediado pelo conceito unificador energia**: O biodigestor enquanto modelo didático para uma abordagem interdisciplinar 2015. Dissertação Mestrado 160 f. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba 2015. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1347>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

SILVA, Sani de Carvalho Rutz da; SCHIRLO, Ana Cristina. **Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel**: Reflexões para o ensino de Física ante a nova realidade social. Revista Imagens da Educação, ISSN 2179-8427, v. 4, n. 1, p. 36-42, 2014. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ImagensEduc/article/viewFile/22694/PDF>. Acesso em: 24 jul. 2019.

SOLANO, Olga R.; VARGAS, F. Margie; WATSON, G. R.. **Biodigestores**: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad Tecnología en Marcha, Vol. 23, N.º 1, Enero-Marzo 2010, P. 39-46

SOUZA, Dominique Guimarães. et al. **Desafios da Prática Docente**. Revista Educação Pública, 2017. Disponível em: < <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/17/19/desafios-da-prtica-docente>>. Acesso em: 16 nov. 2021.

THIESEN, Juarez da Silva. **A interdisciplinaridade como um movimento articulador no processo ensino-aprendizagem**. Revista Brasileira de Educação. V. 13, n. 39. Set/Dez 2008. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/rbedu/a/swDcnzst9SVpJvpx6tGYmFr/?lang=pt>> . Acesso em: 21 fev. 2022.

TIPLER, Paul Allan; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros, volume 1**: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica. 6ª ed. Tradução: Paulo Machado Mors. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 3 v.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **FÍSICA II**: Termodinâmica e Ondas. Tradução: Daniel Vieira. 14ª ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE I – Questionário I

QUESTIONÁRIO I

Este questionário contém questões objetivas que farão parte de um conjunto de dados e servirão de base para a discussão acerca do produto educacional desenvolvido na pesquisa. As questões não possuem alternativas corretas. Por isso, faça com calma, sem nervosismo e seja sincero em suas respostas! Lembramos que após clicar em "ENVIAR" não será mais possível fazer alterações. Vamos lá?

- 1) Você acha que as aulas práticas (com experimentos, computadores, smartphones, aplicativos e etc.) tornam o ambiente de ensino mais dinâmico e interessante em relação às aulas tradicionais (aulas apenas utilizando quadro e pincel)?**
a. Sim b. Não c. Não tenho certeza.

- 2) Dentro das Ciências Naturais (Física, Química e Biologia), você já assistiu a videoaulas, simulações de conteúdos e experimentos relacionados aos conteúdos do seu ano letivo escolar?**
a. Sim b. Não c. Não tenho certeza.

- 3) Com relação à disciplina Física, você consegue assimilar os conteúdos estudados e relacioná-los ao seu dia a dia?**
a. Sim b. Não c. Não tenho certeza.

- 4) Você acharia interessante o ensino de Física a partir de experimentos práticos, com material alternativo (reciclado/baixo custo) e que os próprios alunos desenvolvam?**
a. Sim b. Não c. Não tenho certeza.

- 5) Você já realizou (ou acompanhou) algum experimento durante o ensino fundamental?**
a. Sim b. Não c. Não tenho certeza.

- 6) Você já realizou (ou acompanhou) algum experimento no ensino médio?**
a. Sim b. Não c. Não tenho certeza.

- 7) Qual a sua maior dificuldade em estudar física?**
a. A Matemática envolvida.
b. Entender os conteúdos ministrados em sala.
c. Aplicar o conteúdo ensinado aos eventos do cotidiano.
d. Não consigo ver utilidade para o que aprendo de física.
e. Não tenho dificuldades.

- 8) Você sabe o que é um biodigestor?**
a. Sim b. Não c. Não tenho certeza.

- 9) Você conseguiria analisar e oferecer soluções para algum problema social, ambiental, econômico, a partir do que você aprende em sala de aula?**
a. Sim b. Não c. Não tenho certeza.

- 10) Você gostaria de estudar Física a partir de um processo que ajude na solução de problemas ambientais (despejo de lixo, emissão de gases tóxicos na atmosfera e etc.)?**
a. Sim b. Não c. Não tenho certeza.

APÊNDICE II – Questionário II

QUESTIONÁRIO II

Este questionário contém questões objetivas e subjetivas que farão parte de um conjunto de dados e servirão de base para a discussão acerca do produto educacional desenvolvido na pesquisa. Como se trata de um questionário de sondagem de seu conhecimento, a pontuação será por sua participação. Por isso, faça com calma, sem nervosismo e seja sincero em suas respostas! Lembramos que após clicar em "ENVIAR" não será mais possível fazer alterações. Vamos lá?

- 1) **Quando uma colher é colocada numa xícara com café quente, notamos que com o passar do tempo, a colher fica aquecida. Isso ocorre devido à transmissão de um tipo de energia chamada de**
 a. temperatura. b. energia química c. calor d. energia elétrica
- 2) **Mariana precisa mexer vatapá quente em uma panela. Para isso, a cozinha dispõe de duas colheres: uma toda em aço e outra de aço com cabo de madeira. Qual das duas Mariana deveria usar? Justifique sua resposta.**
- 3) **Ao aproximar a mão de um ferro de passar roupas quente, sentimos a mão aquecer. Por que isso acontece?**
 a. Porque a energia elétrica é transmitida do ferro para a mão.
 b. Porque ocorre a transmissão de energia térmica.
 c. Porque ocorre a transmissão de ar quente.
 d. Porque ocorre absorção de “frio” por parte do ferro quente.
- 4) **Você quer manter uma bebida gelada por mais tempo. Para isso, estão disponíveis dois copos: um de plástico, outro de alumínio. Qual dos dois você usaria? Por que?**
- 5) **Uma panela com água sobre a chama de um fogão começa a ferver devido ao aumento de**
 a. pressão b. temperatura c. energia química d. gás de cozinha
- 6) **Na panela de pressão colocada sobre a chama de um fogão, o chiado na válvula é devido, especificamente, ao aumento de**
 a. pressão c. energia química
 b. calor d. gás de cozinha



- 7) **Quando um pneu de carro é enchido, há um aumento de volume do mesmo. Isso acontece porque**
 a. ocorre um aumento do volume devido ao aumento de pressão.
 b. ocorre diminuição no volume devido ao aumento de temperatura.
 c. ocorre um aumento do volume devido a diminuição de pressão.
 d. ocorre um aumento do volume devido a uma diminuição da temperatura.
- 8) **Quando uma garrafa de água é retirada da geladeira e colocada sobre a mesa, com o passar do tempo, percebe-se que há formação de gotas de água na parte externa da garrafa. Estas gotas vêm de dentro ou de fora da garrafa? Como elas se formam? Justifique sua resposta.**



BIODIGESTOR DIDÁTICO - RELATÓRIO DE OBSERVAÇÃO

ALUNO(a):

TURMA:

Material utilizado para o biodigestor: Descreva aqui os materiais que você utilizou para a confecção do biodigestor didático (garrafas, mangueiras e etc.):

Substrato (Descreva aqui os materiais orgânicos utilizados (restos de alimentos, legumes, fezes de animais, e etc...), o peso do material orgânico e a quantidade de água adicionada – para cada 1 kg de material sólido, 1 litro de água):

ORIENTAÇÕES GERAIS:

- Faça as medidas a partir do 2º dia de funcionamento do biodigestor;
- Escolha um horário específico para medir a altura da coluna líquida na mangueira do manômetro (mangueira fina);
- Se houver necessidade (se estiver ocorrendo uma produção maior de gases), faça duas leituras por dia;
- Para medir a temperatura local, use aplicativos de smartphones, ou acesse a internet;
- Este relatório deve ser feito para um acompanhamento de, no mínimo, 20 dias.
- Ao final das observações, será apresentado um gráfico com a produção de gases por dia.

Data	Horário	Temp. local (°c)	Altura da coluna líquida (cm)	Pressão de gás na garrafa menor (N/m ²).	Volume de gás produzido (ml)	Data	Horário	Temp. local (°c)	Altura da coluna líquida (cm)	Pressão de gás na garrafa menor (N/m ²).	Volume de gás produzido (ml)

REGISTRE AQUI OUTRAS OBSERVAÇÕES (presença de fungos, cor, odor (cheiro), presença de gases (bolhas)). Registre por dia.

APÊNDICE IV – Avaliação da Aprendizagem

AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM

Esta avaliação foi elaborada para medir o nível de aprendizagem através das aulas executadas com auxílio do funcionamento do biodigestor. As questões são formadas por perguntas objetivas e subjetivas que farão parte de um conjunto de dados que servirão de alicerce para a discussão acerca do produto educacional. Conta-se com sua ajuda nas repostas desta avaliação. Faça com calma, sem nervosismo e seja sincero em suas respostas! Lembramos que após clicar em "ENVIAR" não será mais possível fazer alterações. Vamos lá?

1) Sobre a principal fonte de energia que nosso planeta utiliza, marque a alternativa correta:

- A Lua é a principal fonte de energia da Terra, visto que sua influência é fundamental para a origem das marés.
- A principal fonte de energia utilizada pelos seres humanos é a energia eólica, proveniente dos ventos.
- A energia nuclear é a mais utilizada pelos seres humanos.
- O Sol é a principal fonte de energia da Terra, pois apesar da energia se manifestar de maneiras diferentes na natureza (mecânica, calorífica, elétrica, química, magnética, radiante, nuclear), todas essas manifestações dependem direta, ou indiretamente, do Sol.
- A principal fonte de energia que os seres humanos utilizam é a energia proveniente da fotossíntese.

2) A sequência de seres vivos em que um serve de alimento para o outro é chamada de cadeia alimentar.

Sobre a transferência de energia nas cadeias alimentares, podemos afirmar corretamente que

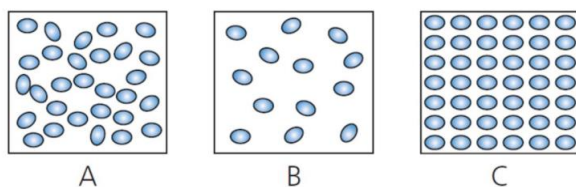
- os consumidores primários são os que produzem seu próprio alimento, através da fotossíntese.
- a fotossíntese é um processo exclusivo dos decompositores.
- os decompositores sintetizam o restante da energia que está na matéria orgânica morta.
- os produtores são responsáveis pela produção de energia através da decomposição.
- a energia não pode ser transferida pelos níveis tróficos.

3) Uma maneira de se obter energia limpa é através da digestão anaeróbia. Sobre a digestão anaeróbia, marque a alternativa correta:

- A digestão anaeróbia é um processo de decomposição que ocorre na presença de oxigênio.
- A digestão anaeróbica é um processo de decomposição de matéria orgânica por bactérias em um meio onde não há a presença de oxigênio gasoso.
- A digestão anaeróbica também pode ser chamada de digestão aeróbica.
- A digestão anaeróbica é realizada pelos produtores, como os vegetais.
- A digestão anaeróbica é realizada para reprodução sexuada.

4) Um dos principais componentes do biogás é o gás Metano (CH₄). Por que o metano é um gás? Justifique com suas próprias palavras, sabendo que a temperatura crítica do metano é – 83° C.

- 5) (UFOP-MG) Quando fornecemos calor a um corpo e a sua temperatura se eleva, há um aumento na energia de agitação dos seus átomos. Esse aumento de agitação faz com que a força de ligação entre os átomos seja alterada, podendo acarretar mudanças na organização e na separação desses átomos. Falamos que a absorção de calor por um corpo pode provocar “mudança de fase”. A retirada de calor provoca efeitos inversos dos observados, quando é cedido calor à substância. Considere os modelos de estrutura interna de uma substância apresentados nas figuras A, B e C.**



Com base no texto acima, podemos afirmar que os modelos A, B, e C representam, respectivamente

- a. sólido, gás e líquido. c) líquido, gás e sólido. e) sólido, líquido e gás.
 b. líquido, sólido e gás. d) gás, líquido e sólido.

6) Considere as seguintes situações que ocorrem no laboratório de uma escola: A) Uma garrafa bem arrolhada cheia de gás sulfídrico é tirada do armário e exposta ao Sol. Sua temperatura, então, começa a aumentar. B) Um estudante despeja areia lentamente sobre o êmbolo de um cilindro que contém oxigênio, comprimindo-o. Em relação ao comportamento dos gases, marque a alternativa correta.

- a. Em A, o volume permanece constante, mas a pressão vai aumentando, o que caracteriza uma transformação isovolumétrica.
 b. Em A, ocorre uma diminuição na média de colisões das moléculas de gás com as paredes da garrafa.
 c. Na situação B, trata-se de uma transformação isobárica, pois o volume do gás varia inversamente à pressão exercida sobre ele.
 d. Os gases reais podem ser considerados gases perfeitos sempre que submetidos a baixas temperaturas e baixas pressões.
 e. Os gases reais podem ser considerados perdem massa ao serem resfriados.

7) (UFJF) Um balão de borracha, do tipo usado em festas de aniversário, foi enchido com um determinado volume de gás, à temperatura de 25°C sob pressão constante. Se este balão for colocado por algumas horas numa geladeira, pode-se afirmar que

- a. se a temperatura cair pela metade, o volume diminui na mesma proporção.
 b. ocorre uma transformação isocórica.
 c. a densidade do gás diminui.
 d. ocorre uma transformação isotérmica.
 e. o volume do balão aumenta.

8) Uma certa massa de um gás perfeito é colocada em um recipiente, ocupando volume de 4,0 litros, sob pressão de 3,0 atmosferas e temperatura de 300 K. Sofre, então, uma transformação isocórica e sua pressão passa a 5,0 atmosferas. Nessas condições, a nova temperatura do gás, em Kelvin, passa a ser

- a. 100 K. b) 200 K. c) 300 K. d) 400 K. e) 500 K.

9) Um botijão de gás de cozinha contém 250 mols de gás à alta pressão. Dado a constante universal dos gases $R = 0,082 \text{ atm}\cdot\text{L}/\text{mol}\cdot\text{K}$, se todo o conteúdo do botijão fosse utilizado para encher um balão, à pressão atmosférica (1 atm) e à temperatura de 300 K, o volume final do balão (em metros cúbicos) seria aproximadamente de

- a. 13 m³ b) 6,2 m³ c) 3,0 m³ d) 90 m³ e) 2,0 m³

10) Como você utilizaria o processo de biodigestão como alternativa para o problema do aquecimento global, do acúmulo de lixo e obtenção de energia limpa? Justifique com suas próprias palavras.

APÊNDICE V – Questionário Final

QUESTIONÁRIO FINAL

Este questionário contém questões objetivas que farão parte de um conjunto de dados e servirão de base para a discussão acerca do produto educacional desenvolvido na pesquisa. As questões não possuem alternativas corretas. Por isso, faça com calma, sem nervosismo e seja sincero em suas respostas! Lembramos que após clicar em "ENVIAR" não será mais possível fazer alterações. Vamos lá?

- 1) **Como você avalia a metodologia que utilizou o funcionamento de um biodigestor pra aprender física?**
 - a. Excelente
 - b. Bom
 - c. Regular
 - d. Ruim
- 2) **Como você avalia o seu aprendizado adquirido com o auxílio da metodologia?**
 - a. Excelente
 - b. Bom
 - c. Regular
 - d. Ruim
- 3) **Qual a sua avaliação sobre a qualidade das aulas ministradas com o auxílio do biodigestor?**
 - a. Superou às aulas tradicionais (aulas tradicionais: com a auxílio do quadro branco e livros).
 - b. Igual as aulas tradicionais.
 - c. Inferior às aulas tradicionais.
- 4) **Com base em sua experiência com a metodologia que usou o funcionamento do biodigestor, você acharia interessante inserir experimentos práticos para ensinar física?**
 - a. Sim
 - b. Não
 - c. Não tenho certeza.
- 5) **Como você avalia a postura e conduta do professor nas aulas ministradas a partir do funcionamento do biodigestor?**
 - a. Excelente
 - b. Bom
 - c. Regular
 - d. Ruim
- 6) **Você acha que a metodologia foi prejudicada por ter sido aplicada remotamente (à distância, pela internet, através de aulas on-line)?**
 - a. Sim, em parte
 - b. Sim, totalmente.
 - c. Não, não houve prejuízo.
 - d. Não tenho certeza.
- 7) **Neste espaço, se você achar necessário, faça comentários sobre a metodologia da qual você participou (com o funcionamento do biodigestor), fazendo críticas ou propondo sugestões para melhoramento da mesma.**