



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
LICENCIATURA EM FÍSICA

ENERGIA RENOVÁVEL: PROPOSTA DE ABORDAGEM SOBRE O
FUNCIONAMENTO DE BIODIGESTOR ANAERÓBIO

LUCAS DA SILVA ROSA

SEROPÉDICA

2023

LUCAS DA SILVA ROSA

**ENERGIA RENOVÁVEL: PROPOSTA DE ABORDAGEM SOBRE O
FUNCIONAMENTO DE BIODIGESTOR ANAERÓBIO**

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Física da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Campus Seropédica, como requisito para obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Lobo Paes

Co-Orientador: Prof. Dr. Frederico A. O. Cruz

SEROPÉDICA

2023

LUCAS DA SILVA ROSA

**ENERGIA RENOVÁVEL: PROPOSTA DE ABORDAGEM SOBRE O
FUNCIONAMENTO DE BIODIGESTOR ANAERÓBIO**

Monografia apresentada ao curso de Graduação em Física da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ, Campus Seropédica, como requisito para obtenção do título de Licenciado em Física.

Juliana Lobo Paes

Prof^a. Dra. Juliana Lobo Paes - DE/UFRRJ (orientador)

Maurício Cougo dos Santos

Prof. Dr. Maurício Cougo dos Santos - DEFIS/UFRRJ (membro interno)

Assinado por: **Natalia Alves Machado**
Num. de Identificação: 18035748
Data: 2023.12.12 15:33:27+00'00'

Prof^a. MSc. Natália Alves Machado - FCUP (membro externo)



SEROPÉDICA

2023

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer primeiro à minha mãe, Alzira e ao meu pai, Elton, que tiveram paciência e me incentivaram sempre na minha trajetória pessoal e educacional. Ao meu irmão Alex, que sempre me apoiou nas minhas ideias. Ao meu grande amigo Rogério, que além de me incentivar na trajetória da física, sempre me apoiou e trouxe conhecimentos que contribuíram na minha trajetória pessoal e acadêmica. Gostaria de agradecer a minha namorada Myllena que sempre esteve presente e, ao meu grande amigo Pedro Paulo que sempre me ajudou com seus dotes artísticos. Aos meus professores do ensino fundamental: Arnaldo, Lúcio e Adriano que participaram na minha formação multidisciplinar; do ensino médio: Paulo César (Xingú), Walter e Sylvia que me fizeram repensar o ensino de maneira integrada e com implementações de projetos que formaram quem eu sou; e aos professores do ensino superior: Frederico que sempre me escutou e incentivou nas minhas ideias no curso; Juliana que confiou no meu trabalho e me enriqueceu muito com a pessoa que é; Cláudio, Ricardo e Maurício que foram fundamentais na minha trajetória acadêmica dentro da universidade. Aos meus amigos do LABGERAR que me ajudaram muito na execução desta monografia, além dos papos produtivos. Aos meus amigos de curso: Michael, Christian, Kevin, Dylan, Wellerson e Jordan que além de me ajudarem no entendimento das matérias e ficaram até o final dessa trajetória comigo. Em especial, quero agradecer a minha eterna “madrinha” Thalyta que sempre me incentivou e foi fonte de inspiração para que eu concluisse o curso. Quero agradecer também aos meus avôs Hélio e João e às minhas avós Ana e Benedita que indiretamente me incentivaram, mesmo não sabendo, a minha tia Elisa, que disponibilizou uma série de provas antigas de universidades que me ajudaram a galgar espaço no curso em que estou. Ao meu amigo Eugênio que me incentivou desde criança e sempre dizia que eu iria seguir o caminho da ciência. E a todos não mencionados aqui, mas que me ajudaram nessa trajetória até aqui. Obrigado a todos.

RESUMO

Cada vez mais, propõe-se a utilização de fontes renováveis para a geração de energia, impulsionada principalmente pelos impactos ambientais. Com o intuito de atender à necessidade de abordar o tema nas aulas de ciências e no ensino superior, esta monografia apresenta a proposta de desenvolver uma sequência didática como recurso educacional para ser utilizado pelos docentes de física. Essa sequência tem o objetivo de explicar o funcionamento de um biodigestor anaeróbio na geração de energia elétrica, além de discutir as questões ambientais pertinentes aos tempos atuais. No decorrer do processo, por meio de uma revisão da literatura, buscar-se-á identificar como o tema "geração de energia" é abordado na nova Base Nacional Comum Curricular e avaliar quais grandezas físicas estão envolvidas. Conclui-se que é possível utilizar um sistema de baixo custo e acessível, que demonstre para os alunos como ocorre o processo da digestão anaeróbia até a geração de energia elétrica, estabelecendo uma conexão direta com a preocupação ambiental.

Palavras-chave: Arduíno, Ensino de física, Biocombustível.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	3
RESUMO.....	4
INTRODUÇÃO.....	12
1 - ENERGIA E MEIO AMBIENTE.....	17
1.1 DEFINIÇÃO DE ENERGIA.....	17
1.2.1 Energia hídrica.....	20
1.2.2 Energia eólica.....	25
1.2.3 Energia de Biomassa e Fósseis.....	26
1.2.4 Energia Solar.....	29
1.2.5 Energia Nuclear.....	31
1.3 GERAÇÃO DE ENERGIA E O IMPACTO AMBIENTAL.....	32
2 - MEIO AMBIENTE, GERAÇÃO DE ENERGIA E A FORMAÇÃO DO PROFESSOR.....	36
2.1 ABORDAGEM DAS QUESTÕES AMBIENTAIS NA BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR.....	36
2.2 IDENTIFICAÇÃO DOS ANOS ESCOLARES NOS QUAIS O TEMA GERAÇÃO DE ENERGIA É DISCUTIDO, SEGUNDO A NOVA BNCC.....	51
2.3 A DISCUSSÃO SOBRE GERAÇÃO DE ENERGIA NOS LIVROS DIDÁTICOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO.....	53
2.4 GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO BIOGÁS NOS LIVROS DIDÁTICOS.....	58
2.5 O CONCEITO DE ENERGIA E DE GERAÇÃO NO CURSO DE FÍSICA E AS DISCUSSÕES AMBIENTAIS.....	59
3 - FUNCIONAMENTO DE UM BIODIGESTOR ANAERÓBIO.....	65
3.1 ESQUEMA BÁSICO DE PRODUÇÃO.....	65
3.2 COMPREENDENDO O PROCESSO DA DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	67

3.3 BIODIGESTORES ANAERÓBIOS E ENERGIA ELÉTRICA.....	68
4 - PROPOSTA.....	71
4.1 O FUNCIONAMENTO DO BIODIGESTOR ANAERÓBIO MODELO INDIANO.....	73
4.2 SISTEMA CRIADO.....	74
4.3 ARDUÍNO.....	78
4.4 SENsoRES.....	79
4.4.1 MQ135.....	80
4.4.2 MQ4.....	81
4.4.3 DHT11.....	81
4.5 MÉTODOS DE ANÁLISE.....	83
4.5.1 Execução do Sistema.....	83
4.5.2 Calibração dos sensores.....	85
4.5.2.1 Calibração do MQ135.....	86
4.5.2.2 Calibração do MQ4.....	86
5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	87
5.1 RESULTADOS DIÓXIDO DE CARBONO.....	87
5.2 RESULTADOS METANO.....	88
5.3 RESULTADOS TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA.....	90
5.4 AVALIAÇÃO DO BIOGÁS.....	92
5.5 COMPARAÇÃO COM RESULTADOS DA LITERATURA.....	93
5.6 PROPOSTA DE PLANO DE AULA PARA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO.....	94
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
7 REFERÊNCIAS.....	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de Funcionamento da Usina Hidrelétrica.....	21
Figura 2 - Esquema de Funcionamento da Usina Hidrelétrica de Fio D'água... ..	22
Figura 3 - Esquema de Funcionamento da Usina Hidrelétrica Reversível.....	23
Figura 4 - Esquema de Funcionamento da Usina Maremotriz por Correntes Marítimas.....	24
Figura 5 - Esquema de Funcionamento da Usina Maremotriz por Marés.....	24
Figura 6 - Esquema de Funcionamento da Turbina Eólica.....	25
Figura 7 - Disposição das centrais geradoras eólicas no território brasileiro....	26
Figura 8 - Esquema de Funcionamento da Usina Termelétrica.....	27
Figura 9 - Funcionamento da Placa Fotovoltaica.....	30
Figura 10 - Esquema de Funcionamento da Usina de Concentração de Energia Solar.....	30
Figura 11 - Esquema de Funcionamento de uma Usina Termonuclear.....	31
Figura 12 - Esquema de Produção de Biometano e seu Emprego.....	66
Figura 13 - Fases da Digestão Anaeróbia.....	68
Figura 14 - Geração de Energia Elétrica por Queima de Biogás.....	69
Figura 15 - Esquema de Funcionamento do Biodigestor Anaeróbio Indiano....	74
Figura 16 - Sistema Completo Biodigestor.....	75
Figura 17 - a) Gasômetro e b) câmara de contenção do selo d'água e câmara de substrato.....	76
Figura 18 - a) Parte superior da tampa, b) proteção térmica.....	78
Figura 19 - Plataforma Microcontroladora Arduino.....	79
Figura 20 - Sensor MQ135 utilizado na atividade.....	80
Figura 21 - Sensor MQ4 utilizado na atividade.....	81
Figura 22 - Sensor DTH11 utilizado na atividade.....	82
Figura 23 - Instrumentos de Medidas Convencionais.....	84
Figura 24 - Disposição dos sensores no pote.....	85

Figura 25 - a) Módulos de Monitoramento de Parâmetros b) Módulo de Monitoramento do Biogás c) Sistema completo montado.....92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico da Geração de Energia de Acordo com sua Fonte.....	20
Gráfico 2 - Repartição da oferta de Lixívia e outras renováveis.....	27
Gráfico 3 - Quantidade de Usinas Termelétricas de Origem Fósseis e Biomassa.....	28
Gráfico 4 - a) Gráfico da concentração de CO ₂ pelo tempo, b) Aproximação dos estágios iniciais da análise.....	86
Gráfico 5 - Concentração de Metano por tempo.....	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média e Desvio Padrão da Temperatura no SAAD do Biodigestor Anaeróbio.....	91
Tabela 2 - Média e Desvio Padrão da Umidade Relativa no SAAD do Biodigestor Anaeróbio.....	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Anos de escolarização nos quais os termos ‘meio ambiente’ ou ‘ambiental’ aparecem nas áreas de conhecimento da BNCC.....	38
Quadro 2 - Anos de escolarização nos quais os termos ‘geração de energia’ ou ‘renováveis’ aparecem nas áreas de conhecimento da BNCC.....	51
Quadro 3 - Como os termos ‘energia’ ou ‘geração de energia’ aparecem nos livros didáticos.....	54
Quadro 4 - Termos ‘energia’, ‘geração de energia’ ou ‘ambiental’ presentes no programa analítico nas disciplinas do curso de licenciatura em física.....	59

INTRODUÇÃO

As discussões acerca da geração sustentável de energia têm adquirido significativa relevância nos últimos anos, inserindo-se nos planos de desenvolvimento de diversas nações, visto a necessidade de minimizar os impactos provocados pelo aumento do efeito estufa devido à queima de combustíveis fósseis (UN, 2020). Por isso, com intuito de promover diretrizes para todas as nações, foi desenvolvido um plano de ações denominado Agenda 2030, o qual foram estipulados Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) visando metas a serem alcançadas até 2030 (UN, 2015). Dentre os objetivos que compõem a Agenda, existe um em específico que aborda o tema da energia limpa e acessível a todos, cuja meta é introduzir usinas de geração de energia elétrica com fontes renováveis, uma vez que tais fontes minimizam os danos ao meio ambiente. Além disso, traz como proposta melhorar as infraestruturas das usinas existentes, visando o aumento da eficiência energética. Entretanto, embora o tema seja de extrema importância, nota-se que, em grande parte, nos livros didáticos direcionados aos estudantes do ensino médio, o mesmo é tratado apenas como uma mera curiosidade, sem que sejam devidamente abordados os princípios de funcionamento dos equipamentos envolvidos nesse processo. Um exemplo está relacionado à energia eólica, que apesar da crescente adoção de equipamentos adequados para esse fim, em muitos países, não há qualquer discussão acerca da influência das grandezas envolvidas nesse processo, apesar delas serem

abordadas pelos professores de física em suas aulas, especialmente na abordagem do movimento circular. Ademais, outros modos de geração de energia alternativos não são devidamente citados, ou até quando são mencionados, sua abordagem é feita de modo simplório, sem a utilização de recursos didáticos para tal. Baseado nisso, a presente monografia tem como propósito apresentar uma abordagem sobre os princípios da geração de energia por meio de biodigestores anaeróbios, pois o biogás gerado e utilizado na queima para gerar energia elétrica, é uma energia alternativa renovável presente na matriz elétrica brasileira em constante crescimento, mas que carece de recursos educacionais para serem entendidos, analisando os fundamentos e contribuindo para uma formação adequada dos estudantes nessa temática. Essa monografia foi organizada da seguinte maneira:

O primeiro capítulo faz uma análise sobre como o conceito de energia era pensado e trabalhado antigamente até os dias atuais, construindo a ideia central que energia está associada aos processos que envolvem mudanças, vencendo a resistência do sistema atuante. Posteriormente, realizou-se um levantamento sobre o conceito de fonte de energia e como elas se classificam entre fontes renováveis e não renováveis, discutindo os conceitos de cada uma. Com isso, verificou-se qual foi o percentual da matriz elétrica brasileira no ano de 2023, de acordo com a ANEEL, mostrando em termos de fontes renováveis ou não renováveis. Foi necessário realizar uma revisão de como ocorre o processo de operação, desde a sua geração até os processos da conversão de energia aplicados à produção de energia elétrica. Foi abordado o

funcionamento desde as usinas não renováveis até as com fontes de energia alternativas aos combustíveis fósseis, tendo em vista explicar todas as fontes presentes na matriz elétrica brasileira. Por último foi discutido questões socioambientais a respeito de cada fonte de energia, fazendo um levantamento das vantagens e desvantagens da utilização de cada fonte nas devidas usinas geradoras de energia elétrica.

No segundo capítulo foi realizado um levantamento de como o conceito de energia é trabalhado no curso de licenciatura em Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, além disso, foi analisado os programas analíticos de cada disciplina e também o projeto pedagógico do curso (PPC), procurando em qual momento é abordado assuntos envolvendo questões ambientais e o tema geração de energia elétrica no curso. Logo após, foi analisado como as questões ambientais e o tema geração de energia são empregados e discutidos na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), pesquisou-se em quais habilidades e competências encontravam-se os assuntos abordados direta e indiretamente, principalmente em quais segmentos do ensino e, consequentemente, quais anos devem ser abordados, especificamente no ensino médio. Sendo assim, realizou-se uma análise nos principais livros didáticos utilizados na rede Estadual de Ensino, evidenciando como o tema geração de energia era abordado. Verificou-se quais fontes de energia eram mais discutidas e como incentivava-se o uso de recursos educacionais para explicar cada geração. Por fim foi realizada uma análise de como os livros didáticos abordam o tema geração de energia através do biogás, analisando

como o tema é explicado e discutido. Foi considerado que essas análises poderiam fornecer informações iniciais sobre a situação atual, uma vez que: a BNCC trata de um documento base para os professores e alunos da rede de ensino básico; os livros didáticos atuais usados no ensino médio são a base usada para o preparo de aulas e acompanhamento dos alunos e, a análise nas disciplinas do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) é importante pois a instituição está localizada na região da Baixada Fluminense e atende um número significativo de indivíduos que buscam a docência para atuação profissional futura.

O terceiro capítulo foi destinado à abordagem do biodigestor anaeróbico. Foi abordada a importância da utilização do biogás na matriz elétrica brasileira, além de apresentar os estágios do processo de digestão anaeróbia e por fim os subprodutos gerados. Dentre os biodigestores existentes, foi explicado o funcionamento do biodigestor anaeróbico modelo indiano, pois este possui um modo de fácil explicação, sendo utilizado na sequência didática. Com isso, mostrou-se as partes que o compõem, expondo os estágios da construção e execução. Finalmente, salientou-se como ocorre o processo da queima do biogás até a sua conversão em energia elétrica.

No quarto capítulo foi apresentada uma proposta educacional. Primeiro descreveu-se como ocorre o funcionamento do biodigestor anaeróbico modelo indiano, especificando cada parte presente. Posteriormente foi descrito como é a montagem do produto educacional proposto que consiste em um biodigestor modelo indiano de bancada. Para as medições dos parâmetros e composição

do biogás proveniente da digestão anaeróbia, foi especificado qual plataforma de prototipagem foi utilizada, além dos sensores responsáveis pelas leituras do biogás. Por fim, foi citado os aparelhos convencionais responsáveis pela calibração e validação dos sensores usados.

No quinto capítulo foi apresentado os resultados referentes à comparação do sistema convencional e o sistema criado para as leituras dos parâmetros e componentes do biogás. Por último, foi apresentada uma proposta de plano de aula utilizando o sistema proposto.

Por fim, em ‘Considerações Finais’ são apresentadas algumas reflexões sobre o trabalho, bem como as possibilidades da inserção do objeto de estudo no curso de licenciatura em Física da UFRRJ.

1 - ENERGIA E MEIO AMBIENTE

1.1 DEFINIÇÃO DE ENERGIA

Durante a análise dos diversos fenômenos encontrados na natureza, é necessário compreender o conceito das grandezas envolvidas, permitindo assim perceber todas as nuances do problema. Uma grandeza importante na discussão de biodigestores anaeróbios com enfoque na geração de energia é denominada ‘energia’, que tem como princípio básico num sistema isolado a possibilidade de “ser transformada de uma forma noutra” (SOUZA, PINA, 1999, p. 12), ou seja ela sempre é conservada e nunca perdida. Essa ideia seria simples caso fosse claro o conceito de energia, porém, visto que é muito comum associar essa grandeza a uma ação ou efeito como subterfúgio para evitar conceituá-la de forma direta, isso nos leva a seguinte questão:

Mas o que é, afinal, a energia? O termo é de origem grega (*energéia*) e significa força ou trabalho. Em 1807, o físico inglês Thomas Young propôs que a energia fosse definida como capacidade para realizar trabalho, conceito que é até hoje amplamente utilizado. Contudo, essa definição nada diz sobre a natureza mais específica da energia. Isso não nos deve deixar constrangidos, pois outras questões igualmente desafiadoras. (OLIVEIRA, SANTOS, 1998, p. 21)

No entanto, é importante estabelecer uma definição que possa nos dar suporte para compreender os diferentes processos que se apresentam nas mais variadas situações do cotidiano:

Em 1872, Maxwell propôs uma definição que pode ser considerada mais correta do que a anterior: "energia é aquilo que permite uma mudança na configuração de um sistema, em oposição a uma força que resiste a esta mudança". Esta definição refere-se a mudanças de condições, a alterações do estado de um sistema e inclui duas idéias importantes: as modificações de estado implica em vencer resistências e é justamente a energia que permite obter estas modificações de estado. Assim, para elevar uma massa até uma determinada altura, aquecer ou esfriar um volume de gás, transformar uma semente em planta, converter minério em ferramentas, jogar futebol, ler este texto, sorrir, enfim, qualquer processo que se associe a alguma mudança, implica em se ter fluxos energéticos. (NOGUEIRA, 2006, p. 14)

1.2 FONTES DE ENERGIA

Da mesma maneira que é desafiador apresentar uma definição do que é 'energia', a definição precisa e consensual do conceito de fonte de energia ainda carece de consolidação e a sua explicação para outras pessoas também não é das tarefas mais simples. No entanto, é possível apresentar didaticamente o que constitui uma fonte de energia ao demonstrar exemplos que ilustrem as aplicações no nosso cotidiano. Para ilustrar essa ideia, consideremos o exemplo trazido por Zohuri (2021):

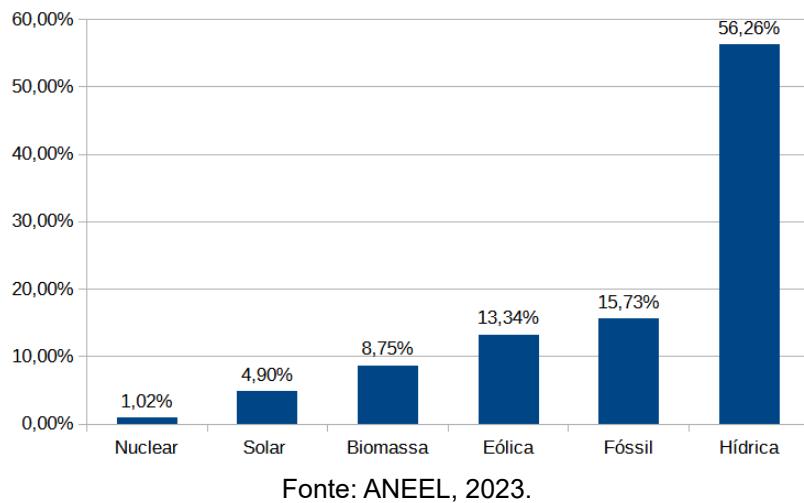
Quando as pessoas usam eletricidade em suas casas, a energia elétrica provavelmente foi gerada pela queima de carvão, por uma reação nuclear ou uma usina hidrelétrica em um rio, para citar apenas algumas fontes. Portanto, carvão, nuclear e hidrelétrica são chamados de fontes de energia. Quando as pessoas enchem um tanque de gasolina, a fonte pode ser o petróleo refinado a partir do petróleo bruto ou o etanol produzido pelo cultivo e processamento do milho. (*ibidem*, p. 255-276).

Ainda de acordo com Zohuri (2021), as fontes de energia são divididas em dois grupos: as renováveis, composta pela utilização de recursos naturais

que são reabastecidos naturalmente em um período curto (COBURN, 2004), e as não renováveis ou convencionais, que diferente das renováveis possuem um reabastecimento de recursos naturais longos (KAMRAN, 2021), ou seja, demora muito tempo para se repor na natureza. Independente dessa divisão, em função dos desafios atuais - seja na produção de alimentos, do conforto residencial, do funcionamento de maquinários nas indústrias e nos comércios - o resultado consiste na conversão da energia proveniente de uma fonte em energia elétrica para ser empregada nos processos mencionados. No Brasil, por exemplo, a geração de energia elétrica, em função da geografia do país, está baseada numa matriz diversificada, incluindo fontes (PINTO, 2017) hídricas, eólicas e térmicas, com uso de biomassa.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) atualmente a matriz elétrica brasileira é composta por quase 84% de fontes de energia renovável (gráfico 1) e o restante delas, são de fontes convencionais, tais como: gás natural, carvão mineral, nuclear e petróleo (ANEEL, 2023). Essa é uma diversificação bastante incomum em relação a muitos outros países, em matéria publicada no *sítio web* da Empresa Brasil de Comunicação (ALVES, 2022) isso é corroborado ao trazer o seguinte dado: “A produção de energia elétrica de origem renovável no Brasil é três vezes superior à mundial. No país, 83% da eletricidade produzida vem de fontes renováveis. Já no mundo, essa proporção chega a 27%.”

Gráfico 1 - Gráfico da Geração de Energia de Acordo com sua Fonte.



Fonte: ANEEL, 2023.

Apesar de números expressivos, muitas dessas gerações de energia ainda não são completamente compreendidas, inclusive as não renováveis, e uma pequena revisão de como é o processo de operação das alternativas aos combustíveis fósseis se faz necessário.

1.2.1 Energia hídrica

Este tipo de fonte de energia é aquela na qual “a energia elétrica é derivada da energia da água que se move das elevações mais altas para as mais baixas” (KILLINGTVEIT, 2020), sendo largamente usado pelo mundo devido à sua baixa emissão de carbono. No Brasil, por exemplo, o uso de energia hídrica é responsável por cerca de 53% da matriz elétrica nacional, formada por 215 usinas que tem capacidade de geração máxima de aproximadamente 103 GW fiscalizadas (ANEEL, 2023).

Na geração por fontes hídricas os quatro métodos mais usados por centrais hidrelétricas são dos seguintes tipos:

→ Usinas hidrelétricas formadas por grandes barragens: elas são construídas com o intuito de fazer uma contenção e, consequentemente, um reservatório d'água (SANTOS, 2020). Segundo (RAKHECHA, 2019), a energia hidrelétrica é gerada pelo os movimentos das pás das turbinas através do movimento das águas, assim o gerador acoplado nas turbinas gera energia elétrica, porém, para esse tipo de geração é preciso um certo volume d'água para as turbinas girarem constantemente, por isso a importância das barragens (Figura 1).

Figura 1 - Esquema de Funcionamento da Usina Hidrelétrica.



Fonte: Freepik¹.

→ Usinas hidroelétricas de fio d'água: diferentemente das hidrelétricas convencionais, além de serem de pequeno porte, utilizam o fluxo natural dos rios para a geração de energia elétrica, são então, feitas pequenas

¹ De: brgfx, disponível em: <https://shre.ink/T6lJ>

barragens ou açudes para canalizar a água para as turbinas responsáveis pelos movimentos das pás (Figura 2) (VENUS et al., 2020; ANDERSON et al., 2014).

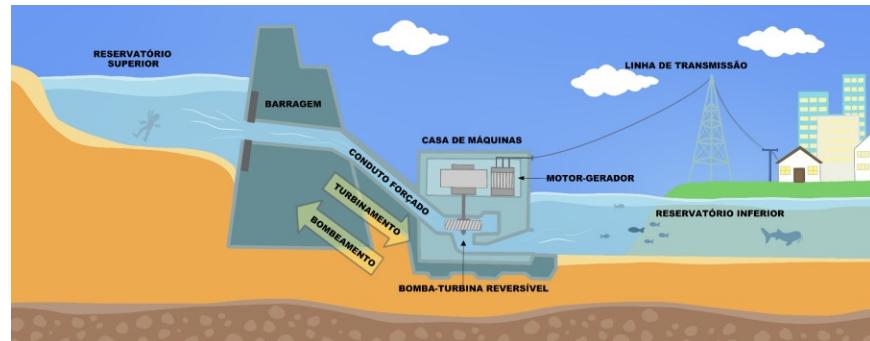
Figura 2 - Esquema de Funcionamento da Usina Hidrelétrica de Fio D'água.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

➔ Usinas hidrelétricas reversíveis: são largamente utilizadas em momentos que a demanda por energia elétrica é máxima, o processo consiste em dois reservatórios, um reservatório superior composto com os mesmos princípios de barragens d'água utilizada convencionalmente para geração de energia e, um reservatório inferior, onde fica armazenada a água, deste reservatório a água é bombeada, através de máquinas utilizando outra fonte de energia elétrica, para o reservatório superior, com isso, através da queda d'água temos o mesmo princípio de geração de energia convencional (Figura 3) (CANALES; BELUCO; MENDES, 2015).

Figura 3 - Esquema de Funcionamento da Usina Hidrelétrica Reversível.



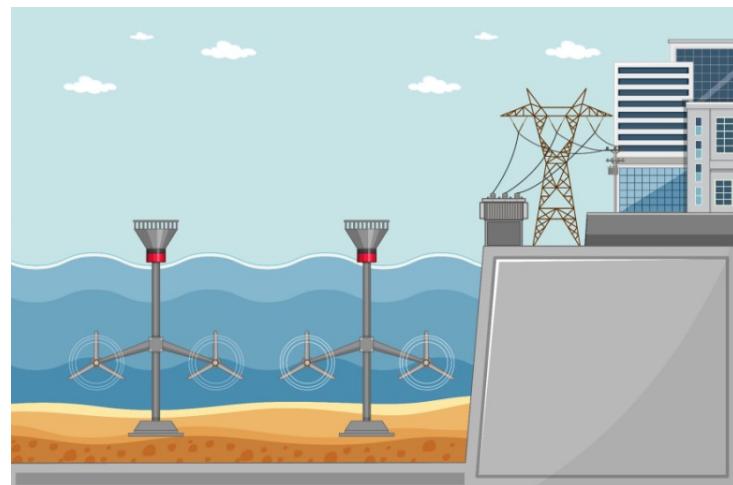
Fonte: Acervo do autor, 2023.

→ Usinas maremotriz: existem duas maneiras de aproveitar essas fontes de energia, conforme discutido por Nascimento (2017). A primeira envolve a captura da energia cinética das correntes marítimas, enquanto a segunda se baseia no mesmo princípio usado em usinas hidrelétricas convencionais.

No caso do aproveitamento das correntes marítimas, ele ocorre por meio do uso de turbinas que são acionadas pela ação dessas correntes, de forma semelhante à geração de energia eólica (Figura 4). Já a utilização da energia potencial das marés envolve a construção de dois sistemas: uma barragem e um reservatório (Figura 5).

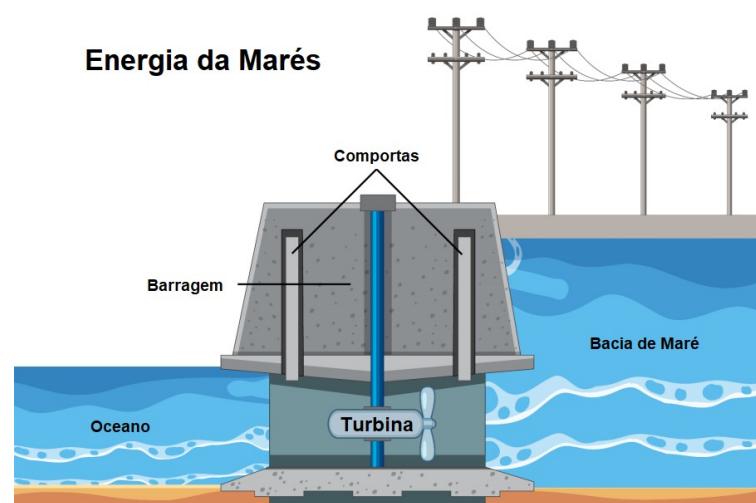
O processo de obtenção de energia da maré ocorre da seguinte maneira, quando a maré sobe o reservatório se enche de água e durante esse processo a água passa pelas turbinas gerando assim energia elétrica (processo de maré enchente). Quando o reservatório atinge uma altura limite as comportas são fechadas e é iniciado o processo de escoamento do lado oposto da barragem, o que aciona novamente as turbinas (processo de maré vazante) (NETO *et al.*, 2011).

Figura 4 - Esquema de Funcionamento da Usina Maremotriz por Correntes Marítimas.



Fonte: Freepik².

Figura 5 - Esquema de Funcionamento da Usina Maremotriz por Marés.



Fonte: Freepik³.

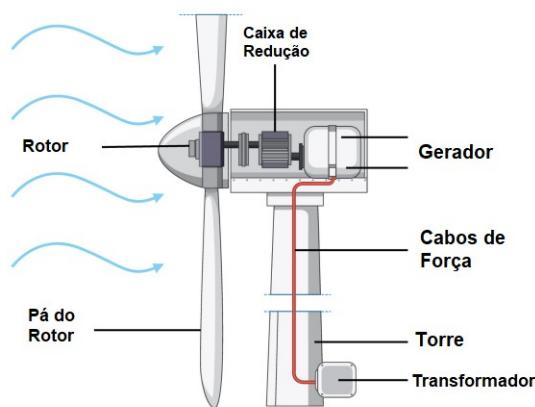
² De brgfx, disponível em: <https://shre.ink/T6IO>

³ De brgfx, disponível em: <https://shre.ink/T6lw>

1.2.2 Energia eólica

Este tipo de geração está baseada na captação do movimento em grande escala do ar (vento) com a utilização de estruturas próprias, que estão acopladas à conversores específicos para esse fim (Figura 6) (BASSAM, 2021).

Figura 6 - Esquema de Funcionamento da Turbina Eólica.



Fonte: Freepik⁴.

Atualmente a energia elétrica proveniente das diversas centrais eólicas espalhadas pelo Brasil representa quase 14% da matriz elétrica brasileira (Figura 7), com capacidade de geração em torno de 27 GW fiscalizadas (ANEEL, 2023).ANEEL, 2023).

⁴ De brgfx, disponível em: <https://shre.ink/T6IN>

Figura 7 - Disposição das centrais geradoras eólicas no território brasileiro.



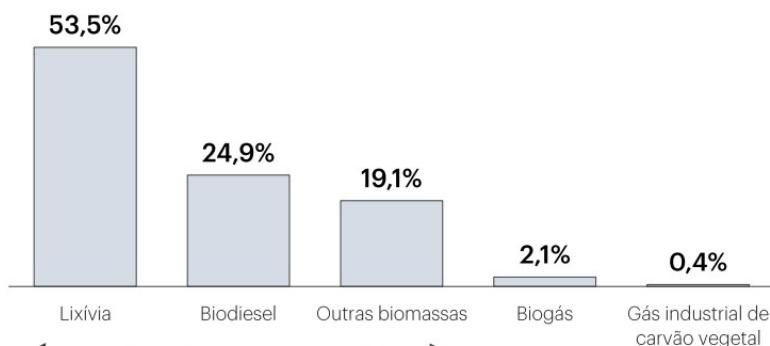
Fonte: ANEEL, 2023.

1.2.3 Energia de Biomassa e Fósseis

O potencial de produção da energia elétrica através da biomassa, ligado principalmente ao uso de biodigestores, teve um crescimento de 2021 para 2022 de aproximadamente 16%. O uso do biogás para o aproveitamento da energia elétrica encontra-se em torno de 2% do total da repartição da oferta entre Lixívia⁵ e de outras fontes renováveis, como mostra o gráfico 2 (EPE, 2023).

⁵subproduto do processo de fabricação de celulose.

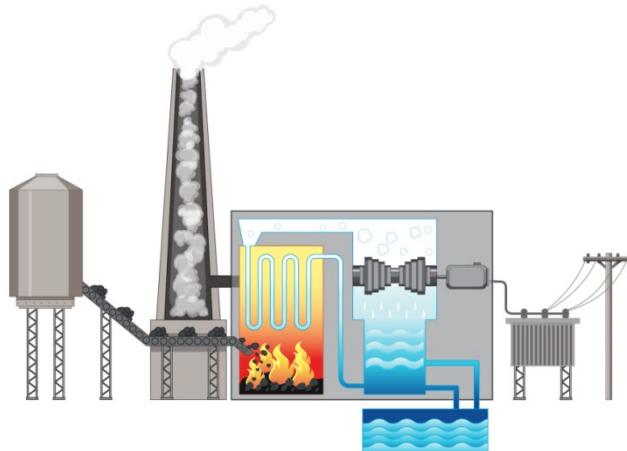
Gráfico 2 - Repartição da oferta de Lixívia e outras renováveis.



Fonte: Balanço Energético Nacional (BEN), 2023.

A produção de energia elétrica a partir da biomassa ou de fósseis ocorrem usinas termelétricas, com a queima da matéria prima dentro das caldeiras. O calor produzido nesse processo é utilizado para o aquecimento da água e, consequente, produção de vapor, que produz, devido ao seu movimento, o movimento de turbinas que estão acopladas na termelétrica (Figura 8) (EGÍDIO, 2021).

Figura 8 - Esquema de Funcionamento da Usina Termelétrica.

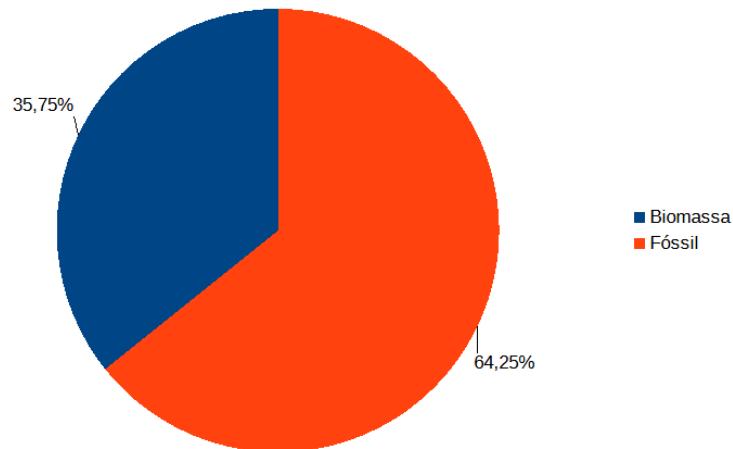


Fonte: Freepik⁶.

⁶ De brgfx, disponível em: <https://shre.ink/T6IZ>

O Brasil possui cerca de 3027 usinas termelétricas, responsáveis por uma capacidade de produção em torno de 47 GW fiscalizadas, que representa quase 24% da matriz energética brasileira. Dentre essas usinas 35,75% utilizam a biomassa como material para queima, entre eles: rejeitos agroindustriais, árvores, resíduos sólidos urbanos, resíduos animais e biocombustíveis líquidos e 64,25% utilizam principalmente fósseis como: petróleo, gás natural e carvão mineral (Gráfico 3) (ANEEL, 2023).

Gráfico 3 - Quantidade de Usinas Termelétricas de Origem Fósseis e Biomassa.



Fonte: ANEEL, 2023.

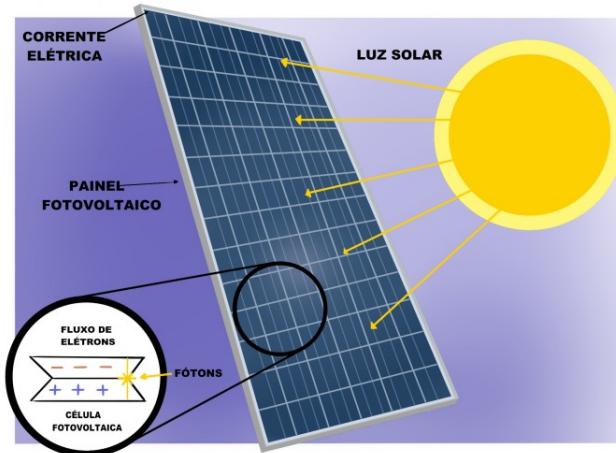
1.2.4 Energia Solar

De acordo com a ANEEL, em 2023 a energia solar tem capacidade de cerca de 11 GW fiscalizados de geração de energia elétrica, isto é, quase 6% da matriz elétrica brasileira, sendo cada vez mais usada em residências nas áreas urbanas e rurais (ANEEL, 2023). O seu aproveitamento pode ser realizado, atualmente, com a utilização de dois métodos: a partir de placas fotovoltaicas e com o uso de concentradores de luz (ITSKOS, 2016).

As placas fotovoltaicas têm na sua composição materiais específicos capazes de converter a radiação solar em energia elétrica. Elas possuem materiais semicondutores como o silício, arseneto de gálio, fulereno de cádmio ou disseleneto de cobre e índio, dopados por outros materiais como fósforo e boro, com intuito de proporcionar um ambiente propício para o efeito fotovoltaico.

Estruturalmente a placa possui duas camadas, uma composta por um material que possui um excesso de elétrons, conhecido como dopante N e, outra parte com a falta de elétrons, chamados de lacunas, conhecido como dopante P. Dada a junção da parte P com a parte N, temos PN, onde os elétrons excedentes do lado N preenche as lacunas do lado P. Esse processo acontece até saturar. Quando os fótons incidentes do sol atingem a placa, ocorre uma diferença de potencial do lado N para o lado P gerando mais pares de elétrons-lacunas repetindo o processo e assim gerando energia elétrica (TORRES, 2012) (Figura 9).

Figura 9 - Funcionamento da Placa Fotovoltaica.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Já o método de concentração solar utiliza espelhos que conseguem refletir e concentrar as radiações solares gerando energia térmica, com isso é aquecido um fluido térmico que percorre um duto até o tambor de vapor, esse vapor gerado é responsável por girar uma turbina capaz de converter a energia térmica em energia elétrica (ITSKOS, 2016; ELAOUZY, 2023), similar ao processo utilizado nas usinas termelétricas (figura 10).

Figura 10 - Esquema de Funcionamento da Usina de Concentração de Energia Solar.



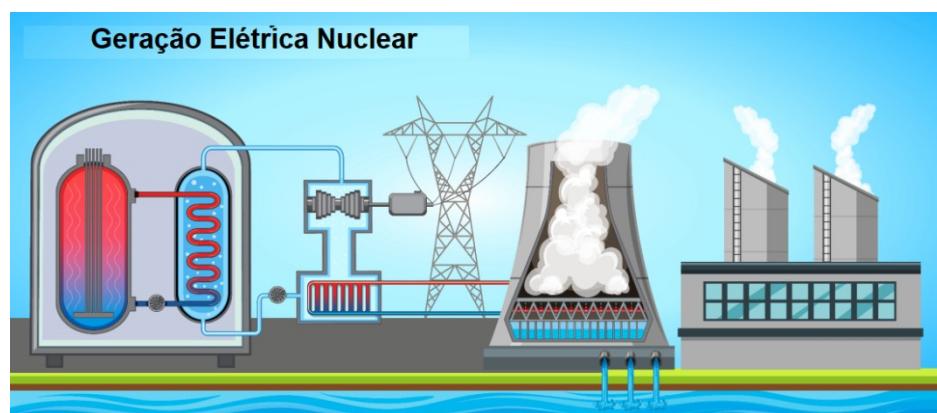
Fonte: Freepik⁷

⁷ De macrovector, disponível em: <https://shre.ink/T6Iv>

1.2.5 Energia Nuclear

A energia nuclear, ou termonuclear, é a energia que se baseia nos processos de decaimentos nucleares, possuindo aplicações em diversas áreas. A geração de energia baseada nesse processo ocorre com a colocação de materiais radioativos nos chamados reatores nucleares, que se caracteriza por ser um equipamento no qual é realizado o processo de fissão nuclear. Como mostra a figura 11, a geração de energia nuclear ocorre por um processo similar ao de uma usina termoelétrica, o que difere é o elemento combustível, que no caso das usinas nucleares é o urânio-235.

Figura 11 - Esquema de Funcionamento de uma Usina Termonuclear



Fonte: Freepik⁸

Dentro do reator nuclear ocorre o processo de fissão nuclear, com isso há uma grande liberação de calor que é usada, através de dutos isolados, para o aquecimento d'água em outro reservatório e, consequentemente, gerar vapor, sendo esse responsável por movimentar as turbinas gerando energia elétrica.

⁸ De brgfx, disponível em: <https://shre.ink/T6IA>

Por este motivo as usinas nucleares são chamadas na verdade de termonucleares (CARDOSO, 2012). A energia elétrica produzida por uma usina termonuclear não tem nenhuma diferença em comparação com as outras usinas de fornecimento de energia elétrica, por mais que sua fonte seja radioativa, a grande vantagem de usá-la está relacionada com a potência gerada, pois com uma pequena quantidade de matéria prima, no caso urânio, pode produzir uma grande quantidade de energia elétrica. (CARDOSO, 2012).

É importante destacar que a energia nuclear é considerada uma fonte não renovável, uma vez que o urânio, principal elemento utilizado como combustível em reatores nucleares, é um recurso finito na natureza, sendo extraído de depósitos minerais com disponibilidade menor à medida que é consumido para gerar energia.

1.3 GERAÇÃO DE ENERGIA E O IMPACTO AMBIENTAL

É importante salientar que qualquer uma das fontes de energia mencionadas anteriormente provocam algum tipo de impacto, seja ambiental, social e/ou econômica. Por isso, a escolha por uma determinada fonte demanda estudos de viabilidade e possíveis impactos gerados. No caso da utilização de fontes de energias não renováveis, como fósseis, formado principalmente por petróleo e carvão mineral, além de serem recursos que demoram um grande período de tempo para se reporem na natureza, são responsáveis por grande parte das emissões de gases poluentes na atmosfera,

causando diversas mudanças no clima. O uso dessas fontes de energia vão contra ao que prega Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e a Agenda 2030 que procura “assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas e todos” (ONU, 2015; SILVA; SHAYANI; OLIVEIRA, 2018).

As usinas hidrelétricas possuem vantagens, pois apresentam um baixo índice de emissões de gases poluentes, além de serem responsáveis pela produção de uma quantidade expressiva de energia elétrica. Do ponto de vista econômico, elas são bastante competitivas, uma vez que têm custos operacionais mais baixos em comparação com outras fontes de energia. No entanto, as desvantagens estão principalmente relacionadas aos estágios de construção, já que é necessário construir barragens e reservatórios de água, o que acaba por alagar grandes regiões, afetando a fauna e a flora locais. Além disso, ocorrem alterações nos cursos dos rios, afetando diretamente as comunidades locais, especialmente os povos indígenas e quilombolas (SILVA; SHAYANI; OLIVEIRA, 2018).

As usinas eólicas possuem vantagens, já que não geram emissões de gases poluentes, constituindo uma fonte de energia renovável inesgotável. Elas desempenham um papel crucial na segurança energética brasileira, complementando a energia hidrelétrica. No entanto, as desvantagens deste modo de geração estão principalmente relacionadas aos elevados impactos na implantação dos parques eólicos, bem como à geração de ruídos, o que afeta diretamente a fauna local. Além disso, essas usinas alteram a paisagem local,

o que tem um impacto direto na economia das regiões afetadas (MENEZES; DUNCAN, 2022).

As usinas termelétricas apresentam como principal vantagem a independência das variações climáticas, ou seja, oferecem segurança e previsibilidade na produção de energia, o que as diferencia das fontes anteriores. Além disso, por serem instaladas próximas ao consumidor final, acabam tendo baixos custos na implementação de linhas de transmissão e possuem grande flexibilidade locacional. No entanto, as desvantagens começam na sua implementação, uma vez que apresentam custos elevados em comparação com outras fontes de energia. Elas também afetam diretamente o clima da região e, uma vez que precisam da água local para resfriamento interno, interferem diretamente na fauna marinha e na flora local. Além disso, mesmo que a matéria-prima de algumas termelétricas seja proveniente de biomassa ou até mesmo de gás natural, ainda assim emitem uma grande quantidade de gases poluentes na atmosfera, provocando chuvas ácidas e intensificando ainda mais o efeito estufa (SILVA; SHAYANI; OLIVEIRA, 2018). Porém, as usinas termelétricas são obrigadas a utilizarem dispositivos e filtros para minimizarem os impactos ambientais visto que é fundamental devido aos possíveis danos à saúde (FLOSS *et al.*, 2022).

As usinas de energia solar oferecem uma série de vantagens, pois além de não contribuírem para o aumento do efeito estufa, são altamente flexíveis em termos de instalação, podendo ser implantadas até mesmo em áreas remotas. Elas não causam grandes impactos na fauna e na flora, e ainda têm o

benefício de gerar empregos locais. Por outro lado, as desvantagens desse tipo de geração de energia incluem o alto custo de implementação e a alteração direta no uso do solo. Apesar das vantagens, existem riscos reais de impacto no meio ambiente. Podem ocorrer emissões de gases nocivos e contaminações ambientais devido à matéria-prima utilizada na fabricação das placas fotovoltaicas, bem como nos processos de descarte das mesmas (SILVA; SHAYANI; OLIVEIRA, 2018).

As usinas termonucleares possuem a vantagem de não emitir gases poluentes no meio ambiente e também são consideradas fontes de geração de energia com baixa produção de carbono em comparação com outras, ficando abaixo apenas da hidroeletricidade (MME, 2020). As desvantagens desse modo de geração de energia estão principalmente ligadas às questões de segurança e ao custo elevado associado ao tratamento dos resíduos nucleares produzidos na usina. Além de afetarem diretamente a fauna marítima devido ao aquecimento das águas.

2 - MEIO AMBIENTE, GERAÇÃO DE ENERGIA E A FORMAÇÃO DO PROFESSOR

Para avaliar se há na formação do professor disciplinas que discutam o processo de geração de energia, tal como ocorre nas escolas, foi utilizado como recorte metodológico a avaliação dos temas abordados na BNCC, nos livros de Ensino Médio e das disciplinas do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Uma vez que a instituição está localizada na região da Baixada Fluminense e atende um número significativo de indivíduos que buscam a docência para atuação profissional futura, foi considerado que essa análise poderia fornecer informações iniciais sobre a situação atual.

2.1 ABORDAGEM DAS QUESTÕES AMBIENTAIS NA BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento normativo que aborda os assuntos essenciais os quais os alunos da educação básica devem aprender na escola, conforme é direito perante ao Plano Nacional de Educação (PNE) (BRASIL, 2018). Para assegurar as aprendizagens essenciais nos respectivos segmentos da educação básica, a BNCC (2018) é dividida em competências, que são definidas como “a mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e

socioemocionais), atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho” (*ibidem*, p. 8). Este documento é dividido em eixos temáticos, não apresentando uma abordagem destinada para disciplinas isoladamente, como física, biologia e química, mas em eixos temáticos como: Linguagens e suas tecnologias, Matemática e suas tecnologias, Ciências da Natureza e suas tecnologias e, Ciências Humanas e Sociais aplicadas. Essa estrutura tem por ideia conectar os conhecimentos de várias disciplinas eliminando a ideia, que segundo Morin (2006), da “inteligência que só sabe separar, fragmenta o complexo do mundo em pedaços separados, fraciona os problemas, unidimensionaliza o multidimensional. Atrofia as possibilidades de compreensão e de reflexão”.

Num primeiro olhar é possível que sejam apresentadas mais dificuldades que vantagens nessa nova estrutura, mas ao se abordar as diversas questões que afligem a sociedade, como é o caso das questões ambientais, percebe-se a limitação de olhá-las apenas com as informações fornecidas por uma única área de conhecimento. Assim, é possível que o aluno venha a desenvolver um olhar crítico de como algumas atitudes interferem negativamente o meio ambiente e consequentemente as gerações futuras. Na BNCC foram identificados os seguintes itens associados ao termo ‘meio ambiente’ ou ‘ambiental’, como mostrado no quadro a seguir:

Quadro 1 - Anos de escolarização nos quais os termos ‘meio ambiente’ ou ‘ambiental’ aparecem nas áreas de conhecimento da BNCC.

Área de conhecimento ou eixo temático	Ano	Habilidades
Ciências	4º	(EF04CI06) Relacionar a participação de fungos e bactérias no processo de decomposição, reconhecendo a importância ambiental desse processo.
Ciências	6º	(EF06CI04) Associar a produção de medicamentos e outros materiais sintéticos ao desenvolvimento científico e tecnológico, reconhecendo benefícios e avaliando impactos socio ambientais .
Ciências	7º	(EF07CI05) Discutir o uso de diferentes tipos de combustível e máquinas térmicas ao longo do tempo, para avaliar avanços, questões econômicas e problemas socio ambientais causados pela produção e uso desses materiais e máquinas. (EF07CI11) Analisar historicamente o uso da tecnologia, incluindo a digital, nas diferentes dimensões da vida humana, considerando

		indicadores ambientais e de qualidade de vida.
Ciências	8º	<p>(EF08CI16) Discutir iniciativas que contribuam para restabelecer o equilíbrio ambiental a partir da identificação de alterações climáticas regionais e globais provocadas pela intervenção humana.</p> <p>(EF08CI06) Discutir e avaliar usinas de geração de energia elétrica (termelétricas, hidrelétricas, eólicas etc.), suas semelhanças e diferenças, seus impactos socioambientais, e como essa energia chega e é usada em sua cidade, comunidade, casa ou escola.</p>
Ciências	9º	<p>(EF09CI13) Propor iniciativas individuais e coletivas para a solução de problemas ambientais da cidade ou da comunidade, com base na análise de ações de consumo consciente e de sustentabilidade bem-sucedidas.</p>
Geografia	2º	<p>(EF02GE07) Descrever as atividades extractivas (minerais, agropecuárias e</p>

		industriais) de diferentes lugares, identificando os impactos ambientais .
Geografia	3º	(EF03GE09) Investigar os usos dos recursos naturais, com destaque para os usos da água em atividades cotidianas (alimentação, higiene, cultivo de plantas etc.), e discutir os problemas ambientais provocados por esses usos.
Geografia	5º	(EF05GE12) Identificar órgãos do poder público e canais de participação social responsáveis por buscar soluções para a melhoria da qualidade de vida (em áreas como meio ambiente , mobilidade, moradia e direito à cidade) e discutir as propostas implementadas por esses órgãos que afetam a comunidade em que vive. (EF05GE10) Reconhecer e comparar atributos da qualidade ambiental e algumas formas de poluição dos cursos de água e dos oceanos (esgotos, efluentes industriais, marés negras etc.). (EF05GE11) Identificar e descrever

		<p>problemas ambientais que ocorrem no entorno da escola e da residência (lixões, indústrias poluentes, destruição do patrimônio histórico etc.), propondo soluções (inclusive tecnológicas) para esses problemas.</p> <p>(EF05GE03) Identificar as formas e funções das cidades e analisar as mudanças sociais, econômicas e ambientais provocadas pelo seu crescimento.</p>
Geografia	7º	<p>(EF07GE06) Discutir em que medida a produção, a circulação e o consumo de mercadorias provocam impactos ambientais, assim como influem na distribuição de riquezas, em diferentes lugares</p>
Geografia	8º	<p>(EF08GE21) Analisar o papel ambiental e territorial da Antártica no contexto geopolítico, sua relevância para os países da América do Sul e seu valor como área destinada à pesquisa e à compreensão do ambiente global.</p>
Geografia	9º	(EF09GE15) Comparar e classificar

		diferentes regiões do mundo com base em informações populacionais, econômicas e socioambientais representadas em mapas temáticos e com diferentes projeções cartográficas.
História	3º	(EF03HI10) Identificar as diferenças entre o espaço doméstico, os espaços públicos e as áreas de conservação ambiental , compreendendo a importância dessa distinção.
Educação Física	8º e 9º	(EF89EF19) Experimentar e fruir diferentes práticas corporais de aventura na natureza, valorizando a própria segurança e integridade física, bem como as dos demais, respeitando o patrimônio natural e minimizando os impactos de degradação ambiental .
Matemática	6º	(EF06MA32) Interpretar e resolver situações que envolvam dados de pesquisas sobre contextos ambientais , sustentabilidade, trânsito, consumo responsável, entre outros, apresentadas pela mídia em tabelas e em

		diferentes tipos de gráficos e redigir textos escritos com o objetivo de sintetizar conclusões
Matemática	9º	(EF09MA08) Resolver e elaborar problemas que envolvam relações de proporcionalidade direta e inversa entre duas ou mais grandezas, inclusive escalas, divisão em partes proporcionais e taxa de variação, em contextos socioculturais, ambientais e de outras áreas.
Linguagens e suas tecnologias	1º, 2º e 3º EM	(EM13LGG304) Formular propostas, intervir e tomar decisões que levem em conta o bem comum e os Direitos Humanos, a consciência socio ambiental e o consumo responsável em âmbito local, regional e global
Língua Portuguesa	1º, 2º e 3º EM	(EM13LP27) Engajar-se na busca de solução para problemas que envolvam a coletividade, denunciando o desrespeito a direitos, organizando e/ou participando de discussões, campanhas e debates, produzindo textos reivindicatórios, normativos, entre outras possibilidades, como forma de fomentar os

		<p>princípios democráticos e uma atuação pautada pela ética da responsabilidade, pelo consumo consciente e pela consciência socioambiental.</p>
Ciências da Natureza e Suas Tecnologias	1º, 2º e 3º EM	<p>(EM13CNT106) Avaliar, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais, tecnologias e possíveis soluções para as demandas que envolvem a geração, o transporte, a distribuição e o consumo de energia elétrica, considerando a disponibilidade de recursos, a eficiência energética, a relação custo/benefício, as características geográficas e ambientais, a produção de resíduos e os impactos socioambientais e culturais.</p> <p>(EM13CNT202) Analisar as diversas formas de manifestação da vida em seus diferentes níveis de organização, bem como as condições ambientais favoráveis e os fatores limitantes a elas, com ou sem o uso de dispositivos e aplicativos digitais (como softwares de simulação e de realidade virtual,</p>

	<p>entre outros).</p> <p>(EM13CNT206) Discutir a importância da preservação e conservação da biodiversidade, considerando parâmetros qualitativos e quantitativos, e avaliar os efeitos da ação humana e das políticas ambientais para a garantia da sustentabilidade do planeta.</p> <p>(EM13CNT302) Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos, elaborando e/ou interpretando textos, gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, por meio de diferentes linguagens, mídias, tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), de modo a participar e/ou promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural e ambiental</p> <p>(EM13CNT306) Avaliar os riscos envolvidos em atividades cotidianas, aplicando conhecimentos das Ciências da Natureza,</p>
--	--

		<p>para justificar o uso de equipamentos e recursos, bem como comportamentos de segurança, visando à integridade física, individual e coletiva, e socioambiental, podendo fazer uso de dispositivos e aplicativos digitais que viabilizem a estruturação de simulações de tais riscos.</p> <p>(EM13CNT308) Investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos e/ou eletrônicos e sistemas de automação para compreender as tecnologias contemporâneas e avaliar seus impactos sociais, culturais e ambientais.</p> <p>(EM13CNT309) Analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos de motores e processos de produção de novos materiais.</p>
Ciências Humanas e	1º, 2º	(EM13CHS101) Identificar, analisar e

Sociais Aplicadas e 3º EM	<p>comparar diferentes fontes e narrativas expressas em diversas linguagens, com vistas à compreensão de ideias filosóficas e de processos e eventos históricos, geográficos, políticos, econômicos, sociais, ambientais e culturais.</p> <p>(EM13CHS102) Identificar, analisar e discutir as circunstâncias históricas, geográficas, políticas, econômicas, sociais, ambientais e culturais de matrizes conceituais (etnocentrismo, racismo, evolução, modernidade, cooperativismo/desenvolvimento etc.), avaliando criticamente seu significado histórico e comparando-as a narrativas que contemplam outros agentes e discursos</p> <p>(EM13CHS103) Elaborar hipóteses, selecionar evidências e compor argumentos relativos a processos políticos, econômicos, sociais, ambientais, culturais e epistemológicos, com base na sistematização de dados e informações de diversas naturezas (expressões artísticas, textos</p>
---------------------------------	---

	<p>filosóficos e sociológicos, documentos históricos e geográficos, gráficos, mapas, tabelas, tradições orais, entre outros).</p> <p>(EM13CHS202) Analisar e avaliar os impactos das tecnologias na estruturação e nas dinâmicas de grupos, povos e sociedades contemporâneos (fluxos populacionais, financeiros, de mercadorias, de informações, de valores éticos e culturais etc.), bem como suas interferências nas decisões políticas, sociais, ambientais, econômicas e culturais.</p> <p>(EM13CHS205) Analisar a produção de diferentes territorialidades em suas dimensões culturais, econômicas, ambientais, políticas e sociais, no Brasil e no mundo contemporâneo, com destaque para as culturas juvenis.</p> <p>(EM13CHS301) Problematizar hábitos e práticas individuais e coletivos de produção, reaproveitamento e descarte de resíduos em metrópoles, áreas urbanas e rurais, e comunidades com diferentes características</p>
--	---

	<p>socioeconômicas, e elaborar e/ou selecionar propostas de ação que promovam a sustentabilidade socioambiental, o combate à poluição sistêmica e o consumo responsável.</p> <p>(EM13CHS302) Analisar e avaliar criticamente os impactos econômicos e socioambientais de cadeias produtivas ligadas à exploração de recursos naturais e às atividades agropecuárias em diferentes ambientes e escalas de análise, considerando o modo de vida das populações locais – entre elas as indígenas, quilombolas e demais comunidades tradicionais –, suas práticas agroextrativistas e o compromisso com a sustentabilidade.</p> <p>(EM13CHS304) Analisar os impactos socioambientais decorrentes de práticas de instituições governamentais, de empresas e de indivíduos, discutindo as origens dessas práticas, selecionando, incorporando e promovendo aquelas que favoreçam a consciência e a ética socioambiental e o</p>
--	--

	<p>consumo responsável.</p> <p>(EM13CHS305) Analisar e discutir o papel e as competências legais dos organismos nacionais e internacionais de regulação, controle e fiscalização ambiental e dos acordos internacionais para a promoção e a garantia de práticas ambientais sustentáveis.</p> <p>(EM13CHS306) Contextualizar, comparar e avaliar os impactos de diferentes modelos socioeconômicos no uso dos recursos naturais e na promoção da sustentabilidade econômica e socioambiental do planeta (como a adoção dos sistemas da agrobiodiversidade e agroflorestal por diferentes comunidades, entre outros).</p>
--	---

Fonte: BRASIL, 2018.

Para abordar os temas que aparecem na BNCC os professores são exigidos em diversos aspectos, entre eles: (i) ter o entendimento das questões relacionadas à cidadania, meio ambiente e participação social, conhecendo os diferentes canais pelos quais os cidadãos podem se envolver na busca por soluções para melhorar a qualidade de vida, além da preocupação como o meio ambiente; e (ii) a capacidade de desenvolver e implementar metodologias

ativas de ensino que envolvam os alunos em atividades práticas, promovendo a aplicação dos conceitos aprendidos sempre em consonância com a natureza.

2.2 IDENTIFICAÇÃO DOS ANOS ESCOLARES NOS QUAIS O TEMA GERAÇÃO DE ENERGIA É DISCUTIDO, SEGUNDO A NOVA BNCC.

O tema “geração de energia” na (BNCC) é abordado ao longo de vários anos de escolarização, evidenciando-se em diferentes áreas e eixos temáticos do documento. Como demonstrado no quadro a seguir:

Quadro 2 - Anos de escolarização nos quais os termos ‘geração de energia’ ou ‘renováveis’ aparecem nas áreas de conhecimento da BNCC.

Área de conhecimento ou eixo temático	Ano	Habilidades
Ciências	5º	(EF05CI02) Aplicar os conhecimentos sobre as mudanças de estado físico da água para explicar o ciclo hidrológico e analisar suas implicações na agricultura, no clima, na geração de energia elétrica, no provimento de água potável e no equilíbrio dos ecossistemas regionais (ou locais).
Ciências	8º	(EF08CI06) Discutir e avaliar usinas de

		<p>geração de energia elétrica (termelétricas, hidrelétricas, eólicas etc.), suas semelhanças e diferenças, seus impactos socioambientais, e como essa energia chega e é usada em sua cidade, comunidade, casa ou escola.</p> <p>(EF08CI01) Identificar e classificar diferentes fontes (renováveis e não renováveis) e tipos de energia utilizados em residências, comunidades ou cidades.</p>
Ciências da Natureza e Suas Tecnologias	1º, 2º e 3º EM	<p>(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, no ambiente, na indústria, na agricultura e na geração de energia elétrica.</p> <p>(EM13CNT309) Analisar questões socioambientais, políticas e econômicas relativas à dependência do mundo atual em relação aos recursos não renováveis e discutir a necessidade de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos</p>

		de motores e processos de produção de novos materiais.
--	--	--

Fonte: Brasil, 2018.

Percebe-se que do professor, nesse caso, são exigidas, para que possa abordar os temas acima apresentados de maneira adequada: (i) uma compreensão aprofundada dos conceitos relacionados às mudanças de estado físico da água, ciclo hidrológico, agricultura e dos processos de geração de energia elétrica; (ii) o entendimento de como ocorre os processos de geração e de transmissão de energia elétrica em cada usina elétrica, classificando-os em renováveis e não renováveis; e (iii) a capacidade de desenvolver métodos de ensino interativos e envolventes que estimulem o pensamento crítico dos alunos, principalmente sobre o uso de fontes de geração de energia renováveis.

2.3 A DISCUSSÃO SOBRE GERAÇÃO DE ENERGIA NOS LIVROS DIDÁTICOS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

A discussão sobre a geração de energia, como foi visto, é abordada diretamente nas habilidades e competências da BNCC, porém, há uma necessidade de compreender como essas diretrizes são tratadas nos livros didáticos usados pelas escolas públicas. A fim de analisar como são abordados os assuntos ligados ao tema estudado, foram consultadas duas obras usadas nas escolas públicas do estado do Rio de Janeiro, aprovadas pelo Plano

Nacional do Livro Didático (PNLD). Os livros didáticos analisados foram todos baseados na BNCC, são eles: Ser Protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias: energia e transformações (FUKUI; MOLINA; OLIVEIRA, 2020) e, Moderna plus: ciências da natureza e suas tecnologias: matéria e energia (AMABIS et al, 2020), ambos voltados para o ensino médio. Os termos ‘energia’ e ‘geração de energia’ são trabalhados nos livros como demonstrado no quadro a seguir:

Quadro 3 - Como os termos ‘energia’ ou ‘geração de energia’ aparecem nos livros didáticos.

Editora	Autor	Título/Tema
SM	Fukui, Ana et al	<p>Unidade 1:</p> <p>Capítulo 1 - Energia e trabalho:</p> <p>Usos comuns de energia e trabalho;</p> <p>A grandeza energia;</p> <p>Tipos de energia;</p> <p>Energia cinética;</p> <p>Energia potencial e forças conservativas;</p> <p>Energia mecânica.</p> <p>Capítulo 3 - Impulso e colisões:</p> <p>Energia em colisões;</p> <p>Unidade 2:</p> <p>Capítulo 1 - Força elétrica e campo elétrico:</p>

	<p>Energia potencial elétrica.</p> <p>Capítulo 2 - Corrente elétrica e circuitos elétricos:</p> <p>Cálculo de consumo de energia elétrica.</p> <p>Capítulo 3 - Produção e consumo de energia elétrica:</p> <p>Transformações de energia;</p> <p>Energia;</p> <p>Usinas hidrelétricas;</p> <p>O caminho da energia;</p> <p>O problema da escassez mundial de energia.</p> <p>Energias renováveis;</p> <p>Energias não renováveis;</p> <p>Urbanização, energia e eletricidade.</p> <p>Unidade 3</p> <p>Capítulo 1 - Temperatura e Calor:</p> <p>Calor;</p> <p>As primeiras medições de calor;</p> <p>Capítulo 2 - Consequências do calor:</p> <p>O calor e a variação de temperatura;</p> <p>Calor específico;</p> <p>Calor latente.</p>
--	---

Modern a	Amabis, José Mariano et al.	<p>Capítulo 1 - Energia:</p> <p>As várias formas de energia;</p> <p>Trabalho e energia;</p> <p>O princípio da conservação de energia;</p> <p>Energia mecânica.</p> <p>Capítulo 2 - Metabolismo energético:</p> <p>Energia para a vida.</p> <p>Capítulo 4 - Energia térmica:</p> <p>Calor: energia térmica em trânsito;</p> <p>Energia para a vida e energia dos alimentos.</p> <p>Capítulo 5 - Transmissão de calor:</p> <p>Fluxo de calor.</p> <p>Capítulo 7 - Fluxo de energia e ciclos da matéria na natureza:</p> <p>Energia para a vida</p> <p>Transferências de energia entre seres vivos.</p> <p>Capítulo 11 - Energia hoje e amanhã:</p> <p>Energia no Brasil;</p> <p>Economizando energia;</p> <p>Fontes alternativas de energia.</p> <p>Energia solar;</p> <p>Energia eólica;</p> <p>Energia de biomassa.</p>
-------------	--------------------------------	--

Percebe-se que ambos livros didáticos analisados apresentam assuntos voltados à conceituação da energia com um olhar da física, desde sua aplicação na mecânica, na eletricidade e, até mesmo na parte de energia térmica, onde é abordado o conceito de calor. Os livros destinam um capítulo para discutirem assuntos voltados à geração de energia, no caso da editora SM temos o ‘Capítulo 3 - Produção e consumo de **energia** elétrica’ e na editora Moderna temos o ‘Capítulo 11 - **Energia** hoje e amanhã’, mostrando quais são as principais formas de geração de energia elétrica, dando um enfoque maior para fontes de energias renováveis, principalmente as hidrelétricas em alguns casos. Além disso, todos os livros pesquisados falam de praticamente todas as formas de geração de energia, até mesmo do uso das biomassas, porém, com uma menor atenção a essa parte. Embora os livros consultados tratem do tema de modo unânime, são encontradas algumas diferenças na sua abordagem. A editora SM procura abordar o tema visando discutir e refletir o que são fontes de energia renováveis e não renováveis, classificando as mais variadas fontes de energia de acordo com essa categorização. Percebe-se um enfoque maior no funcionamento da hidrelétrica e como ocorre a transmissão de energia até as residências. Além disso, aborda os riscos ambientais ligados às usinas de geração de energia elétrica renováveis e não renováveis. Em contrapartida, a editora Moderna tem um enfoque maior em como a energia elétrica é consumida no Brasil e mostra a importância da economia energética, problematizando e refletindo o uso racional da energia elétrica para o bem

estar da sociedade. Ademais, o livro destina uma parte específica para falar de energias alternativas discorrendo sobre cada uma e não aborda diretamente o uso de hidrelétricas.

Analisou-se também a abordagem do ensino sobre o tema da geração de energia nos livros didáticos, utilizando recursos pedagógicos. Em todos os livros analisados percebe-se o uso de esquemas de funcionamento para um melhor entendimento do modo de geração, porém, nota-se uma discrepância entre as editoras. Algumas esquematizam o funcionamento somente ligados às fontes de energia mais usadas na matriz elétrica brasileira, deixando de lado o funcionamento de outras fontes de energia e, outras editoras esquematizam somente as fontes de energia alternativas deixando de lado o funcionamento das demais. Além disso, percebe-se em alguns casos o incentivo da experimentação como recurso didático, incentivando os alunos a montarem, por exemplo, uma pequena usina eólica para entender seu funcionamento. De maneira geral, todos os livros pesquisados carecem de recursos educacionais, como esquemas gráficos de todas as fontes de geração de energia, ou até mesmo link para aplicativos interativos e/ou vídeos explicativos que mostrem como ocorre os processos de geração de energia elétrica nas mais distintas fontes de energia, deixando lacunas no entendimento das mais variadas fontes de energia utilizadas no Brasil.

2.4 GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DO BIOGÁS NOS LIVROS DIDÁTICOS

Como foi visto anteriormente em todos os livros consultados, percebemos um enfoque na hidroelétrica e também nas energias alternativas, porém, o entendimento de algumas energias alternativas ficaram defasadas. O tema de geração de energia através do biogás foi abordado em todos os livros pesquisados, porém, nota-se uma carência de explicações envolvendo seu funcionamento. No livro da editora Moderna, foram apresentados como ocorria o processo de digestão anaeróbia nos biodigestores, o qual tem os subprodutos do fertilizante orgânico e o biogás, porém, não fica claro como ocorre o processo e, além disso, os recursos visuais apresentados não são intuitivos, gerando mais dúvidas do que esclarecimentos. De outro modo, o livro da editora SM, trata somente o que é o biogás não se aprofundando como ocorre seu funcionamento. Percebe-se uma carência de recursos didáticos nos livros analisados para abordagem do funcionamento dos biodigestores e como o biogás é empregado na geração de energia elétrica.

2.5 O CONCEITO DE ENERGIA E DE GERAÇÃO NO CURSO DE FÍSICA E AS DISCUSSÕES AMBIENTAIS

Numa análise feita no Projeto Político Pedagógico (PPP) e no Programa Analítico do curso de Licenciatura em Física da UFRRJ sobre o conceito de energia e as discussões ambientais no curso de Física, temos:

Quadro 4 - Termos ‘energia’, ‘geração de energia’ ou ‘ambiental’ presentes no programa analítico nas disciplinas do curso de licenciatura em física.

Disciplina	Período	Descrição
IC 415 Física Teórica I	1º	4. Conservação da Energia Mecânica.
IC 419 Física Experimental I	1º	6. Princípio da Conservação da Energia .
IC674 Química Geral	1º	III. Tabela e Propriedades Periódicas 3. Energia de ionização.
AB181 Seminário Educação e Sociedade I	1º	Discussir questões ambientais e de desenvolvimento sustentável.
IC416 Física Teórica II	2º	7. Calor e 1ª Lei da Termodinâmica. Calor – Capacidade Térmica e Calor específico; Energia Interna - 1a Lei da Termodinâmica.
IC420 Física Experimental II	2º	10. Calor Específico e Calor Latente.
IC417 Física Teórica III	3º	4. Trabalho e Energia Potencial Eletrostática - Capacitores
IC173 Mecânica	5º	3. Leis de conservação da mecânica;

Clássica I		
IC101 Eletromagnetismo I	5º	5. Energia Potencial Eletrostática
IC131 Termodinâmica	5º	3. Trabalho, Calor e Primeira Lei da Termodinâmica
IC427 Estrutura da matéria I	5º	Parte 1: Aulas Teóricas 2. Experimentos e Modelos sobre a quantização da carga e da energia . 6. Fundamentos da Mecânica Quântica 6.3. A Equação de Schrödinger: A conservação da Energia (não-relativística). Parte 2: Aulas Práticas (experimentos e/ou simulações computacionais): 5. Quantização da energia em átomos: Espectroscopia óptica;

Fonte: UFRRJ, 2010.

Segundo o quadro 4, o conceito de energia é tratado no âmbito do eixo de Física Geral, que aborda a Física do Ensino Médio aprofundada com o uso de instrumentos matemáticos adequados, nas disciplinas de: IC415 Física Teórica I, IC416 Física Teórica II, IC417 Física Teórica III, IC419 Física

Experimental I, IC420 Física Experimental II. No eixo Física Clássica, o qual contempla conceitos mais consolidados na física, envolvendo Mecânica Clássica, Eletromagnetismo e Termodinâmica, nas disciplinas: IC173 Mecânica Clássica I, IC101 Eletromagnetismo I e IC131 Termodinâmica. No eixo Física Moderna e Contemporânea, o qual abrange a Física desde o início do século XX, na disciplina IC427 Estrutura da matéria I. No eixo Formação Pedagógica, o qual trata dos fundamentos da educação, na disciplina: AB181 Seminário Educação e Sociedade I. E, por fim, no eixo Disciplinas Complementares, o qual trata de assuntos de outras áreas do conhecimento, na disciplina IC674 Química Geral (CCF, 2023). O conceito é abordado nos tópicos identificados, mas a discussão está restrita aos conceitos clássicos. Em nenhum momento, pelo menos nas fontes indicadas como referências bibliográficas básicas, a relação com os processos de geração de energia são mencionados.

Percebe-se também a necessidade de discussões relacionadas ao meio ambiente. Embora o PPP preveja a integração da educação ambiental nas disciplinas 'AB181 Seminário Educação e Sociedade I' e 'AB182 Seminário Educação e Sociedade II' (CCF, 2023), observa-se uma carência de debates e reflexões sobre essas questões no curso de licenciatura. Isso é especialmente notável no que diz respeito ao uso da ciência e da tecnologia associadas à educação ambiental, um tema constantemente presente no ensino básico, no qual os futuros professores estarão envolvidos.

Embora o curso de licenciatura em Física da UFRRJ não conte com disciplinas voltadas para a discussão de questões ambientais, destaca-se a

presença da disciplina 'IC425 - Metodologias e Instrumentação para a Docência em Física I'⁹. Essa disciplina aborda o uso de metodologias ativas de ensino, explorando recursos didáticos e tecnologias digitais de informação e comunicação para o ensino de física.

Apesar de oferecer a possibilidade de incluir discussões sobre questões ambientais, essa abordagem não está explicitamente presente no Programa Analítico da disciplina, ou seja, a decisão de incluir ou não tais discussões fica a cargo do professor. É importante ressaltar que, conforme mencionado por Miranda (1992, p. 59):

A disciplina Instrumentação para o Ensino deve ter um caráter de interface entre os conteúdos específicos e os pedagógicos. Ela não é uma disciplina característica das ciências ditas experimentais, pois afinal, são vários os "instrumentos" necessários às diferentes áreas do conhecimento. O que se pretende com ela é fazer uma discussão aprofundada sobre o conteúdo a ser transmitido [...] onde o aluno tem oportunidade de conhecer os diferentes instrumentos que lhe serão úteis na sua vida profissional.

A abordagem de temas ambientais pode enriquecer o conteúdo ministrado, contribuindo para uma formação mais abrangente dos futuros professores de física.

⁹Devido às modificações da matriz curricular do Curso de física destinadas à adequação à legislação vigente, as disciplinas: IC188 – Instrumentação para o Ensino de Física I, IC189 – Instrumentação para o Ensino de Física II, IC190 – Instrumentação para o Ensino de Física III, IC191 – Instrumentação para o Ensino de Física IV, IC192 – Iniciação à Docência em Física I e IC192 – Iniciação à Docência em Física II – foram substituídas pelas disciplinas “Metodologias e Instrumentação para a Docência em Física I” (2-2) e “Metodologias e Instrumentação para a Docência em Física II” (2- 2);

3 - FUNCIONAMENTO DE UM BIODIGESTOR ANAERÓBIO

Um biodigestor anaeróbio, como o nome sugere, é uma estrutura que converte materiais orgânicos, como resíduos de alimentos, esterco animal e outros resíduos orgânicos, em biogás e biofertilizantes por meio de um processo de decomposição anaeróbia¹⁰. Eles possuem diversos tipos, onde se destacam os biodigestores anaeróbios Chinês, Canadense, Batelada e o ‘Indiana’ que será abordado a seguir.

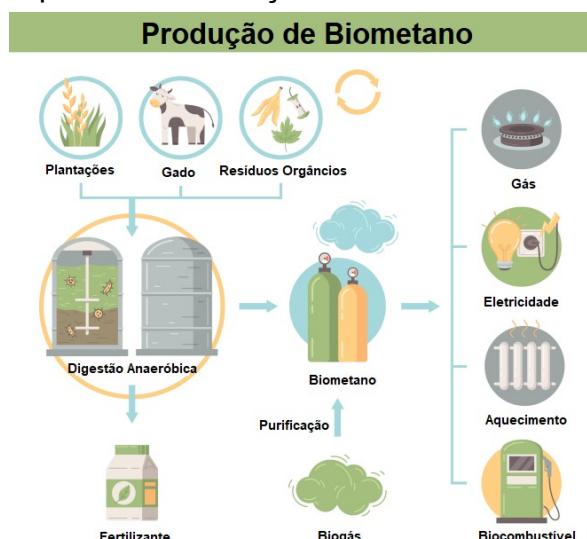
3.1 ESQUEMA BÁSICO DE PRODUÇÃO

O processo de produção de biometano para conversão em energia elétrica envolve diversas etapas (ver Figura 12), que dependem basicamente do tipo de biodigestor anaeróbio envolvido. No entanto, três delas podem ser destacadas: (i) inicialmente os resíduos, escolhidos como substratos são colocados dentro dos biodigestores; (ii) posteriormente esses materiais passam por um processo de fermentação anaeróbia, gerando biogás e biofertilizante. O biogás proveniente do biodigestor anaeróbio é formado, em sua maioria, por gás metano, dióxido de carbono, mais abundantes e, também, gás sulfídrico, amônia e outros sulfetos e fosfatos, em menor proporção. O potencial energético do biogás está ligado, principalmente, à concentração de gás metano presente nele. É importante ressaltar que as características do biogás

¹⁰ Processo biológico que ocorre na ausência de oxigênio

quanto a quantidade dos gases presentes estão ligadas diretamente às condições de temperatura e pressão presente em todos os processos, por isso a importância de medir tais parâmetros em todo processo de digestão. (MELO, 2023; MILANEZ, 2021); (iii) após um processo de purificação, no qual consiste em retirar todos os gases presentes no biogás deixando somente o gás metano (CH_4) ou biometano, para que possa ser utilizado, principalmente, na geração de energia elétrica (MILANEZ, 2021).

Figura 12 - Esquema de Produção de Biometano e seu Emprego.



Fonte: Freepik¹¹.

O biofertilizante gerado no processo, dependendo da sua composição, pode ser utilizado para beneficiar o solo, fornecendo nutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Ele contribui para práticas agrícolas mais sustentáveis, pois aproveita os subprodutos do processo anaeróbio,

¹¹ De: macrovector, disponível em: <https://is.gd/U4YGOJ>

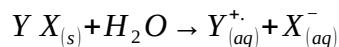
promovendo a reciclagem de nutrientes e reduzindo a dependência de fertilizantes químicos (KUNZ, 2019).

3.2 COMPREENDENDO O PROCESSO DA DIGESTÃO ANAERÓBIA

Esse processo ocorre em quatro etapas principais (MELO, 2023). Cada um delas pode ser assim descrita (MILANEZ, 2021):

→ Hidrólise

- ◆ Processo: Quebra do substrato em moléculas menores.
- ◆ Resultado: Formação de nutrientes solúveis.



→ Acidogênese

- ◆ Reação: As moléculas menores tornam-se solúveis em água;
- ◆ Fermentação: Produção de CO₂ e H₂ durante a fermentação.

→ Acetogênese

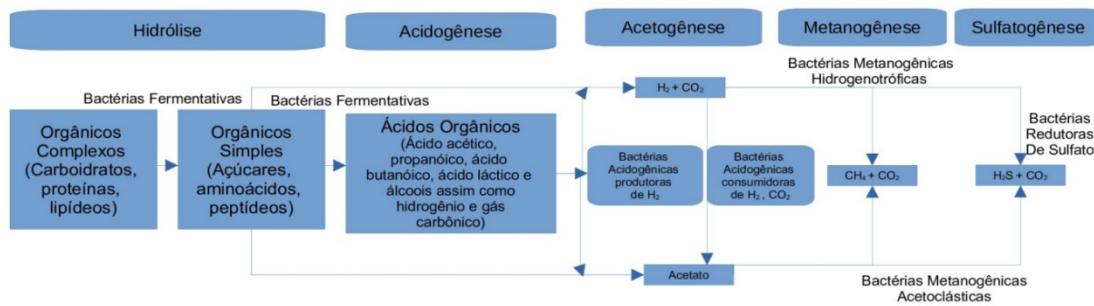
- ◆ Conversão: Os ácidos e os álcoois transformam-se em acetato, que servirão como fonte para arqueas metanogênicas¹²;
- ◆ Resultado: Liberação de gás metano (CH₄) como subproduto.

→ Metanogênese:

- ◆ Conversão Final: os acetatos restantes transformam-se em CH₄.
- ◆ Resíduos: Outros subprodutos resultam em CO₂, H₂, gás sulfídrico, amônia e nitrogênio.

¹² Seres anaeróbios que liberam gás metano, como resíduo metabólico (KUNZ, 2019).

Figura 13 - Fases da Digestão Anaeróbia.



Fonte: Machado, 2023.

3.3 BIODIGESTORES ANAERÓBIOS E ENERGIA ELÉTRICA

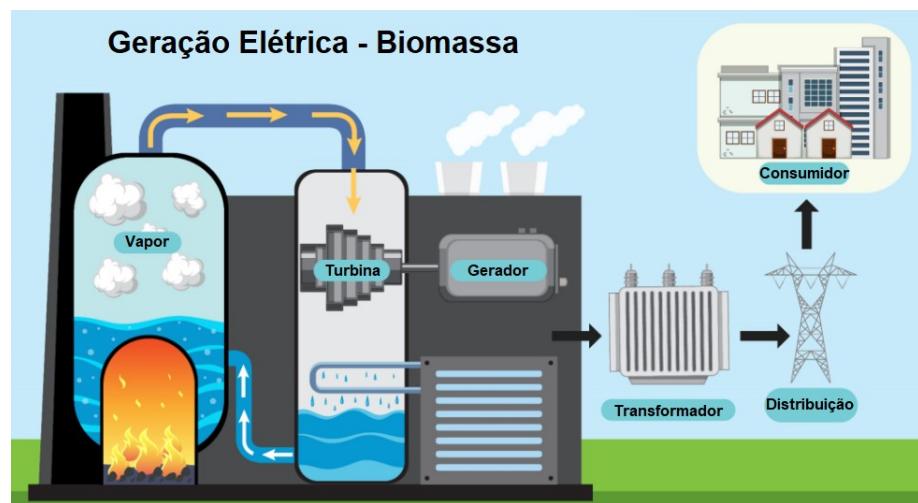
O biogás, devido ao seu elevado poder calorífico, é amplamente utilizado, principalmente através da queima, para diversos fins, destacando-se a geração de energia elétrica. O processo de transformação do biogás em eletricidade é um passo crucial na utilização eficiente deste recurso renovável.

No início do ciclo, o biogás gerado pelo biodigestor anaeróbio contém impurezas como: o dióxido de carbono e nitrogênio, que não contribuem significativamente para o poder calorífico; o gás sulfídrico, que é corrosivo e pode danificar as tubulações e equipamentos, além de ser prejudicial ao meio ambiente. Por isso esse gases são removidos do biogás. (MILANEZ, 2021).

Após a etapa de purificação, o biogás é encaminhado para um motor de combustão onde é queimado e a energia térmica resultante desse processo é convertida em energia mecânica e, posteriormente, com auxílio de um gerador,

é transformada em energia elétrica. A eletricidade, assim produzida, pode ser integrada à rede elétrica para consumo local ou distribuída para comunidades remotas, contribuindo para a diversificação da matriz energética e reduzindo a dependência de fontes não renováveis (figura 14).

Figura 14 - Geração de Energia Elétrica por Queima de Biogás.



Fonte: Freepik¹³

No Brasil, a utilização de biodigestores impacta tanto na geração de energia elétrica em escala industrial quanto no tratamento de esgoto em menor escala. Um dos primeiros biodigestores anaeróbios rurais, destinado ao reaproveitamento principalmente de dejetos de animais, foi instalado na Granja do Torto em Brasília no ano de 1979. Foi somente na década de 1990 que surgiram os primeiros biodigestores anaeróbios residenciais, focados no tratamento de esgoto sanitário e/ou resíduos orgânicos domésticos. O pioneiro desses projetos foi construído em Silva Jardim (RJ), no ano de 1991, com o

¹³ De brgfx, disponível em: <https://shre.ink/T6yG>

objetivo de atender aproximadamente 1000 pessoas (PROENÇA, 2018). Apesar da eficiência na geração de energia, com projetos inclusos para expandir o uso de biodigestores rurais e residenciais no Brasil, existe uma carência de estudos científicos sobre o uso de biodigestores anaeróbios em larga escala. Isso poderia ser crucial no contexto do tratamento inadequado de esgoto em regiões onde estão localizadas a população rural e indivíduos de baixa renda (PROENÇA, 2018), contribuindo para minimizar os impactos ambientais e efeitos prejudiciais à saúde decorrentes da falta de tratamento adequado do esgoto produzido.

4 - PROPOSTA

Uma vez que não há uma discussão sobre questões ambientais de maneira ampla nas disciplinas de física do curso de Licenciatura em Física da UFRRJ, consideramos interessante que o tema possa ser tratado dentro de uma das disciplinas de 'Física Experimental'. As discussões ambientais podem propiciar aos futuros professores uma visão abrangente sobre as fontes alternativas de energia e pode oferecer uma abordagem prática e interdisciplinar, proporcionando aos estudantes uma compreensão mais ampla de conceitos físicos fundamentais e sua aplicação no mundo real. Nesse sentido, aqui estão algumas razões pelas quais a discussão de biodigestores anaeróbios pode ser relevante em um contexto de física experimental:

- ➔ Termodinâmica e Transferência de Calor: O processo de geração de biogás e a conversão subsequente em energia elétrica envolvem princípios fundamentais de termodinâmica. Os estudantes podem explorar conceitos como transferência de calor, eficiência energética e ciclos termodinâmicos no contexto específico dos biodigestores;

- ➔ Conversão de Energia: O biodigestor anaeróbio é um exemplo prático de conversão de energia, onde a energia contida nos resíduos orgânicos é transformada em biogás e, posteriormente, em energia mecânica e elétrica. Estudar esse processo oferece uma oportunidade para os

alunos aplicarem conceitos de conversão de energia aprendidos em sala de aula;

- ➔ **Química e Processos Anaeróbios:** O entendimento da química envolvida na decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos no biodigestor é relevante para os alunos que estudam reações químicas e processos biológicos. Além de trazer discussões sobre os microrganismos envolvidos no processo possibilitando a interdisciplinariedade, como prega a BNCC;
- ➔ **Instrumentação e Medição:** Em um curso de física experimental, os alunos geralmente aprendem sobre instrumentação e técnicas de medição. A implementação e monitoramento de parâmetros como temperatura, pressão e produção de biogás em um biodigestor oferecem oportunidades para aplicar essas habilidades práticas;
- ➔ **Sustentabilidade e Impacto Ambiental:** Além dos aspectos físicos, a discussão dos biodigestores permite explorar tópicos relacionados à sustentabilidade e impacto ambiental. Os estudantes podem analisar como a utilização de biodigestores contribui para a gestão de resíduos, a redução de emissões de gases de efeito estufa e a produção de energia a partir de fontes renováveis;

- Engenharia de Sistemas: Os biodigestores são sistemas complexos que envolvem engenharia de sistemas. A discussão desses sistemas pode proporcionar aos alunos uma compreensão prática da interconexão entre diferentes componentes e como eles colaboram para atingir um objetivo específico.

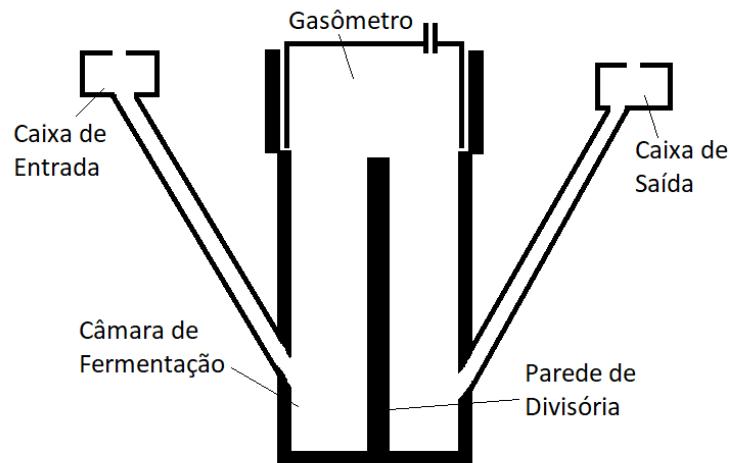
4.1 O FUNCIONAMENTO DO BIODIGESTOR ANAERÓBIO MODELO INDIANO

Apesar dos diferentes tipos de biodigestores, o funcionamento de todos eles passa pelo mesmo processo até gerar o biogás, mudando somente o seu modo de construção. O biodigestor anaeróbio modelo indiano (figura 15), por exemplo, possui os seguintes elementos (DEGANUTTI, 2002):

- Gasômetro: A parte superior do biodigestor é geralmente coberta por uma cúpula que coleta e armazena o biogás produzido durante o processo de digestão anaeróbia. O biogás gerado no biodigestor é coletado nessa região e pode ser conduzido para ser utilizado;
- Câmara de Digestão: Esta é a parte principal do biodigestor, onde ocorre a decomposição anaeróbia da matéria orgânica. As bactérias anaeróbias decompõem os resíduos orgânicos, liberando biogás como subproduto;
- Caixa de entrada: Aqui é onde os resíduos orgânicos são introduzidos no biodigestor para o processo de decomposição;

- ➔ Saída de Biogás: É acoplado um duto no gasômetro para extrair o biogás produzido servindo de fonte de energia para as mais variadas aplicações;
 - ➔ Caixa de saída: Responsável por retirar o biofertilizante. Na parte superior do gasômetro é retirado o biogás através de dutos.
- É importante salientar que o modelo apresentado representa um dentre os vários modelos de biodigestores anaeróbios, visto que eles podem variar em design e tamanho.

Figura 15 - Esquema de Funcionamento do Biodigestor Anaeróbio Indiano.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

4.2 SISTEMA CRIADO

A compreensão do que venha ser um biodigestor anaeróbio requer um grau de abstração elevado, principalmente para os alunos, pois ocorrem

processos no biodigestor que necessitam de informações de outras disciplinas para o entendimento, além de um olhar mais prático desses processos. Pensando nisso, o sistema desenvolvido é uma maneira didática de mostrar como ocorre todo o funcionamento de um biodigestor anaeróbio e como através dele podemos criar alternativas às fontes de energia convencionais.

Figura 16 - Sistema Completo Biodigestor.



Fonte: GERAR, 2023.

O sistema criado foi um biodigestor anaeróbio de bancada modelo indiano, pois possui uma abordagem didática mais clara (figura 16). Ele é composto por três cilindros: o maior chamado de câmara de contenção do selo d'água (figura 17b), é colocado água no seu interior com a finalidade de impedir que o gás gerado no gasômetro escape por baixo, além disso, a água evita variações abruptas de temperatura externa sobre o substrato utilizado. Dentro do cilindro maior, encontra-se um cilindro menor chamado de câmara de digestão (figura 17b), neste é colocado o substrato a ser utilizado e é nele que ocorrem todos os processos físico-químicos presentes. Entre a câmara de contenção do selo d'água e a câmara de digestão, encontra-se outro cilindro

chamado de gasômetro (figura 17a). Ele é posto de maneira invertida, como uma tampa para o câmara da digestão, isso porque ele associado com a câmara do selo d'água são responsáveis por deixar todo o sistema anaeróbio. Além disso, é no gasômetro que ficará armazenado todos os gases gerados nos processos da câmara de digestão.

Figura 17 - a) Gasômetro e b) câmara de contenção do selo d'água e câmara de substrato



Fonte: GERAR, 2023.

Todo o processo que ocorre no biodigestor depende de parâmetros básicos, sendo eles a umidade relativa, a temperatura e a pressão. Uma vez que o controle desses parâmetros são devidamente monitorados constantemente, possíveis problemas podem ser contornados e consequentemente, a produção de biometano, que é formado maioritariamente

por dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), torna-se maior. Deste modo, visando uma abordagem didática de todo o processo de digestão anaeróbia, foi elaborado um Sistema de Aquisição Automático de Dados (SAAD) composto por dois módulos, o Módulo de Monitoramento de Parâmetro (MMP) para a coleta de dados da temperatura e umidade relativa e, o Módulo de Monitoramento do Biogás (MMB) responsável pela coleta de dados dos componentes do biogás, sendo eles o CO_2 e o CH_4 .

Para elaboração do MMB e do MMP foi necessário um pote de vidro com volume de 0,810 L equipado com uma tampa de metal. Na tampa de metal foram efetuados três furos os quais instalaram-se duas válvulas de três vias e um orifício para a passagem dos fios que fazem a ligação entre o sensor e o Arduino (figura 18a). A vedação completa foi realizada utilizando um adesivo à base de cianoacrilato de viscosidade média, combinado com bicarbonato de sódio. Para a vedação do pote em relação à tampa, utilizou-se o-ring¹⁴ de diâmetro de 7,0 cm e espessura de 2,0 mm no interior da tampa. No MMP, o pote foi isolado externamente com isopor de 20,0 mm coberto por uma manta de etaflon, evitando assim interferências externas (figura 18b).

¹⁴ Anel de vedação

Figura 18 - a) Parte superior da tampa, b) proteção térmica



Fonte: Acervo do autor, 2023.

O sistema de digestão anaeróbia e as análises foram realizados no Laboratório de Pesquisa Multiusuários do Grupo de Energias Renováveis e Alternativas Rurais (LabGERAR), no Instituto de Tecnologia (IT) / Departamento de Engenharia (DE) da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ).

4.3 ARDUÍNO

A plataforma Arduino Uno é composta pelo microcontrolador programável ATmega328P com quatorze portas de entrada/saída digitais, das quais seis podem ser usados como saídas *Pulse Width Modulation* (PWM) e seis portas de saída analógicas (figura 19). As dimensões da placa foram 68,6 mm o comprimento e 53,4 mm de largura, com tensão de operação de 5,0 ou 3,3 V (DATASHEET ARDUINO, 2023).

Para desenvolver programas a serem executados no Arduino é utilizado um *software* gratuito próprio da plataforma *Arduino Programming Language*, com um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE¹⁵) ao hardware e uma linguagem baseada em C/C++. A alimentação e comunicação para a transferência de informações entre a placa Arduino Uno e os computadores foram realizados por meio de cabo de barramento serial universal (USB¹⁶).

Figura 19 - Plataforma Microcontroladora Arduino



Fonte: Acervo do autor, 2023

4.4 SENsores

Para medição tanto dos parâmetros como do próprio biogás foi preciso a utilização de três sensores: o MQ135, o MQ4 e o DHT11.

¹⁵ Acrônimo para *Integrated Development Environment*.

¹⁶ Acrônimo para *Universal Serial Bus*.

4.4.1 MQ135

Este sensor (figura 20) é constituído internamente por material de SnO₂, cuja condutividade é inversamente proporcional à presença de contaminantes no ambiente. Em condições de atmosfera limpa, o sensor manifesta uma condutividade inicial reduzida, entretanto, à medida que a concentração de gás no ambiente aumenta, a condutividade do material SnO₂ aumenta de maneira diretamente proporcional.

Ele se caracteriza por sua acessibilidade financeira e boa sensibilidade, com o qual é possível realizar a medição de gases como amônia, sulfídrico e dióxido de carbono. O alcance operacional deste sensor abrange concentrações na ordem de 10 a 1000 partes por milhão (ppm), reforçando a sua aplicabilidade robusta em contextos acadêmicos que demandam análise precisa de gases específicos para a preservação da qualidade ambiental e segurança.

Figura 20 - Sensor MQ135 utilizado na atividade.

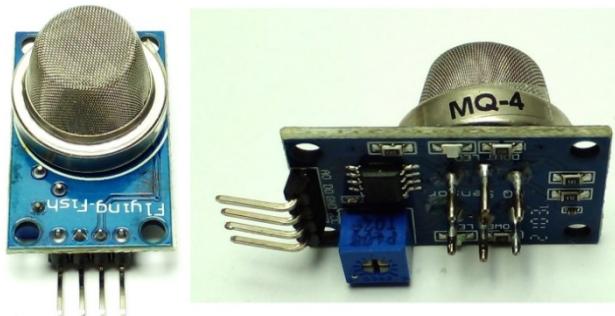


Fonte: Acervo do autor, 2023

4.4.2 MQ4

O sensor MQ4 (Figura 21) também é constituído por uma resistência interna composta pelo material SnO₂. Em circunstâncias de ar limpo, a resistência do sensor é significativamente elevada, resultando numa condutividade reduzida. Esse dispositivo destaca-se por sua elevada sensibilidade ao metano, propano e butano, possuindo uma faixa de medição entre 300 a 10.000 ppm, tornando-o apto para uma variedade de aplicações.

Figura 21 - Sensor MQ4 utilizado na atividade.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

4.4.3 DHT11

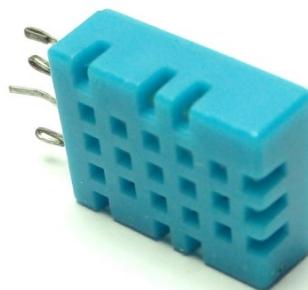
O sensor de temperatura e umidade relativa DHT11 (Figura 22), emprega um dispositivo cuja resistência elétrica diminui com o aumento da temperatura, mais conhecido como termistor de ‘coeficiente de temperatura

negativo' (*NTC*¹⁷), enquanto para aferição da umidade relativa, utiliza-se um sensor HR202. A combinação desses elementos resulta num dispositivo capaz de fornecer leituras precisas e consistentes.

A faixa de leitura do sensor abrange uma umidade relativa entre 20% e 90%, e uma temperatura na faixa de 0 a 50 °C. Essa amplitude de medição torna o DHT-11 adequado para diversas aplicações, desde ambientes climatizados até locais com condições mais extremas.

O sensor opera com uma alimentação na faixa de 3 a 5 VCC, conferindo-lhe versatilidade e compatibilidade em diferentes configurações de sistema. Essas características, aliadas à sua tecnologia de detecção avançada, consolidam o DHT11 como uma escolha confiável para monitoramento preciso e contínuo.

Figura 22 - Sensor DTH11 utilizado na atividade.



Fonte: Acervo do Autor, 2023

¹⁷ Acrônimo para *Negative Temperature Coefficient*.

4.5 MÉTODOS DE ANÁLISE

4.5.1 Execução do Sistema

Como dito anteriormente, foram criados dois módulos de monitoramento, o MMB e o MMP, eles consistem em um pote de vidro vedado com os sensores em seu interior, porém, observou-se que a disposição dos sensores dentro do recipiente é um fator crucial para a medição precisa das concentrações de gases presentes e para a análise de seus parâmetros.

Para definir qual posição obteria uma melhor coleta de dados dentro do pote foi analisado um biogás proveniente de um biodigestor com substrato de dejeto bovino, através disso, foram realizadas medições no sistema e comparados com instrumentos de medidas convencionais para que pudesse calibrar os sensores utilizados pela plataforma Arduino.

Os instrumentos utilizados foram um Kit Análise de Biogás® Alfakit para análise de biogás, que é capaz de medir as concentrações de metano e também dióxido de carbono de forma rápida e simples com resolução de 2,5% (ALFAKIT¹⁸, 2023). Além disso, foi utilizado para a calibração dos parâmetros do gás um termômetro digital GHT 1160 PHYWE® conectado por meio de um termopar com resolução de $\pm 0,1$ °C e para calibração da umidade relativa foi utilizado um termo-higrômetro HOMIS® do modelo HTH-426A com a resolução de $\pm 2\%$ UR (figura 23).

¹⁸ Informações disponíveis em: <https://alfakit.com.br/produto/kit-analise-de-biogas/>

Figura 23 - Instrumentos de Medidas Convencionais.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Para realizar as medições das concentrações dos gases presentes no biogás, assim como de seus parâmetros, seguimos uma metodologia específica, alinhada com as práticas recomendadas por (Souza; Kun, 2010), na qual utilizamos uma seringa de 10,0 ml e palha de aço para esse procedimento. No interior da seringa, foram inseridos 5 ml de palha de aço com o objetivo de realizar uma filtragem mecânica do gás sulfídrico, que é nocivo aos sensores (SOUZA; KUN, 2010).

Para efetuar a medição do biogás, coletamos 3,0 ml do gás proveniente do biodigestor e o injetamos nos módulos MMP e MMB. Esse processo foi crucial para garantir a qualidade das medições, especialmente ao lidar com o gás sulfídrico, protegendo assim a integridade dos sensores durante as análises.

4.5.2 Calibração dos sensores

Para a calibração dos sensores utilizados para a medição do biogás, foram colocados três sensores no interior do pote em diferentes posições, divididas em superior, mediana e inferior, com a distância de 6 cm entre eles (figura 24). Esse modelo foi repetido para o MQ135 e o MQ4, ambos tiveram potes diferentes para melhor acurácia dos dados. Esse mesmo modelo foi aplicado também para o DHT11, responsável pela medição da temperatura e da umidade relativa.

Figura 24 - Disposição dos sensores no pote.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

4.5.2.1 Calibração do MQ135

Inicialmente, para análise, o MQ135 foi conectado ao Arduino Uno somente pela porta de alimentação 5 V e GND por 24 h, com o objetivo de aquecer a sua resistência interna (R_0), conforme recomendações do *datasheet* do sensor. Após esse período realizou-se a leitura do R_0 do sensor em ambiente. Esse procedimento foi empregado com a finalidade de calibrar o sensor e permitir a sua utilização adequada para obtenção correta da concentração do dióxido de carbono.

4.5.2.2 Calibração do MQ4

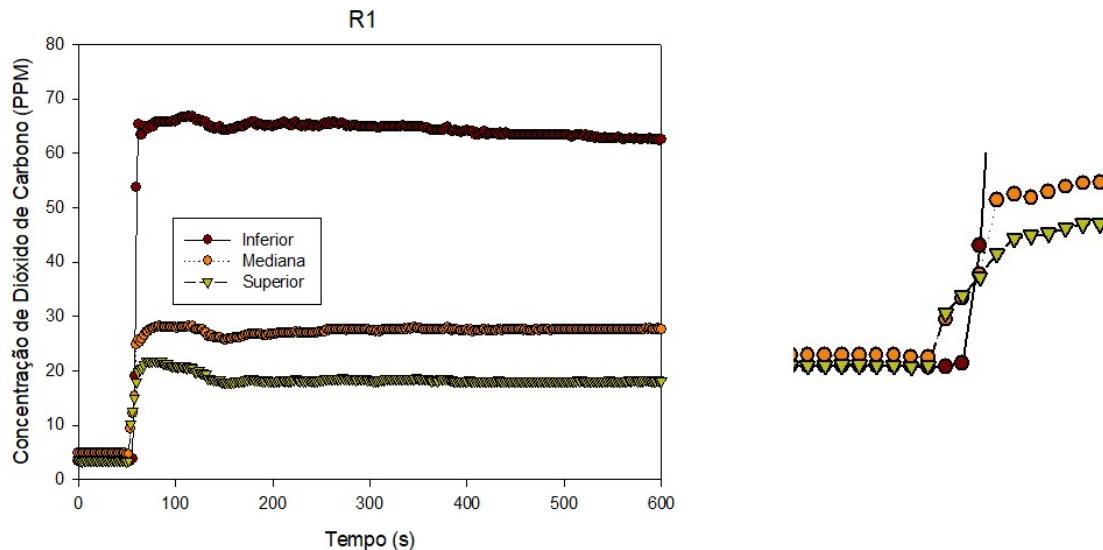
Assim como no caso do sensor MQ135, o MQ4 foi inicialmente conectado ao Arduíno Uno apenas pela porta de alimentação 5 V e GND. Em contraste com o MQ135, o MQ4 permaneceu conectado por 48 horas, visando aquecer a sua resistência interna (R_0), conforme recomendado pelo *datasheet* do sensor. Após esse período, foram realizados os mesmos procedimentos aplicados ao outro sensor, visando uma medição mais precisa do gás metano.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 RESULTADOS DIÓXIDO DE CARBONO

Por meio do MMB foi quantificado a concentração de CO₂, nota-se que os três sensores MQ135 captam o gás logo após o tempo de 1 minuto estabelecido, momento em que foi introduzido (gráfico 4a). Observou-se que inicialmente tem-se uma diferença mínima da captação dos sensores, isso acontece pois como os sensores estão em posições diferentes dentro do pote, o sensor superior, que se encontra mais perto da tampa, acaba captando o gás antes dos demais (gráfico 4b).

Gráfico 4 - a) Gráfico da concentração de CO₂ pelo tempo, b) Aproximação dos estágios iniciais da análise.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

Observou-se também que, independentemente da posição dos sensores, todos tiveram o mesmo comportamento em relação à sua curva. Logo após a injeção de gás, os sensores captaram a concentração de gás crescente, até atingir o ponto de saturação no interior do pote (gráfico 4a). Esse comportamento demonstrou que a vedação do pote estava satisfatória em todos os casos, pois não ocorreu queda abrupta durante 10 minutos.

A partir do gráfico foi possível perceber que a produção de CO₂ em função do tempo de mensuração apresentou o mesmo comportamento, com uma crescente curva até saturar e estabilizar numa concentração. Além disso, foi constatado que ao final do processo o sensor localizado na parte inferior apresentou maior concentração de CO₂ do que as demais posições (mediana e superior) (gráfico 4a) e que ao comparar os resultados de CO₂ coletados pelo MQ135 com os dados dos aparelhos convencionais usados, observou-se que o sensor mediano obteve resultados mais próximos aos do Alfakit, que teve 25% de concentração de CO₂.

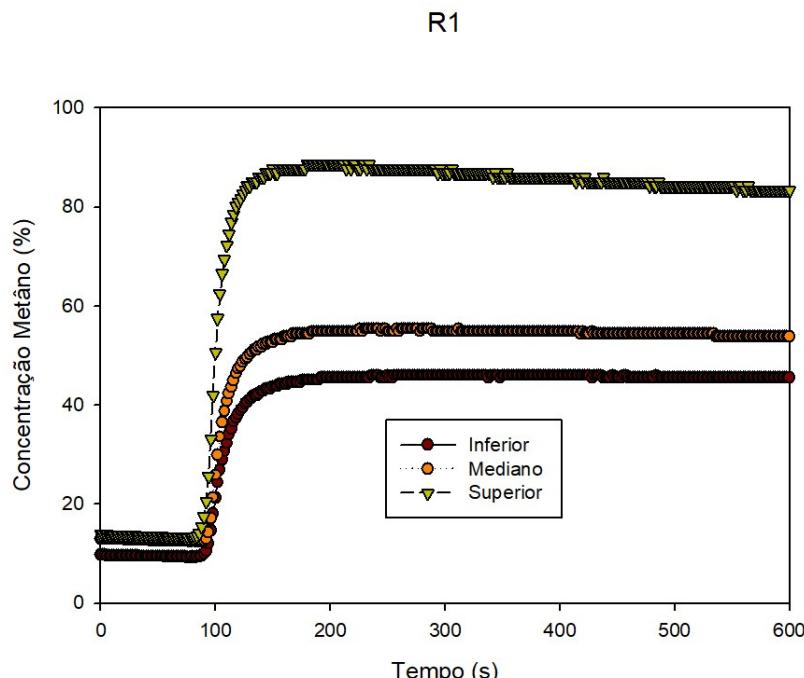
5.2 RESULTADOS METANO

Por meio do MMB, a concentração de CH₄ foi quantificada. Observa-se um comportamento semelhante à captação de CO₂, onde os três sensores MQ4 detectam o gás logo após a sua injeção. Outro comportamento semelhante foi o sensor superior captar o gás primeiro que os demais, como explicado, isso ocorre porque os sensores estão posicionados de maneira

diferente dentro do pote, o que acarreta o sensor na posição superior perceber o gás antes dos demais.

O comportamento geral do sensor MQ4 (gráfico 5) para a medição de metano assemelha-se ao encontrado pelo sensor MQ135 para o dióxido de carbono (figura 4a). Apesar da proximidade das curvas obtidas, nota-se uma concentração maior no sensor superior, um resultado que difere das medições de CO₂, onde a concentração estava maior no sensor inferior.

Gráfico 5 - Concentração de Metano por tempo.



Fonte: Acervo do autor, 2023.

É importante salientar que ao comparar os resultados de CH₄ coletados pelo MQ4 com os dados dos aparelhos convencionais usados, observou-se

que o sensor superior obteve resultados mais próximos aos do método convencional, que para esta proporção obteve 75% de concentração de CH₄.

5.3 RESULTADOS TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA

Na análise da temperatura utilizando o DHT11, observou-se um baixo desvio padrão (DP) entre as triplicatas, indicando homogeneidade no conjunto de dados. Os valores médios de temperatura obtidos pelo ‘Sensor de Aquisição e Análise de Dados’ (SAAD) foram inferiores aos obtidos pelo ‘Sensor de Aquisição de Dados Convencional’ (SACD), devido ao isolamento térmico proporcionado pelo ‘Material de Mudança de Fase’ (MMP) no SAAD.

Em relação à posição dos sensores (inferior, mediana e superior) no interior do pote, não foram verificadas diferenças significativas entre si e nem relativamente ao método convencional, conforme mostra a tabela abaixo (Tabela 1). Isso representa uma forte evidência de que é possível utilizar o SAAD de forma eficaz para monitorar a temperatura do biogás.

	Biodigestor	1		2		3	
	Posição	Média (° C)	Desvio Padrão	Média (° C)	Desvio Padrão	Média (° C)	Desvio Padrão
SAAD	Inferior	27,33	0,58	26,46	0,5	27,66	0,57
	Mediana	27,6	1,04	26,65	0,57	27,33	0,58
	Superior	28,3	0,61	26,33	0,58	27,74	0,46
Média ± DP		27,58	0,22	26,48	0,16	27,74	0,50
SADC		30,0		29,0		29,2	

Tabela 1 - Média e Desvio Padrão da Temperatura no SAAD do Biodigestor Anaeróbio.

Fonte: Acervo do autor, 2023.

Já para umidade relativa do biogás pelo MMP (tabela 2), percebe-se que os valores de umidade relativa são diferentes em relação às posições. Na posição inferior foi obtido um valor médio de umidade relativa menor e um desvio padrão mais alto, em contraste a posição superior na qual foi obtida uma umidade relativa maior com um baixo desvio padrão.

	BD	0		1		2		3	
	Posição	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
SAAD	Inferior	48,90	*	14,61	1,59	6,67	0,57	14,96	2,70
	Mediano	56,26	*	48,61	0,68	39,80	0,31	49,00	2,64
	Superior	64,00	*	57,86	0,77	50,26	0,46	58,66	2,36
SACD		57,08	0,45						

Tabela 2 - Média e Desvio Padrão da Umidade Relativa no SAAD do Biodigestor Anaeróbio.

Fonte: Acervo do autor (2023)

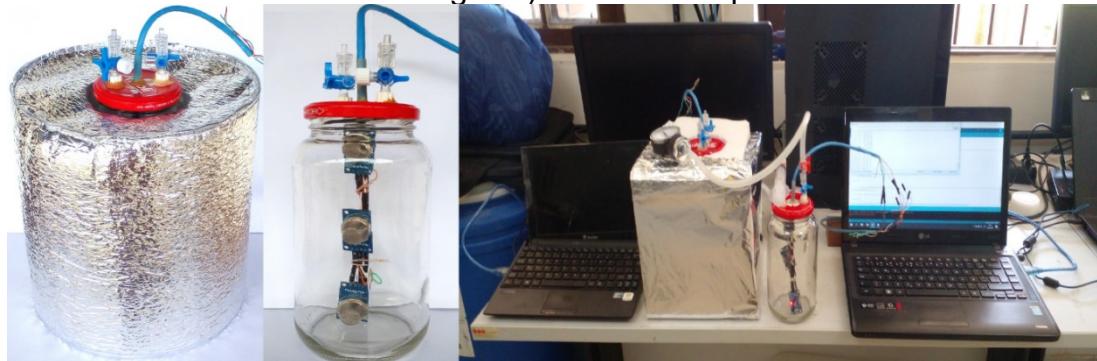
A validação do Sensor de Aquisição de Dados Convencional (SACD) foi possível apenas para a posição BD0, pois havia biogás suficiente no

gasômetro para a detecção pelo termo-higrômetro. Ao comparar os resultados de umidade relativa obtidos pelo DHT11 com os instrumentos convencionais, observou-se que o valor médio de umidade relativa coletado foi próximo ao valor da posição mediana coletada pelo Material de Mudança de Fase (MMP).

5.4 AVALIAÇÃO DO BIOGÁS

Com o sistema criado (figura 25) e devidamente montado foi possível medir as concentrações de CO₂ e CH₄, além de estabelecer parâmetros básicos como temperatura e umidade relativa presente para avaliação, principalmente, calorífica do biogás.

Figura 25 - a) Módulos de Monitoramento de Parâmetros b) Módulo de Monitoramento do Biogás c) Sistema completo montado.



Fonte: Acervo do autor (2023)

5.5 COMPARAÇÃO COM RESULTADOS DA LITERATURA

Como podemos notar, o sistema criado (figura 25) utilizando componente de baixo custo, além de ser acessível a todos, é uma ferramenta poderosa para trabalhar diversos assuntos em sala de aula, mostrando para os alunos o real funcionamento de um biodigestor anaeróbio e, principalmente, mostrar através de sensores, o que realmente está acontecendo no seu interior.

O biogás proveniente da digestão anaeróbia passa por diversos processos biológicos, físicos e químicos, até que chegue a produção do gás metano utilizado (MILANEZ, 2021). Em geral, a porcentagem de produção de metano, dadas as condições mínimas, varia de 60 a 80%, enquanto o dióxido de carbono oscila entre 35 a 40% e o restante, que em sua maioria é aproximadamente 5% é formado por outros gases presentes (MEDEIROS, 2017).

Nota-se que esta proporção dos gases foi encontrada de maneira satisfatória para o módulo criado, o que mostra como esse sistema pode ser usado de maneira didática para apresentar os processos encontrados na digestão anaeróbia, enfatizando a importância de trabalhar com os alunos, como ocorre todos os processos, além de, elaborar como os parâmetros influenciam na produção de metano.

5.6 PROPOSTA DE PLANO DE AULA PARA UTILIZAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

A experimentação é uma ferramenta crucial, pois permite a abordagem de uma variedade de assuntos e integrando conhecimentos adquiridos em disciplinas anteriores. Através da investigação científica, os alunos se sentem mais envolvidos com os temas abordados.

Uma maneira eficaz de introduzir a experiência mencionada anteriormente nas escolas do ensino básico, através de projetos de extensões promovidos pelas universidades, e superior é por meio de aulas experimentais. Nessas aulas, o foco é analisar os fenômenos presentes, examinar as etapas da biodigestão anaeróbia e explicar os motivos por trás de cada etapa. Além disso, é fundamental destacar como esses processos são importantes para o meio ambiente e conforme aplicados no cotidiano.

Para auxiliar os professores que utilizarão esse produto educacional, foi desenvolvido um conjunto de etapas que serão apresentadas no plano de aula a seguir. Esse plano busca proporcionar uma orientação clara sobre como conduzir as aulas experimentais, destacando os pontos-chave da biodigestão anaeróbia e incentivando a compreensão prática dos conceitos abordados.

Título da Aula: Explorando a Física do Biodigestor Anaeróbio com Sensores de Baixo Custo

Objetivos:

- ➔ Compreender o funcionamento de sensores de baixo custo (MQ135, MQ4, DHT11) na medição de gases, temperatura e umidade relativa;
- ➔ Analisar dados experimentais para identificar padrões nos níveis de CO₂ e CH₄ ao longo do tempo;
- ➔ Discutir a importância da calibração de sensores para garantir medições precisas;
- ➔ Relacionar os resultados experimentais com os processos biológicos, físicos e químicos envolvidos na produção de biogás.
- ➔ Discutir assuntos relacionados com a questão ambiental e as energias renováveis.
- ➔ Estimular o pensamento crítico e a pesquisa científica sobre o tema.

Materiais:

- ➔ Biogestor anaeróbio de bancada modelo indiano;
- ➔ Sensores (MQ135, MQ4, DHT11)
- ➔ Arduino Uno ou outro microcontrolador
- ➔ Computador para análise de dados
- ➔ Softwares para construção de tabelas e gráficos do experimento

Etapas da Aula:

- ➔ Contextualização: Explique o contexto da aula, destacando a importância da física experimental na compreensão prática de

fenômenos ambientais, como a produção de biogás. Aborde os seguintes tópicos: ‘a importância da energia para a realização das atividades cotidianas’, ‘as fontes de energia renovável e não renováveis’ e o ‘elo entre as fontes de energia renovável e a sustentabilidade ambiental’;

- ➔ Atividade Prática: Demonstre o uso prático dos sensores conectados a um Arduino para medição de gases, temperatura e umidade relativa. Permita que os alunos experimentem com os sensores, observem as leituras e compreendam o processo de calibração;
- ➔ Análise de Dados: Mostre os gráficos e as tabelas do experimento apresentado no texto. Solicite que os alunos identifiquem padrões e façam comparações entre os diferentes sensores;
- ➔ Conclusão e Discussão: Relacione os resultados com conceitos físicos e biológicos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade de ampliação dos temas no curso de licenciatura em Física é crucial para proporcionar aos futuros professores uma base mais abrangente e atualizada. A inserção de tópicos contemporâneos, como energias renováveis, tecnologias sustentáveis e aplicações práticas de conceitos físicos na sociedade, pode enriquecer a formação acadêmica dos licenciandos. Dessa forma, os professores em formação estarão melhor preparados para transmitir não apenas os princípios fundamentais da física, mas também a sua relevância no contexto do mundo atual, tornando as aulas mais atrativas e significativas para os estudantes.

É importante que as instituições que possuem cursos de licenciatura compreendam que, atualmente, a falta de contextualização sobre questões ambientais nas disciplinas de física representa uma lacuna significativa na formação. Isso é especialmente relevante, dado que a crise ambiental global exige uma compreensão sólida dos impactos da física no meio ambiente e vice-versa. Integrar abordagens que relacionem os conceitos físicos às questões ambientais pode despertar maior interesse nos alunos, destacando a importância da física como ferramenta para compreender e abordar desafios ambientais urgentes. Essa contextualização não apenas enriquece o currículo, mas também prepara os estudantes para enfrentar problemas interdisciplinares no futuro.

Além disso, alguns pontos podem ser destacados do trabalho desenvolvido e da pesquisa realizada:

- ➔ Os resultados encontrados no experimento fornecem *insights* valiosos para a compreensão dos fenômenos investigados e podem contribuir substancialmente no processo de aprendizagem dos estudantes;
- ➔ Como foi visto, o tema meio ambiente é necessário ser discutido de maneira mais ampla no curso de licenciatura em Física, tendo em vista a importância deste tema que é amplamente abordado nas escolas do Ensino Básico, conforme prevê a BNCC. Além disso, é uma peça chave na formação cidadã dos alunos e dos futuros professores. Através da análise feita no Projeto Político Pedagógico (PPP) do curso de licenciatura em Física, percebe-se a falta de contextualização sobre as questões ambientais nas disciplinas do curso, preocupando-se somente na abordagem não contextualizada dos assuntos trabalhados;
- ➔ Através da sequência didática apresentada nesta monografia, temos um produto educacional facilmente adaptável, que pode ser utilizado em escolas de ensino básico por meio de projetos de extensão organizados pelas universidades. Além disso, esse recurso pode ser aplicado no ensino superior, com potencial para abordar diversos temas integrados, especialmente no âmbito das Ciências da Natureza e suas Tecnologias. É importante ressaltar que, no ensino básico, há perspectivas de apresentar aos alunos os desafios relacionados à coleta e ao destino adequado dos resíduos produzidos pela sociedade. Assim, pode ser de

grande valia mostrar como as pesquisas científicas desenvolvidas atualmente e as possíveis aplicações tecnológicas, como a geração de energia elétrica através dos biodigestores anaeróbios, permitem o reaproveitamento desses resíduos. Já no ensino superior, especialmente nos cursos de licenciatura, existe a possibilidade de agregar valor à formação do futuro docente ao permitir um olhar integrado dos processos e conectar os princípios científicos à aplicação tecnológica;

→ Sugere-se a alteração do nome da disciplina de "Estrutura da Matéria" para "Física Moderna e Contemporânea Experimental" ou a criação de uma disciplina específica sobre "Instrumentação Científica em Física", com o intuito de atender às demandas atuais. No caso da criação de uma disciplina específica sobre instrumentação científica, ela pode oferecer aos estudantes uma compreensão mais profunda das ferramentas e técnicas essenciais na prática científica, preparando-os para desafios mais complexos e contemporâneos no campo da física experimental.

Por fim, conclui-se que, dada a carência de recursos didáticos que se propõem a trabalhar o uso dos biodigestores anaeróbios e, consequentemente, o biogás como fonte de geração de energia elétrica, esta monografia mostra como é possível utilizar um sistema de baixo custo e acessível capaz de monitorar e mostrar para os alunos como ocorre o processo da digestão anaeróbia. Isso traz a possibilidade de integração de diversas disciplinas na sua explicação, em consonância com o que prega a BNCC e os ODS.

7 REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2023, Sistema de Informação de Geração da ANEEL: SIGA. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/siga>. Acesso em junho de 2023.

ALVES, T. Produção de energia elétrica renovável no Brasil é o triplo da mundial. Agência Brasil, 2022. Disponível em: <https://is.gd/TMXRYP>. Acesso em: 1 junho 2023.

AMABIS, J. M. et al. Moderna plus: ciências da natureza e suas tecnologias: matéria e energia. 1^a ed. São Paulo: Moderna, 2020.

ANDERSON, D. et al. The impacts of ‘run-of-river’ hydropower on the physical and ecological condition of rivers. Water and Environment Journal, v. 29, n. 2, 2015, p. 268-276.

BRASIL, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética Plano Nacional de Energia 2050. Brasília: MME/EPE, 2020.

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

CANALES, F. A.; BELUCO, A.; MENDES, C. A. B., Usinas hidrelétricas reversíveis no Brasil e no mundo: aplicação e perspectivas. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1230-1249, 2015.

CARDOSO, E. M. Apostila Educativa A Energia Nuclear: Aprendendo com o nuclídeo. 3^a ed. Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2012.

CCF - Coordenação do Curso de Física. Projeto Pedagógico: Curso de Licenciatura/Bacharelado em Física na modalidade presencial. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2023.

COBURN, T. C.; FARHAR, B. C. Public Reaction to Renewable Energy Sources and Systems. Em: CLEVELAND, C. J. (Ed.). Encyclopedia of Energy. New York: Elsevier, 2004. p. 207–222.

DATASHEET ARDUINO. Arduino Uno R3, 2023. Disponível em: <https://is.gd/ophfNA>. Acesso em: nov. 2023.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M. et al. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada.. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 4., 2002, Campinas. Disponível em: <https://is.gd/WEzxxB>. Acesso em: Out. 2023. Disponível em: <https://is.gd/qclMO1>, Acesso em: 31 mai. 2023.

EGÍDIO, A. et al. Thermal energy in Brazil, production and use. *Nature and Conservation*, v. 14, n. 2, p. 111-119, 2021.

EL BASSAM, N. Chapter Eight - Wind energy. Em: EL BASSAM, N. (Ed.). *Distributed Renewable Energies for Off-Grid Communities* (Second Edition). Boston: Elsevier, 2021. p. 149–163.

ELAOUZY, Y.; EL FADAR, A. Solar and Photovoltaics Energy Utilization and Sustainability. Em: *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier, 2023.

EPE (Empresa de Pesquisa Energética), Balanço Energético Nacional (BEN) 2022: Ano base 2021. Disponível em: <https://is.gd/POEHgw>. Acesso em ago.2023.

FLOSS, Mayara et al. Poluição do Ar: uma revisão de escopo para recomendações clínicas para a medicina de família e comunidade. *Revista Brasileira de Medicina de Família e Comunidade*, Rio de Janeiro, v. 17, n. 44, 2022. Disponível em: [https://doi.org/10.5712/rbmfc17\(44\)3038](https://doi.org/10.5712/rbmfc17(44)3038). Acesso em dez. 2023.

FUKUI, A.; MOLINA, M.; OLIVEIRA, V. S. Ser Protagonista: ciências da natureza e suas tecnologias: energia e transformações. 1^a ed. São Paulo: SM, 2020.

ITSKOS, G. et al. Chapter 6 - Energy and the Environment. Em: POULOPOULOS, S. G.; INGLEZAKIS, V. J. (Eds.). *Environment and Development*. Amsterdam: Elsevier, 2016. p. 363–452.

KAMRAN, M.; FAZAL, M. R. Chapter 1 - Fundamentals of renewable energy systems. Em: KAMRAN, M.; FAZAL, M. R. (Eds.). *Renewable Energy Conversion Systems*. Academic Press, 2021. p. 1–19.

KILLINGTVEIT, Å. 15 - Hydroelectric Power. Em: LETCHER, T. M. (Ed.). *Future Energy* (Third Edition). Elsevier, 2020. p. 315–330.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. do (ed.). Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 209 p.

LEITE NETO, P. B. et al. Exploração de energia maremotriz para geração de eletricidade: aspectos básicos e principais tendências. *Revista Chilena de Ingeniería*, v. 19, n. 2, p. 219-232, 2011.

MACHADO, G. B. Acetogênese na Biodegradação Anaeróbia, 2023. Disponível em: <https://is.gd/WFGLEG>, Acesso em: 20 nov. 2023.

MEDEIROS, R. F.; AMORIM, E. B.; GIROTTI, V. Transformação e obtenção do biogás metano por meio de biodigestores anaeróbios para geração de energia. *Revista Eletrônica de Graduação do UNIVEM*, v. 10, n. 1, p 339 - 353, 2017.

MELO, Camila Bonatto de. Viabilidade Técnica e Econômica de uma Unidade Geradora de Energia Elétrica a partir do Biogás proveniente de Dejetos Suínos de Pequenos Produtores Rurais da Região do Oeste do Paraná: Produção Centralizada x Produção Descentralizada de Biogás. Orientadora: Profª. Drª Andreia Cristina Furtado. 2023. 90. Dissertação de Mestrado - Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade, Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Foz do Iguaçu, 2023.

MENEZES, F. O. S.; GUIMARÃES, M. D. A. Os impactos socioambientais das fontes geradoras de energia alternativa nas comunidades do entorno dos parques eólicos da Serra da Babilônia e da Força Eólica do Brasil. *Revista Eletrônica do Mestrado em Educação Ambiental*, v. 39, n. 1, p. 328–349, 2022.

MILANEZ, A. Y.; MAIA, G. B. S.; GUIMARÃES, D. D. Biogás: evolução recente e potencial de uma nova fronteira de energia renovável para o Brasil = Biogas: recent evolution and potential of a new frontier for renewable energy in Brazil. *BNDES Setorial*, v. 27, n. 53, p. 177-213, 2021.

MORIN, E. A cabeça bem-feita: repensar a reforma, reformar o pensamento. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

NASCIMENTO, R. L. Aproveitamento da Energia dos Oceanos para Produção de Eletricidade. Estudo Técnico. Câmara dos Deputados, 2017.

NOGUEIRA, L. A. H. Energia : conceitos e fundamentos. In: MARQUES, M. C. S.; HADDAD, J.; MARTINS, A. R. S. (org.). Conservação de Energia: Eficiência Energética de Equipamentos e Instalações. 3^a ed. Itajubá: FUPAI, 2006. p. 13-41.

OLIVEIRA, R. J.; SANTOS, J. M. A energia e a química. Química Nova na Escola, v.xx, n. 8, p. 19-22, 1998.

PINTO, L. I. C.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. *Revista Ambiente & Água*, v. 12, n. 6, 2017.

PROENÇA, Cláudio Amaral; MACHADO, Gustavo Carvalhaes Xavier Martins Pontual. Biodigestores como tecnologia social para promoção de saúde: Estudo de caso para saneamento residencial em áreas periféricas. Revista Saúde em Redes, Rio de Janeiro, v. 4, n. 3, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18310/2446-4813.2018v4n3p87-99>. Acesso em dez. 2023.

RAKHECHA, P. Water Environment Management in India. Em: NRIAGU, J. (Ed.). Encyclopedia of Environmental Health (Second Edition). Oxford: Elsevier, 2019. p. 432–442.

SANTOS, Rafael dos. Estudo Sobre a Geração de Energia Elétrica com Águas Urbanas. Orientador: Prof. Dr. Eudes José Arantes. 2020. 66. Dissertação - Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2020.

SILVA, L. R. J. RODRIGUES; S., R. A.; OLIVEIRA, M. A. G. Análise Comparativa das Fontes de Energia Solar Fotovoltaica, Hidrelétrica e Termelétrica, com Levantamento de Custos Ambientais, Aplicada ao Distrito Federal. In Congresso Brasileiro de Energia Solar (CBENS), 8., 2018, Gramado. Anais, Gramado: Anais CBENS, 2018. Disponível em: <https://is.gd/ZjbEvh>. Acesso em: out. 2023.

SOUSA, C. A.; PINA, E. P. A lei de conservação da energia: aplicação ao rolamento com e sem deslizamento. Gazeta da Física, v. 22, n. 2, p. 10-15, 1999.

SOUZA, M. V. N.; KUN, A. Dispositivo Indicador de Troca de Filtro para Biogás (Embrapa Biogás TF-01). Comunicado Técnico, Concórdia, 478, Julho, 2010. Disponível em: <https://is.gd/2J7T56>. Acesso em: Out. 2023.

TORRES, Regina Célia. Energia solar fotovoltaica como fonte alternativa de geração de energia elétrica em edificações residenciais. Orientador: Prof. Tit. Paulo Seleg him Junior. 2012. 164. Dissertação de Mestrado em Térmica e Fluidos - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

UFRRJ - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Relação de Disciplinas por Instituto e por Departamento: Departamento de Física, 2010. Disponível em: <https://is.gd/sdGoij>, Acesso em: 20 nov. 2023.

UN - Nações Unidas. Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, 2015.

UN - Nações Unidas. Governos devem reduzir a produção de combustíveis fósseis em 6% ao ano para limitar aquecimento catastrófico, 2020. Disponível em: <https://is.gd/xz7UUq>, Acesso em: 31 mai. 2023.

VENUS, T. E. et al. The public's perception of run-of-the-river hydropower across Europe. *Energy Policy*, v. 140, 2020.

ZOHURI, B.; MCDANIEL, P. Chapter 7 - Electricity production and renewable source of energy, economics. Em: ZOHURI, B.; MCDANIEL, P. (Eds.). *Introduction to Energy Essentials*. Academic Press, 2021. p. 255–276.

Relatório do Software Anti-plágio CopySpider

Para mais detalhes sobre o CopySpider, acesse: <https://copyspider.com.br>

Instruções

Este relatório apresenta na próxima página uma tabela na qual cada linha associa o conteúdo do arquivo de entrada com um documento encontrado na internet (para "Busca em arquivos da internet") ou do arquivo de entrada com outro arquivo em seu computador (para "Pesquisa em arquivos locais"). A quantidade de termos comuns representa um fator utilizado no cálculo de Similaridade dos arquivos sendo comparados. Quanto maior a quantidade de termos comuns, maior a similaridade entre os arquivos. É importante destacar que o limite de 3% representa uma estatística de semelhança e não um "índice de plágio". Por exemplo, documentos que citam de forma direta (transcrição) outros documentos, podem ter uma similaridade maior do que 3% e ainda assim não podem ser caracterizados como plágio. Há sempre a necessidade do avaliador fazer uma análise para decidir se as semelhanças encontradas caracterizam ou não o problema de plágio ou mesmo de erro de formatação ou adequação às normas de referências bibliográficas. Para cada par de arquivos, apresenta-se uma comparação dos termos semelhantes, os quais aparecem em vermelho.

Veja também:

[Analizando o resultado do CopySpider](#)

[Qual o percentual aceitável para ser considerado plágio?](#)



Versão do CopySpider: 2.2.2

Relatório gerado por: lucasdasilva@gmail.com

Modo: web / normal

Arquivos	Termos comuns	Similaridade
Monografia Completa _ Lucas Rosa_vF_R2_signed.pdf X https://novaescola.org.br/planos-de-aula/fundamental/8ano/ciencias/geracao-de-energia-eletrica/2468	163	1,06
Monografia Completa _ Lucas Rosa_vF_R2_signed.pdf X https://brasilescola.uol.com.br/geografia/energia-das-mares.htm	117	0,74
Monografia Completa _ Lucas Rosa_vF_R2_signed.pdf X https://pt.wikipedia.org/wiki/Usina_hidrel%C3%A9trica	120	0,69
Monografia Completa _ Lucas Rosa_vF_R2_signed.pdf X https://www.prp.unicamp.br/inscricao-congresso/resumos/2022P20361A37516O2900.pdf	95	0,63
Monografia Completa _ Lucas Rosa_vF_R2_signed.pdf X https://www.ecycle.com.br/usina-hidreletrica	93	0,59
Monografia Completa _ Lucas Rosa_vF_R2_signed.pdf X https://pt.khanacademy.org/science/8-ano/fontes-de-energia/produzindo-energia-eletrica/v/usinas-hidrelectricas	85	0,57
Monografia Completa _ Lucas Rosa_vF_R2_signed.pdf X https://www.todamateria.com.br/usina-hidreletrica	50	0,36
Monografia Completa _ Lucas Rosa_vF_R2_signed.pdf X https://www.renovablesverdes.com.pt/tipos-de-hidrel%C3%A9tricas	45	0,31
Monografia Completa _ Lucas Rosa_vF_R2_signed.pdf X https://querobolsa.com.br/ufrj-universidade-federal-rural-do-rio-de-janeiro/campus/seropedica-rj	5	0,03

Arquivos com problema de download

https://www.procurarencontrar.com/article/definicao-unidade-nacional-98a81df1918b8916?utm_content=params%3Ao%3D1673072%26ad%3DdirN%26qo%3DserpIndex&utm_source=grs-expanded-v1&ueid=0031615c-92ff-4b43-a8fe-9bf6dbbc44dd

Não foi possível baixar o arquivo. É recomendável baixar o arquivo manualmente e realizar a análise em conluio (Um contra todos). - Erro: Parece que o documento não existe ou não pode ser acessado. HTTP response code: 403 - Server returned HTTP response code: 403 for URL: https://www.procurarencontrar.com/article/definicao-unidade-nacional-98a81df1918b8916?utm_content=params%3Ao%3D1673072%26ad%3DdirN%26qo%3DserpIndex&utm_source=grs-expanded-v1&ueid=0031615c-92ff-4b43-a8fe-9bf6dbbc44dd



https://www.encontrandorespostas.com/article/tres-indefinidos-termos-geometria-97a228aecbb80a75?utm_content=param%3Ao%3D1673074%26ad%3DdirN%26qo%3DserpIndex&utm_source=grs-expanded-v1&ueid=cc37531e-f826-457d-901c-822c7c97e0de

Não foi possível baixar o arquivo. É recomendável baixar o arquivo manualmente e realizar a análise em conluio (Um contra todos). - Erro: Parece que o documento não existe ou não pode ser acessado. HTTP response code: 403 - Server returned HTTP response code: 403 for URL: https://www.encontrandorespostas.com/article/tres-indefinidos-termos-geometria-97a228aecbb80a75?utm_content=param%3Ao%3D1673074%26ad%3DdirN%26qo%3DserpIndex&utm_source=grs-expanded-v1&ueid=cc37531e-f826-457d-901c-822c7c97e0de

<https://portal.ufrrj.br/campus-seropedica-da-ufrrj-ganha-mapa-virtual>

Não foi possível baixar o arquivo. É recomendável baixar o arquivo manualmente e realizar a análise em conluio (Um contra todos). - Index 30 out of bounds for length 30

Arquivos com problema de conversão

<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375090>

Não foi possível converter o arquivo. É recomendável converter o arquivo para texto manualmente e realizar a análise em conluio (Um contra todos).