

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física
Polo **ufscar** Sorocaba



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE

DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL DO
EFEITO ESTUFA NO ENSINO MÉDIO UTILIZANDO
INTERNET DAS COISAS**

RODRIGO FELIPE RAFFA

ORIENTADOR: PROF. DR. RENATO FERNANDES CANTÃO

COORIENTADOR: PROF. DR. ANTÔNIO AUGUSTO SOARES

Sorocaba - SP
Julho de 2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL DO EFEITO
ESTUFA NO ENSINO MÉDIO UTILIZANDO
INTERNET DAS COISAS**

RODRIGO FELIPE RAFFA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Processos de Ensino e Aprendizagem e Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física.

Orientador(a): Prof. Dr. Renato Fernandes Cantão.

Sorocaba - SP
Julho de 2024

RODRIGO FELIPE RAFFA

**UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL DO EFEITO ESTUFA NO ENSINO MÉDIO
UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Processos de Ensino e Aprendizagem e Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física.

Sorocaba, 27 de junho de 2024.

Orientador(a):

Prof. Dr. Renato Fernandes Cantão
UFSCAR

Examinador(a):

Profa. Dra. Maria Lúcia Pereira Antunes
UNESP

Examinador(a):

Prof. Dr. Marco Aurelio Euflauzino Maria
UFSCAR

Sorocaba - SP
Julho de 2024



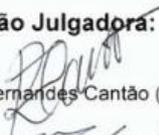
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

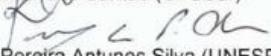
Centro de Ciências e Tecnologias Para a Sustentabilidade
Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Rodrigo Felipe Raffa, realizada em 05/09/2024.

Comissão Julgadora:


Prof. Dr. Renato Fernandes Cantão (UFSCar)


Profa. Dra. Maria Lúcia Pereira Antunes Silva (UNESP)


Prof. Dr. Marco Aurélio Euflauzino Maria (FACENS)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

Raffa, Rodrigo Felipe

Uma abordagem experimental do efeito estufa no ensino médio utilizando internet das coisas / Rodrigo Felipe Raffa -- 2024.
178f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Renato Fernandes Cantão
Banca Examinadora: Maria Lúcia Pereira Antunes,
Marco Aurelio Euflauzino Maria
Bibliografia

1. Ensino de física. 2. Internet das coisas. 3. Efeito estufa. I. Raffa, Rodrigo Felipe. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(Sin)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979

DEDICATÓRIA

À minha esposa Izabela, com amor e gratidão. Como Einstein disse: “A vida é como andar de bicicleta. Para manter o equilíbrio, você deve se mover”. Sua força, apoio e amor foram minha força motriz para continuar seguindo em frente e completar esta jornada. Obrigado por segurar minha mão e andar comigo em mais uma etapa concluída.

AGRADECIMENTO

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) durante todo o período de formação.

Aos meus pais Wilson e Sandra, cujo amor incondicional e apoio incansável guiaram minha jornada acadêmica, espero retribuir com orgulho, carinho e gratidão tudo o que fizeram e continuam fazendo por mim. Ao meu querido irmão Ricardo, que me auxiliou na construção do protótipo desse produto educacional.

Expresso minha sincera gratidão ao SESI Itapetininga pela organização escolar que viabilizou minha participação nas aulas e atividades do programa de pós-graduação. É com orgulho que digo que fui aluno desta instituição e que agora sou professor, compartilhando conhecimento com meus estudantes com paixão pelo ensino e pela ciência.

Aos meus colegas de turma, que tornaram essa caminhada mais emocionante e produtiva ao compartilharem suas experiências. Levarei cada um de vocês para toda a vida.

“Construímos muros demais e pontes de menos.”

Isaac Newton

RESUMO

RAFFA, Rodrigo Felipe Raffa. Uma abordagem experimental do efeito estufa no ensino médio utilizando internet das coisas. 2024. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba, 2024.

Este trabalho tem como objetivo principal propor uma atividade experimental de baixo custo, utilizando a tecnologia da Internet das Coisas (IoT), para abordar o efeito estufa no ensino de Física. O estudo visa desenvolver habilidades e competências científicas e tecnológicas em alunos do ensino médio, em consonância com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). A metodologia proposta emprega o microcontrolador ESP32 como ferramenta para a coleta de dados sobre o efeito estufa, visando fomentar a compreensão e a reflexão acerca das causas e consequências desse fenômeno, além de estimular a formação de uma consciência ambiental crítica e responsável. A teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel serve como referencial de ensino deste produto educacional. Essa abordagem pedagógica permite que novos conhecimentos sejam construídos sobre a base do conhecimento prévio dos alunos, tornando o conteúdo relevante e engajador. A atividade experimental proposta integra teoria e prática, proporcionando aos estudantes uma experiência de aprendizagem interativa e aplicável ao cotidiano. A utilização do ESP32 possibilita a criação de um sistema de monitoramento em tempo real das variáveis envolvidas no efeito estufa, com foco na temperatura. Dessa forma, os alunos podem visualizar e analisar os dados coletados, compreendendo de forma mais concreta os impactos do efeito estufa. O desenvolvimento da atividade experimental foi orientado pela necessidade de atender às diretrizes da BNCC, que enfatiza a importância da educação científica e tecnológica no ensino médio. A abordagem proposta busca desenvolver habilidades práticas e estimular o pensamento crítico dos alunos. A integração da IoT no ensino de Física permite a criação de ambientes de aprendizagem mais dinâmicos, nos quais os alunos podem explorar conceitos científicos de maneira prática e contextualizada. A utilização de tecnologias emergentes, como o ESP32, contribui para a formação de uma educação mais alinhada com as demandas contemporâneas e com as necessidades de uma sociedade cada vez mais tecnológica. Os resultados incluíram a melhoria do entendimento dos alunos sobre os conceitos científicos relacionados ao efeito estufa e o aumento do engajamento nas questões de sustentabilidade. A dissertação conclui que a implementação de atividades experimentais baseadas na IoT pode

contribuir significativamente para a educação científica no ensino médio, preparando os alunos para enfrentar os desafios ambientais e tecnológicos do futuro.

Palavras-chave: Efeito estufa. Internet das Coisas. Ensino médio. ESP32.

ABSTRACT

This work aims to propose a low-cost experimental activity using Internet of Things (IoT) technology to address the greenhouse effect in Physics education. The study seeks to develop scientific and technological skills and competencies in high school students, in accordance with the National Common Curricular Base (BNCC). The proposed methodology uses the ESP32 microcontroller as a tool for data collection on the greenhouse effect, aiming to foster understanding and reflection on the causes and consequences of this phenomenon, as well as to stimulate the formation of a critical and responsible environmental awareness. The proposed experimental activity integrates theory and practice, allowing students to have an interactive and applicable learning experience in their daily lives. The use of the ESP32 enables the creation of a real-time monitoring system of the variables involved in the greenhouse effect, focusing on temperature. With this, students can visualize and analyze the collected data, understanding more concretely the impacts of the greenhouse effect. The development of the experimental activity was guided by the need to meet the BNCC guidelines, which emphasize the importance of scientific and technological education in high school. The proposed approach seeks to develop practical skills and stimulate critical thinking in students. The integration of IoT in Physics education allows the creation of more dynamic learning environments, where students can explore scientific concepts in a practical and contextualized manner. The use of emerging technologies, such as the ESP32, contributes to the formation of an education more connected with contemporary demands and the needs of an increasingly technological society. The expected results include improving students' understanding of scientific concepts related to the greenhouse effect and increasing engagement in sustainability issues. The proposed experimental activity aims to demonstrate that it is possible to teach Science in an innovative and effective way, using accessible and low-cost technological resources. The dissertation concludes that the implementation of experimental activities based on IoT can significantly contribute to scientific education in high school, preparing students to face environmental and technological challenges of the future.

Keywords: Greenhouse effect. Internet of Things. High school. ESP32.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1 - A nova informação a é a assimilada por um subsunçor existente A 12
- Figura 3.1 - Diagrama Hertzsprung-Russell (H-R) classificando as estrelas como uma relação existente entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura superficial. 24
- Figura 3.2 - Imagem composta do Observatório Dinâmico Solar da NASA que mostra diferentes fatias do Sol vistas em diferentes comprimentos de onda..... 26
- Figura 3.3 - Irradiância espectral de comprimento de ondas no espectro solar. A área sombreada em vermelho mostra a irradiância ao nível do mar. Há menos irradiância ao nível do mar devido à absorção de luz pela atmosfera..... 27
- Figura 3.4 - Representação de uma onda eletromagnética com origem no Sol e se propagando no espaço. Os campos magnéticos e elétricos oscilam perpendiculares entre si e com relação à velocidade de propagação c 28
- Figura 3.5 - Espectro eletromagnético em função do comprimento de onda, desde as longas ondas de rádio até a radiação gama. A radiação térmica contempla todo o espectro visível, toda radiação infravermelha e uma fração da radiação ultravioleta. 29
- Figura 3.6 - Ilustração sem escala das distâncias dos planetas telúricos com relação ao Sol, contendo suas distâncias em UA e radiação interceptada. 36
- Figura 3.7 - O albedo é porção de radiação incidente que não é absorvida pela Terra, sendo refletida de volta para o espaço. 37
- Figura 3.8 - A área de secção transversal do planeta que absorve a radiação solar é definida por $A=\pi R^2$, pois apenas a face voltada para o Sol recebe a radiação, enquanto em (b) a emissão da radiação infravermelha é dada pela área total da esfera $A=4\pi R^2$, pois toda a superfície irá “reemitir” a radiação absorvida na temperatura efetiva da superfície terrestre. 40
- Figura 3.9 - Sem a atmosfera, a superfície absorve a radiação solar e reemite após atingir sua temperatura de equilíbrio de forma direta. 41
- Figura 3.10 - Em uma atmosfera simples, a energia reemitida pela superfície é devolvida para o meio interagindo novamente com a superfície, portanto, aquecendo mais..... 42
- Figura 4.1 - Arduino UNO. 47
- Figura 4.2 - O diagrama detalhado mostra a pinagem da placa de desenvolvimento ESP32 DevKitC V4, que utiliza o módulo ESP32-WROOM-32. A placa possui 34 pinos GPIO que podem ser usados para diversos fins, como entrada e saída digital, comunicação serial, PWM, ADC (conversores de sinais analógico para digitais) e DAC (conversores de sinais digitais para analógicos). 49
- Figura 4.3 - Módulo sensor DHT11 50

Figura 4.4 - Esquema de conexão do ESP32 com os sensores DHT. Um dentro da estufa (direita) e outro fora da estufa (esquerda).	51
Figura 4.5 - Placa adaptadora Expansão com borne ESP32.....	52
Figura 4.6 - Cabo flexível de 3 vias.....	53
Figura 4.7 - Aparato construído pelo autor.....	53
Figura 4.8 - Visão detalhada dos conectores acoplados tanto à base quanto ao sensor, projetados para simplificar o processo de conexão.....	54
Figura 4.9 - Interface desenvolvida em JavaScript e HTML para visualização dos dados de temperatura e do gráfico em função do tempo. A linha azul do gráfico representa a temperatura dentro da estufa, enquanto a vermelha é a temperatura medida fora da estufa.....	58
Figura 5.1 - Alunos realizando o Pré-Teste no Laboratório de Informática Educacional da Escola.	62
Figura 5.2 - O aparato mais simples pode ser montado utilizando uma protoboard, um sensor localizado fora da estufa e um outro sensor inserido em um frasco de vidro com um orifício previamente feito em sua tampa.	63
Figura 5.3 - Os alunos construíram os seus aparatos em grupo, seguindo um roteiro de montagem com o auxílio do professor.	64
Figura 5.4 - Alunos instruídos a prepararem o experimento em um ambiente ensolarado para a coleta de dados do experimento durante a atividade.....	65
Figura 5.5 – Alunos coletando os dados do experimento em um notebook.....	66
Figura 5.6 - O professor coordenando a discussão.....	67
Figura 5.7 - Sistematização dos resultados obtidos e comunicação das suas descobertas através de apresentações com slides em grupo.....	68
Figura 5.8 – Respostas dos estudantes na questão 3 do questionário.....	74
Figura 5.9 - Respostas dos estudantes na questão 4 do questionário	75
Figura 5.10 - Respostas dos estudantes na questão 5 do questionário.	76
Figura 5.11 – Respostas dos estudantes na questão 6 do questionário.....	77
Figura 5.12 - Respostas dos estudantes na questão 8 do questionário.	79
Figura 5.13 - Respostas dos estudantes na questão 9 do questionário.	80
Figura 5.14 - Respostas dos estudantes na questão 10 do questionário.	81
Figura 5.15 - Comparação das respostas certas dos estudantes no Pré-Teste e no Pós-Teste..	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Relação entre a distância média do Sol para os planetas e o fluxo de energia correspondente.	36
Tabela 5.1 - Correção das 10 questões presentes no Pré-Teste	89
Tabela 5.2 - Correção das questões do Pós-Teste.	90

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IoT – *Internet of Things*

MNPEF – *Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física*

BNCC – *Base Nacional Comum Curricular*

PNE – *Plano Nacional de Educação*

LDB – *Lei das Diretrizes e Bases da Educação Nacional*

DCN – *Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica*

TDIC – *Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação*

AAPT – *American Association Of Physics Teacher*

RFID – *Radio Frequency Identification*

PWM – *Pulse Width Modulation*

NMC – *New Media Consortium*

GPIO – *General Purpose Input/Output*

CSV – *Comma separated vallues*

GEE – *Gases do Efeito Estufa*

SDO – *Solar Dynamics Observatory*

HTML – *HyperText Markup Language*

UA – *Unidade Astronômica*

IDE – *Integrated Development Environment*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	4
1.1.1 Objetivo geral.....	4
1.1.2 Objetivos específicos.....	4
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	5
CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO DE ENSINO	6
2.1 A BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR (BNCC) E AS HABILIDADES E COMPETÊNCIAS NAS CIÊNCIAS DA NATUREZA.....	6
2.2 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL	9
2.2.1 Os subsunçores.....	10
2.2.2 Organizadores prévios	11
2.2.3 A assimilação segundo Ausubel.....	11
2.2.4 Material potencialmente significativo.....	12
2.3 EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA	13
2.4 AS TECNOLOGIAS DIGITAIS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TDICS) NO ENSINO DE FÍSICA	15
2.4.1 Internet das Coisas	17
2.5 UMA REVISÃO DA LITERATURA NO CONTEXTO DO MNPEF	18
2.5.1 O uso de Arduino no ensino de Física.....	19
2.5.2 O smartphone como ferramenta de ensino de Física	20
2.5.3 A utilização de simuladores e experimentos de baixo custo	21
CAPÍTULO 3 - A FÍSICA DO EFEITO ESTUFA	22
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE O EFEITO ESTUFA	22
3.2 O SOL.....	23
3.2.1 Fusão do hidrogênio: sequência principal.....	25
3.3 RADIAÇÃO	27
3.3.1 Ondas eletromagnéticas	28
3.3.2 Espectro eletromagnético.....	29
3.4 RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO E A DISTRIBUIÇÃO DE PLANCK	30

3.5 LEI DE STEFAN-BOLTZMANN	32
3.6 RADIAÇÃO SOLAR, BALANÇO DE ENERGIA E EFEITO ESTUFA	35
3.6.1 Albedo	37
3.6.2 Balanço de energia para um planeta sem atmosfera.....	38
3.6.3 O efeito estufa	41
3.7 GASES DO EFEITO ESTUFA	43
CAPÍTULO 4 - O PRODUTO EDUCACIONAL.....	46
4.1 ARDUINO E ESP32	47
4.2 SENSOR DHT11.....	50
4.3 CONSTRUÇÃO DO APARATO	51
4.4 PROGRAMAÇÃO	54
CAPÍTULO 5 - APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	59
5.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	59
5.2 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DO PRODUTO.....	60
5.2.1 Aplicação do Pré-Teste.....	61
5.2.2 Construção e programação do aparato experimental.....	62
5.2.3 Coleta de dados	64
5.2.4 Análise de Dados.....	66
5.2.5 Apresentação Oral com Slides.....	67
5.2.6 Aplicação do Pós-teste	69
5.3 RESPOSTAS DOS ALUNOS NA APLICAÇÃO DO PRÉ-TESTE.....	69
5.4 RESPOSTAS DOS ALUNOS NA APLICAÇÃO DO PÓS-TESTE.....	82
5.5 COMPARATIVO DAS RESPOSTAS DO PRÉ E PÓS TESTE.....	89
CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
REFERÊNCIAS	97
APÊNDICE A	101
APÊNDICE B.....	138
APÊNDICE C	140
APÊNDICE D	149
ANEXO A.....	152

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

A Física, enquanto ciência fundamental, possui um vasto potencial de contribuição para o desenvolvimento de tecnologias inovadoras e para a solução de problemas práticos em diversas áreas. Com o avanço da pesquisa em Física, tem sido possível obter uma compreensão mais aprofundada de diversos fenômenos, permitindo o aprimoramento de técnicas, instrumentos e a construção de novos conhecimentos.

Nesse sentido, a tecnologia desempenha um papel crucial para impulsionar esse avanço, seja na observação de fenômenos que antes eram inacessíveis, seja no desenvolvimento de dispositivos que aprimorem a coleta de dados.

A estreita relação entre Física e tecnologia é evidente, promovendo benefícios expressivos ao ensino. É cada vez mais comum que os estudantes, desde cedo, utilizem ferramentas tecnológicas como computadores, smartphones, internet e outros recursos eletrônicos em seu cotidiano.

Considerando esse cenário, a incorporação de tecnologias inovadoras no ensino de Física desempenha um papel crucial ao aproximar os estudantes dos avanços científicos e tecnológicos associados à disciplina. Essas abordagens proporcionam uma experiência de aprendizado mais significativa e relevante na compreensão de conceitos fundamentais, ao envolver os alunos em atividades experimentais.

Nessa direção, o entendimento da natureza da Ciência de um modo geral e da Física em especial constitui um elemento fundamental à formação da cidadania. De modo convergente a esse âmbito de preocupações, o uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de Física tem sido apontado por professores e alunos como uma das maneiras mais frutíferas de se minimizar as dificuldades de se aprender e de se ensinar Física de modo significativo e consistente (Araújo e Abib, 2003, p. 176).

No entanto, a implantação de laboratórios ou equipamentos experimentais dedicados exclusivamente aos fenômenos físicos pode ser um desafio devido ao alto custo envolvido. Professores e escolas frequentemente enfrentam dificuldades para obter recursos necessários para realizar atividades práticas (Souza et al., 2011). Diante disso, a popularização e a redução de custos de tecnologias como as plataformas de prototipagem Arduino e ESP32 podem facilitar essa prática. Essas ferramentas oferecem uma alternativa acessível e versátil para a realização de atividades experimentais, permitindo que professores e escolas superem as barreiras financeiras e proporcionem aos estudantes uma abordagem mais prática e envolvente no estudo da Física.

Embora o Arduino seja uma plataforma de prototipagem eletrônica amplamente utilizada e com muitos módulos e bibliotecas disponíveis, o ESP32, não tão popular quanto o Arduino, traz várias vantagens importantes em relação a este. Uma de suas principais vantagens é a capacidade de conexão sem fio integrada, suportando Wi-Fi e Bluetooth, o que torna a plataforma uma excelente escolha para projetos de Internet das Coisas (do inglês: *Internet of Things* - IoT); além disso, o ESP32 tem um processador de 32 bits mais potente que o do Arduino, permitindo a execução de tarefas mais complexas.

O Arduino também oferece uma versão de microcontrolador com Wi-Fi integrado, mas a um custo significativamente mais alto em comparação ao ESP32. Enquanto o ESP32 pode ser adquirido por valores entre 30 e 50 reais, o Arduino Nano 33 IoT, no Brasil, dificilmente é encontrado por menos de 300 reais.

A Internet das Coisas é uma tecnologia emergente que tem transformado a forma como interagimos com o mundo ao nosso redor. Por meio da conexão e comunicação entre objetos, sensores e dispositivos inteligentes via internet, a IoT pode ser inserida no ensino, possibilitando o aprimoramento na coleta de dados experimentais. Dessa forma, ao explorar a interconexão desses elementos, a IoT emerge como uma ferramenta valiosa, contribuindo para a obtenção de dados de maneira mais eficiente e ampliando as possibilidades de experimentação no contexto educacional. Ademais, segundo o relatório da *NMC Horizon Report* (Silva e Junior, 2018), a IoT tem sido considerada uma das ferramentas mais promissoras para a educação.

Utilizando novas tecnologias para realizar experimentos em sala de aula, como sensores de temperatura em vez de termômetros tradicionais, pode-se discutir questões relacionadas à dependência tecnológica, refletir sobre a importância de aprimorar a coleta de dados e aproximar o ambiente de aprendizado da realidade dos estudantes, que já vivem em um mundo altamente conectado.

A implementação de abordagens experimentais que envolvem a utilização do computador como ferramenta para aquisição de dados é uma opção viável e enriquecedora para a exploração e análise estatística de informações nas aulas de Física. O emprego de computadores e microcontroladores está cada vez mais integrado às práticas de ensino nessa disciplina, uma vez que os experimentos realizados por meio dessas tecnologias se revelam mais atrativos para os estudantes em comparação às aulas no formato tradicional (Castilho, Oliveira e Dutra, 2021).

Conforme Monteiro et al. (2022) a utilização de placas de prototipagem no contexto do ensino de Física tem se tornado cada vez mais popular nos últimos anos, com destaque especial para o Arduino. Entretanto, ainda de acordo com os autores, os resultados da pesquisa de revisão de artigos nesse âmbito indicam a necessidade de um maior número de estudos que explorem o uso de placas de prototipagem em conjunto com dispositivos móveis como suporte no processo de ensino-aprendizagem.

Tendo em vista esse contexto acadêmico e tecnológico, nossa proposta aborda um experimento envolvendo IoT em busca de uma investigação do efeito estufa com sensores de temperatura. O efeito estufa, em sua forma natural, é um fenômeno essencial para a manutenção da temperatura adequada para a vida na Terra, pois retém parte do calor irradiado pela Terra, aquecendo o planeta, garantindo condições climáticas que favorecem a biodiversidade e o equilíbrio dos ecossistemas. No entanto, a intensificação desse fenômeno devido às ações humanas, especialmente pelo aumento significativo na emissão de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono e metano, tem gerado sérias consequências ambientais. Essas emissões, resultantes principalmente da queima de combustíveis fósseis, desmatamento e atividades industriais, têm agravado o aquecimento global, provocando mudanças climáticas, elevação do nível do mar, eventos climáticos extremos e a degradação de habitats naturais, colocando em risco a biodiversidade e a qualidade de vida das populações. Utilizando sensores conectados, os alunos irão monitorar e registrar dados de temperatura em diferentes condições controladas, simulando o acúmulo de gases de efeito estufa. A análise dos dados coletados permitirá uma compreensão prática dos princípios físicos do efeito estufa, ilustrando como o aumento de certos gases na atmosfera pode levar ao aquecimento global.

Nos próximos capítulos, abordaremos de forma mais abrangente a Física do efeito estufa, explorando a sua relação com a experimentação utilizando a IoT, bem como a interação entre esses dois aspectos e sua aplicação como uma ferramenta complementar no ensino de Física utilizando o efeito estufa como objeto de estudo.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Propor uma atividade experimental de baixo custo, apoiada na tecnologia da Internet das Coisas para abordar o efeito estufa no ensino de Física, tendo como propósito desenvolver habilidades e competências científicas e tecnológicas em alunos do ensino médio, conforme previsto pela BNCC. Por meio da utilização do microcontrolador ESP32 como ferramenta para coleta de dados sobre o efeito estufa, busca-se fomentar a compreensão e a reflexão acerca das causas e consequências do efeito estufa, estimulando a formação de uma consciência socioambiental crítica e proativa.

1.1.2 Objetivos específicos

A presente dissertação teve como objetivos principais:

- Apresentar conceitos de radiação, calor, temperatura e espectro eletromagnético contextualizados na temática do efeito estufa;
- Evidenciar a relação do efeito estufa com as grandezas citadas;
- Avaliar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a compreensão do efeito estufa, bem como a diferença desse fenômeno com Mudanças Climáticas e Aquecimento Global;
- Desenvolver habilidades práticas e técnicas, como a construção de um aparato experimental, o uso de sensores de temperatura, o manuseio do microcontrolador ESP32 e as principais etapas da construção do conhecimento científico com experimentação;
- Utilizar as novas tecnologias digitais para aprimorar a coleta de dados experimentais.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Esta dissertação está organizada em seis capítulos. O Capítulo 1 introduz o tema e apresenta uma visão geral do trabalho, além de sintetizar os aspectos que o permeiam e apresentar os objetivos.

O Capítulo 2 apresenta o referencial teórico de ensino que fundamenta esse trabalho, por meio da aprendizagem significativa de Ausubel, associação à Base Nacional Comum Curricular (BNCC), ao uso de tecnologias digitais no ensino de Física, à Internet das Coisas e suas possibilidades no ensino.

O Capítulo 3 apresenta o efeito estufa, elencando os principais tópicos de Física que contemplam o fenômeno.

O Capítulo 4 apresenta o desenvolvimento do produto educacional, descrevendo as atividades experimentais desenvolvidas, a implementação da solução de coleta de dados baseada no ESP32 e na IoT, os experimentos realizados para coleta e análise dos dados.

O Capítulo 5 apresenta os resultados e discussões da implementação do produto, descrevendo os resultados obtidos, e os discutindo à luz do referencial teórico apresentado no Capítulo 2.

O Capítulo 6 traz as conclusões do trabalho, apresentando uma síntese dos resultados obtidos, suas implicações para o ensino de Física e para a prática docente, as limitações do estudo e sugestões para trabalhos futuros.

Por fim, as referências bibliográficas e os apêndices completam o trabalho.

Capítulo 2

REFERENCIAL TEÓRICO DE ENSINO

"Ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua própria produção ou a sua construção."

- Paulo Freire

2.1 A BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR (BNCC) E AS HABILIDADES E COMPETÊNCIAS NAS CIÊNCIAS DA NATUREZA

No ano de 2018 o Ministério da Educação homologou o documento da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para a etapa do ensino médio.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento de caráter normativo que define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica, de modo a que tenham assegurados seus direitos de aprendizagem e desenvolvimento, em conformidade com o que preceitua o Plano Nacional de Educação (PNE). Este documento normativo aplica-se exclusivamente à educação escolar, tal como a define o § 1º do Artigo 1º da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB, Lei nº 9.394/1996), e está orientado pelos princípios éticos, políticos e estéticos que visam à formação humana integral e à construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva, como fundamentado nas Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (DCN) (Brasil, 2018).

Na BNCC o foco da aprendizagem está nas habilidades e competências desenvolvidas de forma geral ou específica de uma área do conhecimento. A educação básica abrange 10 competências gerais que se inter-relacionam e integram as três etapas - Educação Infantil,

Ensino Fundamental e Ensino Médio - garantindo os direitos de aprendizagem e desenvolvimento.

Na BNCC, competência é definida 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. Para garantir o desenvolvimento das competências específicas, cada componente curricular apresenta um conjunto de habilidades. Essas habilidades estão relacionadas a diferentes objetos de conhecimento – aqui entendidos como conteúdos, conceitos e processos –, que, por sua vez, são organizados em unidades temáticas (Brasil; Ministério da Educação, 2018).

No ensino médio há quatro áreas do conhecimento, conforme determina a LDB. A Física está inserida na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, junto com Biologia e Química. As competências específicas de Ciências da Natureza são três (Brasil, 2018):

1. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global.

2. Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.

3. Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).

Este produto educacional está em consonância com a BNCC, pois atende às três competências específicas de Ciências da Natureza. Primeiramente, ao abordar os impactos socioambientais causados pela intensificação do efeito estufa devido às atividades humanas, ele estimula os alunos a analisarem fenômenos naturais e processos tecnológicos, como indicado na Competência 1, incentivando ações que minimizem esses impactos e melhorem a qualidade de vida. Além disso, o projeto utiliza experimentação e coleta de dados, permitindo que os alunos construam e utilizem interpretações sobre a dinâmica da Terra (Competência 2), elaborando argumentos e previsões sobre os efeitos do efeito estufa e sua intensificação. Por fim, ao utilizar as Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC) para coletar e

interpretar dados, o projeto promove a análise de situações-problema e a avaliação das aplicações científicas e tecnológicas, em consonância com a Competência 3, permitindo que os alunos proponham soluções e comuniquem suas conclusões de maneira fundamentada, utilizando diferentes mídias e tecnologias. No que diz respeito às habilidades específicas, elas são referenciadas por códigos em que "EM" indica Ensino Médio e "CNT" se refere a Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Os primeiros números, como 12 ou 13, indicam o ano em que a habilidade deve ser trabalhada: o primeiro ou segundo ano, e primeiro ou terceiro ano, respectivamente. Por fim, os três últimos dígitos especificam a competência geral a que a habilidade pertence, seguidos do número específico da habilidade dentro dessa competência. Das habilidades contempladas, destacamos três delas: Sendo a primeira a EM12CNT102, que consiste em realizar previsões, avaliar intervenções e/ou construir protótipos de sistemas térmicos que visem à sustentabilidade, baseando-se na análise dos efeitos das variáveis termodinâmicas e da composição dos sistemas naturais e tecnológicos.

A segunda habilidade específica contemplada neste trabalho é a EM13CNT301, que engloba a construção de questões, elaboração de hipóteses, previsões e estimativas, além do uso de instrumentos de medição e modelos explicativos para construir, avaliar e justificar conclusões científicas diante de situações-problema. Dessa forma, o estudante será guiado pelo professor para tirar suas próprias conclusões, fundamentadas em evidências científicas, a respeito de um problema ambiental real que pode afetar o futuro de sua geração e das próximas.

A terceira habilidade da BNCC é a 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. Com isso, os estudantes comunicam seus resultados de forma oral, em um ambiente propício a discussões afim de ampliar a aprendizagem significativa pretendida por esse trabalho.

Em suma, buscou-se trabalhar com problemas que tenham relevância para o contexto do aluno, permitindo que ele compreenda e intervenha na busca de melhorias para a sociedade. Nesse sentido, o produto dessa dissertação se alinha com as diretrizes da BNCC, abarcando habilidades e competências tanto gerais quanto específicas.

2.2 TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE AUSUBEL

David Paul Ausubel (1918-2008) foi um médico psiquiatra nascido nos Estados Unidos, oriundo de uma família judaica imigrante da Europa. A infância de Ausubel foi profundamente marcada pela perseguição aos judeus pelo movimento Ku Klux Klan nos Estados Unidos, especialmente entre os anos de 1915 e 1944. Durante esse período, os judeus, enfrentaram discriminação sistemática baseada em preconceitos étnicos e sociais. As escolas não foram exceção, adotando práticas abusivas como forma de punição aos estudantes judeus. Ausubel descreve métodos severos utilizados contra ele e seus colegas, como o ato de esfregar sabão de lixívia na boca por palavras consideradas impróprias, humilhações públicas e coerção para consumir carne de porco. Essas experiências traumáticas influenciaram profundamente Ausubel e foram um catalisador para sua posterior pesquisa e desenvolvimento teórico no campo da psicologia educacional. Frustrado com sua própria educação, Ausubel dedicou-se a investigar os processos de ensino e aprendizagem, culminando na formulação da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), que se tornaria uma contribuição expressiva para o entendimento de como os alunos constroem e internalizam conhecimentos de maneira relevante (Puhl et al., 2020). Ausubel foi também professor na Universidade de Columbia, em Nova York, tendo publicado uma série de livros e cerca de 120 artigos científicos, contribuindo principalmente para a área de psicologia educacional. O conceito central da teoria de Ausubel é o de aprendizagem significativa.

A aprendizagem é muito mais significativa à medida que o novo conteúdo é incorporado às estruturas de conhecimento de um aluno e adquire significado para ele a partir da relação com seu conhecimento prévio. Ao contrário, ela se torna mecânica ou repetitiva, uma vez que se produziu menos essa incorporação e atribuição de significado, e o novo conteúdo passa a ser armazenado isoladamente ou por meio de associações arbitrárias na estrutura cognitiva (Pelizzari et al., 2002, p. 37).

Ausubel distingue a aprendizagem mecânica ou automática da aprendizagem significativa, ressaltando que a primeira ocorre com pouca ou nenhuma interação com a estrutura cognitiva pré-existente do aprendiz, sendo armazenada de forma arbitrária. Já a aprendizagem significativa é definida como um processo em que uma nova informação se relaciona de forma substancial e não arbitrária a um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo. Ausubel concentra sua atenção na dinâmica cotidiana das salas de

aula na grande maioria das escolas, destacando que o elemento preponderante que impacta a aprendizagem é o conhecimento prévio do aluno (Moreira, 2022, p. 140).

Para haver aprendizagem significativa são necessárias duas condições. Em primeiro lugar, o aluno precisa ter uma disposição para aprender: se o indivíduo quiser memorizar o conteúdo arbitrariamente e literalmente, então a aprendizagem será mecânica. Em segundo, o conteúdo escolar a ser aprendido tem que ser potencialmente significativo, ou seja, ele tem que ser lógico e psicologicamente significativo: o significado lógico depende somente da natureza do conteúdo, e o significado psicológico é uma experiência que cada indivíduo tem. Cada aprendiz faz uma filtragem dos conteúdos que têm significado ou não para si próprio (Pelizzari *et al.*, 2002, p. 38).

2.2.1 Os subsunçores

Segundo a teoria de Ausubel, a aprendizagem significativa de novos conhecimentos deve partir de facilitadores que se relacionam com conhecimentos prévios relevantes da estrutura cognitiva do indivíduo, a qual Ausubel define como subsunçor (Moreira, 2022). Essa relação entre o conhecimento prévio e o novo conhecimento é fundamental para que ocorra a aprendizagem significativa de maneira substancial e não-arbitrária.

Sem rejeitar a ideia de que corpos organizados de conhecimento, possuem, de fato, conceitos estruturantes, é mais adequado pensar os subsunçores simplesmente como conhecimentos prévios especificamente relevantes para que os materiais de aprendizagem ou, enfim, os novos conhecimentos sejam potencialmente significativos. Nessa linha, subsunçores podem ser proposições, modelos mentais, construtos pessoais, concepções, ideias, invariantes operatórios, representações sociais e, é claro, conceitos, já existentes na estrutura cognitiva de quem aprende (Moreira, 2012, p. 38).

Moreira (2012, p. 38) levanta duas questões sobre subsunçores que merecem atenção:

1) Como surgem os primeiros subsunçores? 2) O que fazer quando não há subsunçores?

No primeiro caso, Ausubel irá considerar as descobertas e assimilação de informações a partir das interações com o ambiente, com os estímulos externos e com as pessoas que convivem. Destaca-se, no entanto, que a aprendizagem significativa não se dissocia completamente da aprendizagem mecânica, pois ambas estão relacionadas através dos subsunçores, sendo que alguns conceitos podem ser armazenados de maneira mais simples e mecânica. Quando não há subsunçores, uma estratégia adotada pela teoria ausubeliana é a utilização de organizadores prévios.

2.2.2 Organizadores prévios

Relacionar apenas a aprendizagem mecânica na construção de subsunçores pode não ser muito efetivo, por isso existem os organizadores prévios que são capazes de intermediar o novo conhecimento por meio de textos, filmes, jogos, imagens ou diagramas visuais com o aprendiz.

Os organizadores prévios desempenham um papel crucial como ponte cognitiva, estabelecendo uma conexão entre o conhecimento prévio do aprendiz e os novos conteúdos a serem aprendidos de maneira significativa. Essa abordagem é aplicada no início do processo de aprendizagem, incorporando uma linguagem que se aproxima do entendimento do aprendiz, facilitando assim a assimilação e compreensão do material.

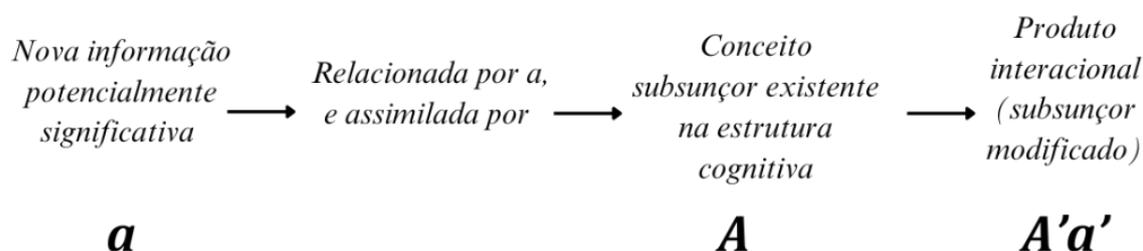
Ausubel preconiza a utilização de organizadores prévios como âncoras para a nova aprendizagem, promovendo o desenvolvimento de conceitos subsunçores que facilitam o aprendizado subsequente. Essa estratégia envolve a manipulação intencional da estrutura cognitiva, utilizando materiais introdutórios apresentados antes do conteúdo principal, com o intuito de facilitar a assimilação significativa do conhecimento (Moreira, 2022).

Assim, todo subsunçor é parte do conhecimento prévio, mas nem todo conhecimento prévio é necessariamente um subsunçor. O subsunçor é um elemento específico do conhecimento prévio que desempenha um papel na ancoragem e assimilação de novos conceitos na aprendizagem significativa.

2.2.3 A assimilação segundo Ausubel

Ausubel esclarece o processo de aquisição e organização de significados na estrutura cognitiva por meio do conceito de assimilação. Nessa abordagem, a assimilação é vista como a integração ativa de novas informações aos conhecimentos já existentes, facilitando a criação de conexões significativas. Na Figura 2.1, Moreira (2022) apresenta o processo de assimilação de maneira simplificada, de forma que o novo aprendizado tem um valor a que se relaciona com o subsunçor e gera como produto um subsunçor modificado, considerando que houve uma aprendizagem significativa.

Figura 2.1 - A nova informação a é a assimilada por um subsunçor existente A .



Fonte: Moreira (2022, p. 144).

Portanto, a assimilação é um processo que ocorre quando um conceito ou proposição, potencialmente significativo, é assimilado sob uma ideia ou conceito mais inclusivo, já existente na estrutura cognitiva, como um exemplo, extensão, elaboração ou qualificação do mesmo (Moreira, 2022, p. 144).

Nota-se que tanto a informação potencialmente significativa a quanto o subsunçor existente A sofrem modificação pela interação no processo de assimilação, tornando-se a' e A' .

2.2.4 Material potencialmente significativo

Além dos subsunçores e dos organizadores prévios, é importante para a aprendizagem significativa que os materiais utilizados sejam potencialmente significativos, ou seja, estejam compatíveis com o conhecimento prévio dos estudantes e com a estrutura cognitiva de forma não literal e não arbitrária. Adicionalmente, é importante ressaltar que a atribuição de significado a um material não pode ser considerada de maneira absoluta, uma vez que o significado reside nas percepções individuais das pessoas e não intrinsecamente nos recursos em si. Dessa forma, a categorização de um material como sendo significativo ou não deve ser compreendida como uma medida potencialmente significativa, considerando a natureza subjetiva da interpretação e assimilação de informações por parte dos aprendizes (Moreira, 2012).

Assim, torna-se essencial que a aula, o livro, o experimento ou qualquer material destinado ao aluno estabeleça uma sólida conexão com os conhecimentos prévios do estudante.

A eficácia do processo de ensino é facilitada quando o material é significativo, ou seja, quando está fundamentado na base cognitiva já existente no aprendiz.

2.3 EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE FÍSICA

A Física, enquanto ciência básica, fundamenta-se primordialmente em métodos experimentais. Não sem razão, várias equações matemáticas utilizadas em sala de aula foram deduzidas mediante o emprego de aparatos experimentais, nos quais dados foram rigorosamente coletados e analisados. Filho (2000) afirma que para se fazer Física, é preciso do laboratório; então, para aprender Física, ele também é necessário. O laboratório é o local onde as atividades experimentais são executadas e sua presença nas aulas da educação básica provoca inquietações.

A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel destaca a importância de conectar novos conhecimentos à estrutura cognitiva pré-existente do aprendiz, facilitando uma aprendizagem mais profunda e duradoura. Nesse sentido, a experimentação é capaz de proporcionar experiências práticas e concretas que permitem ao aluno explorar, observar e descobrir os padrões e efeitos dos fenômenos estudados. A experimentação é capaz de colocar o aluno em contato com o fenômeno físico em estudo, aumentando a chance de compreensão dos conceitos envolvidos no objeto de conhecimento. De acordo com Guridi e Islas (1998), uma forma eficaz de promover uma aprendizagem significativa por meio de atividades experimentais é proporcionar uma proposta mais livre para que os alunos possam interagir com os fenômenos. No entanto, é importante considerar alguns critérios na preparação dessas atividades, como a motivação dos alunos, sua participação ativa no experimento e a discussão em grupo, promovendo uma comunicação dos resultados obtidos para uma sistematização do aprendizado. Dentro desses critérios, destacam-se o fator motivação para os alunos, de forma que eles possam genuinamente querer buscar o conhecimento por uma vontade própria, um interesse legítimo provocado pela abordagem inicial do problema; a participação efetiva dos estudantes no experimento, levando-os a elaborar suas próprias hipóteses acerca do fenômeno baseado nas suas observações; e a comunicação dos resultados, permitindo uma troca de informações e experiências dos estudantes.

Filho (2000) demonstrou como as atividades experimentais foram incorporadas como recomendação curricular para o ensino de Física, estabelecendo um consenso tão forte que não

há na literatura autor que se oponha à utilização dessas atividades em sala de aula. O autor reconhece que a concepção construtivista da produção de ciência deve ser adotada pelos envolvidos na transposição didática e sugere que as atividades experimentais atuam como mediadoras no ensino dos conteúdos de Ciência, envolvendo um diálogo entre dados experimentais e enunciados teóricos.

Conforme preconizado pela Associação Americana de Professores de Física (AAPT) (*American Association of Physics Teacher*, 1997), há cinco metas cruciais que norteiam o ensino prático de Física em laboratório, com abordagens experimentais. A primeira meta busca envolver os estudantes em experiências significativas, incluindo a capacidade de conceber e executar investigações, enquanto a segunda meta almeja o desenvolvimento abrangente de habilidades experimentais e analíticas. A terceira meta visa instrumentalizar os alunos na assimilação de conceitos fundamentais, utilizando o laboratório como ambiente ativo de aprendizagem. Simultaneamente, a quarta meta visa fornecer compreensão sobre o papel central da observação direta na Física e distinguir inferências teóricas de resultados experimentais. Por fim, a quinta meta objetiva cultivar habilidades de aprendizado colaborativo, reconhecidas como cruciais para o sucesso em diversas áreas ao longo das trajetórias acadêmicas e profissionais dos estudantes.

A experimentação assume um papel fundamental na construção de uma compreensão abrangente dos fenômenos físicos objetos de estudo pelo discente, proporcionando um contexto enriquecedor, estimulando sua motivação intrínseca e instigando-o a uma genuína busca pelo conhecimento.

Neste estudo, a ênfase na experimentação visa proporcionar ao aprendiz a visualização direta do fenômeno do efeito estufa, replicando as condições encontradas na atmosfera na presença de gases estufa. A meticulosa consideração de todos os fatores pertinentes a este projeto revela a utilização do próprio Sol como fonte de calor e radiação, promovendo uma maior aproximação com a realidade observada. Essa abordagem visa não apenas proporcionar uma experiência prática e envolvente, mas também estabelecer uma base sólida para a compreensão dos mecanismos subjacentes ao fenômeno em estudo.

2.4 AS TECNOLOGIAS DIGITAIS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TDICS) NO ENSINO DE FÍSICA

Com a popularização e o baixo custo das tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC), cada vez mais equipamentos e recursos tecnológicos têm sido inseridos nas escolas, possibilitando seu uso em sala de aula. O termo TDIC substituiu o antigo TIC, Tecnologia da Informação e Comunicação, na BNCC, e agora abrange uma variedade de mídias, incluindo as digitais.

No entanto, apesar dessa disponibilidade tecnológica, as aulas ainda não foram atualizadas com novas metodologias que integrem a tecnologia em busca de uma aprendizagem significativa. Moreira (2018) destaca a importância da integração de simulações computacionais, modelagem computacional e laboratórios virtuais ao ensino de Física no século XXI.

Simulações computacionais, modelagem computacional, laboratórios virtuais deveriam estar naturalmente integrados ao ensino de Física no século XXI. Celulares também poderiam fazer parte dessa tecnologia que deveria permear o ensino de Física nos dias de hoje. Mas não é assim. É claro que a escola pode não ter a instrumentação necessária, mas a principal razão da não incorporação das TIC no ensino de Física na atualidade é o foco no treinamento para as provas, a ênfase nas “respostas corretas”, no emprego de fórmulas para resolver problemas conhecidos. Isso é ensino de Física? Certamente não! (Moreira, 2018, p. 76).

A Física está presente em praticamente todos os aspectos da vida humana, permeando desde as Tecnologias da Informação e Comunicação até a Engenharia e as técnicas aplicadas na Medicina. Embora esses exemplos sejam frequentemente citados, eles representam apenas uma fração de sua abrangência, pois a Física, de fato, está em tudo ao nosso redor, moldando tanto o funcionamento do universo quanto as inovações que transformam nosso cotidiano. No entanto, muitas vezes, o ensino de Física é falho por ser descontextualizado e carente de sentido para os alunos. Para solucionar essa questão, é importante trabalhar com situações que deem sentido aos conceitos e integrem o contexto do aluno, o que pode ser um desafio para os educadores (Moreira, 2018).

As TDIC são recursos que podem ser utilizados para aprimorar o ensino de Física, permitindo a integração de conceitos. Essas tecnologias fazem parte do contexto da maioria dos estudantes, seja através da automação de atividades cotidianas, seja pela presença de

equipamentos conectados à internet, ou ainda pelo uso de sensores para detecção de dados externos.

Nesta dissertação esses conceitos são integrados por meio da aplicação de projetos de baixo custo, que utilizam um microcontrolador ESP32 com Wi-Fi e Bluetooth, visando aprimorar a compreensão dos conceitos de Física pelos alunos.

O ESP32 é um microcontrolador de alta performance para aplicações envolvendo WiFi fabricado pela empresa *Espressif System*, contando com um baixíssimo consumo de energia. Com 4 MB de memória *flash*, o ESP32 permite criar variadas aplicações para projetos de *IoT*, acesso remoto, *webservers* e *dataloggers*, entre outros (Kolban, 2017).

Uma abordagem pedagógica que integra as tecnologias digitais de forma significativa no processo de aprendizagem é aquela que utiliza os recursos que os estudantes já possuem na palma da sua mão, como os celulares e smartphones. Ela explora o potencial desses dispositivos, a fim de auxiliar na construção do conhecimento, proporcionando aos alunos uma percepção de que tecnologias acessíveis podem ser aliadas na educação, desde que sejam utilizadas de maneira assertiva.

A seleção do microcontrolador ESP32 para a integração dos conceitos de programação e robótica neste trabalho possui fundamentos técnicos embasados em suas características inerentes, que transcendem a sua acessibilidade financeira em relação ao Arduino. De forma mais específica, destaca-se a presença de um módulo Wi-Fi embutido, que possibilita a conexão e interação com dispositivos móveis e computadores na mesma rede, característica especialmente vantajosa em aplicações de *IoT*.

No ensino experimental de Física, ao abordar o efeito estufa, a coleta de dados de temperatura tem potencial para ser realizada de maneira prática com o microcontrolador ESP32. Este dispositivo demonstrou ser uma ferramenta robusta para o monitoramento de variáveis ambientais em estufas, um ambiente controlado que pode ser comparado ao estudo do efeito estufa (Arafat, 2020). O sistema desenvolvido por Arafat utilizou um conjunto muito similar ao descrito neste projeto, baseado no microcontrolador ESP32 e equipado com sensores de temperatura e umidade, como o DHT11, permitindo o controle eficiente do ambiente da estufa.

Assim, os alunos terão a oportunidade de empregar seus smartphones na coleta de dados experimentais, permitindo um acompanhamento sincronizado da evolução temporal da temperatura tanto dentro quanto fora da estufa. Essa abordagem proporcionará *insights* valiosos mesmo durante o processo de levantamento de dados, potencializando a integração prática dos

conceitos de programação e robótica, além de explorar de maneira eficiente a funcionalidade do microcontrolador ESP32.

2.4.1 Internet das Coisas

A Internet das Coisas (IoT) é uma rede de dispositivos físicos conectados, que permitem a interação entre si e com objetos externos, através de interfaces de controle e sensoriamento, possibilitando grande quantidade de dados e diversas formas de interação entre o mundo virtual e o real (Silva e Junior, 2018).

A IoT representa uma revolução tecnológica que está remodelando também o setor educacional. Com a capacidade de conectar objetos físicos à internet, também oferece oportunidades sem precedentes para melhorar os processos de ensino e aprendizagem. Um dos aspectos mais destacados dessa transformação é a integração de microcontroladores como o ESP32, que abrem novos horizontes para a experimentação no ensino de Física. Esses dispositivos, devido à sua conectividade e versatilidade, permitem a criação de experimentos com sensores de baixo custo.

A ideia central é que a IoT representa um avanço onde os computadores e a internet podem coletar informações sobre objetos do mundo real sem a intervenção humana. Isso envolve usar tecnologias como RFID (do inglês: *Radio Frequency Identification* ou Identificação por Radiofrequência) e sensores para permitir que os computadores “observem, identifiquem e entendam o mundo” de forma autônoma. Destaca-se a importância disso para o gerenciamento eficiente de recursos, reduzindo desperdícios, perdas e custos, além de melhorar a manutenção e a qualidade dos produtos (Ashton, 2009).

O surgimento de sistemas de IoT nas escolas tem o potencial de providenciar ajuda aos professores, aos estudantes e empresários permitindo a partilha de vários tipos de dados de uma forma aberta. Os professores e alunos terão a oportunidade de mensurar e a partilhar dados através do uso das tecnologias da IoT, de uma forma que promova a diversidade no processo de aprendizagem e permita aos estudantes investigar e a abordar desafios do mundo real usando dados disponibilizados pelo seu ambiente e em tempo real. Para este intuito de despertar o papel criativo dos estudantes utilizando a IoT é necessário montar um ecossistema social e técnico que integre hardware, dados, conteúdos associados e serviços. O ecossistema referido deverá fornecer o fácil acesso à informação, auxiliar a interpretação destes dados e estimular os estudantes a agirem sobre as suas próprias interpretações (Moreira, Vairinhos e Ramos, 2018, p.2).

No âmbito educacional, deve-se considerar tanto os benefícios quanto os desafios que emergem da incorporação da IoT. Segundo Kassab, Defranco e Laplante (2019), os benefícios incluem o aprimoramento dos processos pedagógicos, o impacto positivo nos princípios de aprendizagem, e o potencial de melhorar significativamente os resultados educacionais. Em contrapartida, os autores também apontam os desafios que abrangem questões de segurança devido ao aumento de dispositivos conectados, a necessidade de escalabilidade em soluções de gerenciamento de dados para lidar com o volume crescente de informações, e a humanização da tecnologia para evitar a desumanização nas interações humanas e a perda de autonomia.

Através da IoT, a integração do ESP32 com dispositivos móveis como smartphones, possibilita o monitoramento e controle remotos do ambiente da estufa. Susan et al. (2021) destaca que é viável transmitir dados de temperatura e outras variáveis ambientais diretamente para os celulares dos alunos, tornando o processo de aprendizagem mais interativo e prático.

2.5 UMA REVISÃO DA LITERATURA NO CONTEXTO DO MNPEF

O uso de novas tecnologias no ensino de ciências, especialmente em Física, tem avançado rapidamente com a introdução de dispositivos como o ESP32 e o Arduino. Esses recursos possibilitam a criação de projetos educacionais que integram sensores e atuadores, e têm se mostrado bastante atraentes devido ao seu fácil acesso, flexibilidade e custo relativamente baixo. A partir da implementação da Base Nacional Comum Curricular na educação básica, observou-se um incentivo ainda maior para a utilização dessas ferramentas, o que promove uma abordagem pedagógica inovadora e alinhada às necessidades contemporâneas. A BNCC ressalta a importância de proporcionar aos alunos uma educação que fomenta o uso da tecnologia como instrumento para o desenvolvimento de competências e habilidades do século XXI, e o uso de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação tem se tornado uma peça-chave nesse processo.

As TDICs oferecem uma ampla gama de ferramentas que podem ser aplicadas no ensino de Física, auxiliando tanto na visualização de conceitos abstratos quanto na coleta e análise de dados experimentais. Além disso, essas tecnologias possibilitam a simulação de fenômenos físicos, o que pode ser particularmente útil em situações onde os recursos materiais e

laboratoriais são limitados. Essas simulações oferecem aos alunos a oportunidade de experimentar e interagir com os fenômenos de forma prática, promovendo o aprendizado ativo e a resolução de problemas em um ambiente virtual. A interatividade e o dinamismo dessas ferramentas também contribuem para aumentar a motivação dos estudantes, favorecendo um ensino mais significativo e engajador.

Neste capítulo, é apresentada uma revisão bibliográfica de trabalhos que investigaram o uso de diferentes TDICs no ensino de Física, com foco em pesquisas desenvolvidas no âmbito do Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba. A escolha por pesquisas desenvolvidas neste programa justifica-se pela relevância temática e pela oportunidade de traçar um panorama das investigações sobre o uso de tecnologias no ensino de Física, no contexto específico do PROFIS-So. Isso possibilita evidenciar a contribuição do programa para o desenvolvimento de propostas inovadoras e eficazes para o ensino de Física, destacando o impacto de suas pesquisas na prática pedagógica.

2.5.1 O uso de Arduino no ensino de Física

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica amplamente utilizada em diversos campos, e tem se mostrado uma ferramenta de grande valor no ensino de Física. Sua versatilidade permite a criação de experimentos interativos, onde os alunos podem manipular variáveis e observar resultados em tempo real, além de possibilitar a automação na coleta de dados, algo que muitas vezes é limitado em laboratórios escolares tradicionais.

Pinheiro Junior (2022), em sua dissertação intitulada "*Experimentos com o Arduino no Ensino de Física: Estudando Conceitos Científicos da Termologia*", desenvolveu um produto educacional com três atividades experimentais focadas em Termologia para o Ensino Médio, utilizando o Arduino como principal ferramenta. O autor explorou conceitos como condução de calor, calor específico e transferência térmica entre materiais diferentes, aplicando esses conceitos em atividades experimentais nas quais o Arduino foi utilizado para medir e registrar as variações de temperatura de diferentes metais. A pesquisa revelou que a utilização dessa plataforma facilitou a compreensão dos conceitos de termologia pelos estudantes e aumentou significativamente o seu engajamento. Além disso, o estudo evidenciou que a abordagem experimental mediada por tecnologia promoveu um ambiente mais participativo e interativo, no qual os alunos puderam aplicar os conceitos teóricos de forma prática e investigativa.

Ainda no contexto do ensino de Física com o uso de Arduino, Oliveira (2023), em sua dissertação *"Introdução à Mecânica Quântica no Ensino Médio através da discussão sobre a constante de Planck"*, apresentou uma proposta inovadora ao utilizar o Arduino para automatizar a coleta de dados em experimentos sobre a determinação da constante de Planck. A utilização do Arduino possibilitou a criação de um experimento acessível e didaticamente eficaz para tratar de conceitos complexos da Física Moderna, como a quantização da energia. A combinação entre Física Quântica e experimentação prática foi fundamental para tornar o conteúdo mais tangível e acessível aos alunos do Ensino Médio, que muitas vezes enfrentam dificuldades em compreender os princípios abstratos dessa área da ciência. A pesquisa de Oliveira também destacou o potencial do Arduino em promover uma aprendizagem interdisciplinar, integrando Física, Eletrônica e Programação, e criando oportunidades para que os estudantes desenvolvam habilidades em múltiplos campos do conhecimento.

2.5.2 O smartphone como ferramenta de ensino de Física

O smartphone, por sua onipresença no cotidiano dos alunos e pelas suas inúmeras funcionalidades, tem sido cada vez mais explorado como ferramenta pedagógica. Equipado com sensores de alta precisão, como acelerômetros, magnetômetros e microfones, o smartphone pode ser transformado em um verdadeiro laboratório portátil, capaz de realizar medições e simular uma série de fenômenos físicos.

Freitas (2021), em sua dissertação *"Manual de Experimentos utilizando o Smartphone como Instrumento de Medida"*, desenvolveu um manual voltado ao Ensino Médio e Fundamental que explora as capacidades do smartphone para a realização de experimentos de Física. Utilizando o aplicativo *Physics Toolbox*, Freitas propôs roteiros experimentais nas áreas de Mecânica, Acústica e Eletromagnetismo, nos quais o smartphone desempenha o papel de um instrumento de medida sofisticado, mas acessível. A pesquisa de Freitas mostrou que o uso de smartphones permite aos alunos realizar experimentos que, de outra forma, exigiriam equipamentos caros e complexos. Além disso, o manual destaca a praticidade do uso do smartphone, visto que ele é um dispositivo com o qual os alunos já estão familiarizados, o que facilita sua integração ao contexto educacional.

2.5.3 A utilização de simuladores e experimentos de baixo custo

Simuladores computacionais, como os disponibilizados pela plataforma PhET Colorado, têm desempenhado um papel crucial no ensino de Física, especialmente em escolas com recursos limitados. Eles permitem que os alunos visualizem fenômenos complexos e interajam com os conceitos em ambientes virtuais, de maneira controlada e segura.

Cannavan (2021), em sua dissertação *"Experimentos de baixo custo e uso de Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs): proposta de aulas para ensino de mecânica, física térmica e eletromagnetismo"*, propôs uma série de sequências didáticas que combinam o uso de experimentos de baixo custo com simuladores computacionais para o Ensino Médio. Sua pesquisa ressaltou a importância das atividades práticas para a construção de conhecimento científico, destacando que, mesmo em contextos com limitações de recursos, é possível oferecer aos alunos experiências de aprendizagem significativas e de alta qualidade. O uso de simuladores, como os do PhET, complementa as atividades experimentais, permitindo aos alunos testar hipóteses, observar variáveis invisíveis e manipular cenários que seriam impraticáveis em um laboratório convencional.

Capítulo 3

A FÍSICA DO EFEITO ESTUFA

“Na natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.”

- Antoine Lavoisier

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS SOBRE O EFEITO ESTUFA

O efeito estufa é um fenômeno natural que acontece na atmosfera de alguns planetas, como a Terra, devido à presença de gases que absorvem e reemitem radiação infravermelha, como o vapor de água, o dióxido de carbono (CO_2), o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O). Esse fenômeno se caracteriza pela opacidade seletiva da atmosfera à radiação infravermelha, em contraste com sua transparência ao espectro visível, assemelhando-se ao princípio de funcionamento do vidro nas estufas utilizadas, por exemplo, em floriculturas (Barry e Chorley, 2013; Hewitt, 2011).

Esse fenômeno é fundamental para a manutenção da estabilidade térmica na Terra, evitando variações drásticas de temperatura entre o dia e a noite, bem como ao longo das diferentes estações do ano. Essa regulação térmica é essencial para sustentar as condições ambientais favoráveis à vida tal como a conhecemos. Ademais, o efeito estufa contribui para que a água na superfície do planeta permaneça em estado líquido, um requisito crucial para a existência de ecossistemas diversos e a manutenção da vida.

Jean Baptiste Joseph Fourier é amplamente creditado por estabelecer as bases teóricas do efeito estufa. Em seu trabalho publicado em 1824, intitulado "*Remarques Générales sur les Températures du Globe Terrestre et des Espaces Planétaires*" (do Francês: Observações Gerais sobre as Temperaturas do Globo Terrestre e dos Espaços Planetários), Fourier descreveu o

processo pelo qual a atmosfera retém parte do calor irradiado pela Terra, resultando em um aumento da temperatura média do planeta (Pierrehumber, 2004).

Embora Fourier não tenha usado explicitamente o termo “estufa” em seus escritos, ele apresentou o conceito fundamental de como a atmosfera atua como um mecanismo para reter o calor e influenciar o clima. Ele propôs que a atmosfera permitia a passagem da radiação solar de alta frequência, mas absorvia a radiação infravermelha emitida pela Terra, impedindo sua dissipação direta para o espaço. Essa retenção de calor resulta em um aquecimento global do planeta (Pierrehumber, 2004).

É importante ressaltar que o problema ambiental atual não está relacionado ao efeito estufa em si, mas sim à sua intensificação causada pelas atividades humanas. Essa intensificação do efeito estufa está causando o aquecimento global e uma série de consequências negativas para o planeta, como o aumento do nível do mar, eventos climáticos extremos e a perda de biodiversidade.

Neste capítulo, iremos introduzir os conceitos fundamentais da física do efeito estufa a partir da proposta de Fourier, equacionando a radiação emitida pelo Sol desde a produção nas fusões nucleares até a emissão, descrita pela equação de Stefan-Boltzmann para o corpo negro. Levando em conta que a intensidade da radiação é inversamente proporcional ao quadrado da distância, determinaremos a quantidade de radiação interceptada pelos planetas. Por fim, definiremos o efeito estufa planetário a partir dos conceitos de balanço de energia, albedo e propriedades atmosféricas.

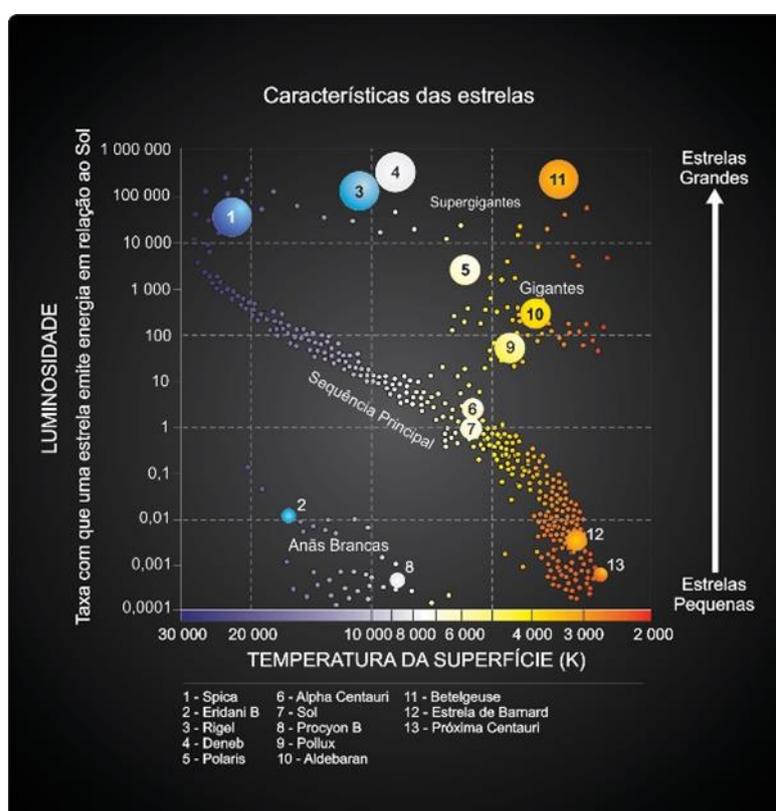
3.2 O SOL

O Sol, a estrela central do nosso sistema solar, é composto predominantemente por gases ionizados a altíssimas temperaturas. Apresenta uma forma esférica e possui um diâmetro de aproximadamente $1,39 \cdot 10^6$ km, o que equivale a cerca de 3,6 vezes a distância entre a Terra e a Lua. Sua massa é estimada em $1,99 \cdot 10^{30}$ kg, representando aproximadamente 99,8% da massa total do Sistema Solar (Oliveira e Saraiva, 2013).

O Sol, como fonte primária, é responsável por fornecer a maior parte da energia disponível para a Terra. Através de ondas eletromagnéticas que se propagam, essa energia é injetada na atmosfera terrestre, alimentando os processos vitais e impulsionando os sistemas climáticos do nosso planeta (Barry e Chorley, 2013).

No diagrama de Hertzsprung-Russell (H-R), apresentado na Figura 3.1, o Sol é classificado como uma estrela da sequência principal, identificado pelo número 7. Especificamente, ele é categorizado como um tipo espectral G2V. Essa classificação indica que o Sol é uma estrela de cor amarela, com uma temperatura superficial em torno de 5.800 graus Celsius. A sequência principal é uma região do diagrama H-R em que a maioria das estrelas, incluindo o Sol, passa a maior parte de suas vidas convertendo hidrogênio em hélio em seu núcleo (Oliveira e Saraiva, 2013).

Figura 3.1 - Diagrama Hertzsprung-Russell (H-R) classificando as estrelas como uma relação existente entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura superficial.



Fonte: Oliveira & Saraiva. Astronomia e Astrofísica: Características das Estrelas.

Disponível em <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/diagramaHR.jpg>. Acesso em 13 de julho de 2023.

O diagrama de Hertzsprung-Russell, também conhecido como diagrama H-R, é um gráfico que foi desenvolvido de maneira independente por Ejnar Hertzsprung, da Dinamarca (1873-1967), em 1911, e por Henry Norris Russell, dos Estados Unidos (1877-1957), em 1913. Este gráfico estabelece uma correlação entre a luminosidade das estrelas e sua temperatura superficial (Oliveira e Saraiva, 2013).

3.2.1 Fusão do hidrogênio: sequência principal

Para estrelas da sequência principal, o processo nuclear acontece primeiramente com a fusão de dois núcleos de hidrogênio, através da chamada *cadeia ppI* (próton-próton-1) de reações (Chung, 2001).

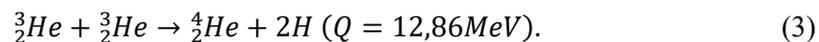


Como produto da reação, temos a liberação de um isótopo de hidrogênio, o deutério (d), um pósitron e um neutrino. O deutério ${}^2_1\text{H}$ possui em seu núcleo um próton e um nêutron. Q está associado à energia liberada ou absorvida pelo sistema, em MeV (10^6 *eletron-volt*), onde $1\text{MeV} = 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ J}$.

O deutério então se funde com outro núcleo de hidrogênio, formando o isótopo de hélio-3 e liberando radiação gama:

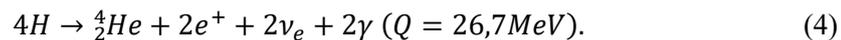


Por fim, os isótopos de hélio-3 se fundem, formando o hélio estável, além de liberar mais 2 núcleos de hidrogênio:



Efetivamente, durante a fusão nuclear no Sol, 4 prótons são fundidos para produzir um núcleo de hélio-4 (${}^4_2\text{He}$), com a liberação total de 26,73 MeV (milhões de elétron-volts) de energia.

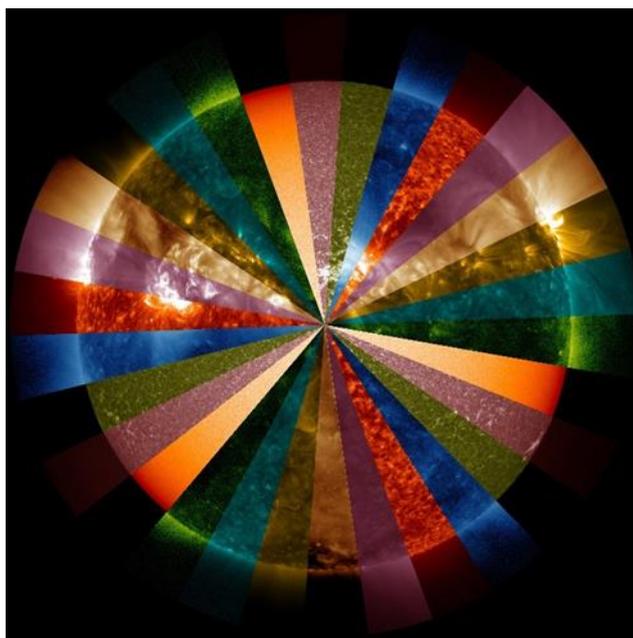
De forma sumarizada, a fusão nuclear na cadeia ppI pode ser apresentada na forma:



A luz visível emitida pelo Sol é, de fato, um resultado direto desse processo de fusão nuclear que ocorre em seu interior. A luz visível representa uma parte significativa da energia liberada pelo Sol, juntamente com outros comprimentos de onda do espectro eletromagnético. A Figura 3.2 apresenta uma imagem do Sol que foi segmentada em diferentes comprimentos de onda. Esta imagem revela como o Sol se manifesta em várias faixas espectrais, permitindo a

observação detalhada de diferentes características e fenômenos solares que não são visíveis em apenas um comprimento de onda. Os comprimentos de onda apresentados são: luz óptica de 617,3 nm de SDO/HMI. De SDO/AIA temos 170 nm (rosa), depois 160 nm (verde), 33,5 nm (azul), 30,4 nm (laranja), 21,1 nm (violeta), 19,3 nm (bronze), 17,1 nm (dourado), 13,1 nm (aqua) e 9,4 nm (verde).

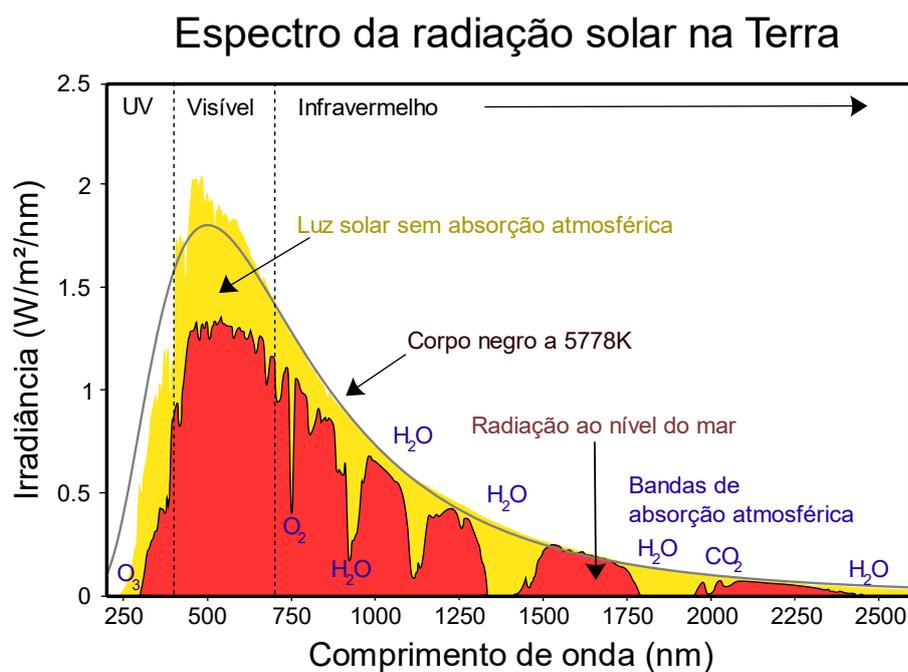
Figura 3.2 - Imagem composta do Observatório Dinâmico Solar da NASA que mostra diferentes fatias do Sol vistas em diferentes comprimentos de onda.



Fonte: NASA's Scientific Visualization Studio. Solar Dynamics Observatory - Argo view - Slices of SDO. Disponível em: <https://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=4128>. Acesso em 15 de julho de 2023.

A Figura 3.3 apresenta o espectro da radiação solar direta em duas condições: na alta atmosfera terrestre (representada em amarelo) e ao nível do mar (em vermelho). A radiação emitida pelo Sol segue uma distribuição semelhante à de um corpo negro a uma temperatura de 5778 K (ou 5505 °C), aproximadamente a temperatura da sua superfície. Durante a passagem pela atmosfera terrestre, parte da luz é absorvida por gases em bandas de absorção específicas. Além disso, ocorre a dispersão de Rayleigh, um fenômeno que contribui para a coloração azul do céu. Os dados do gráfico baseiam-se no Espectro de Referência Terrestre da *American Society for Testing and Materials* (ASTM), utilizado como padrão na indústria de fotovoltaicos para assegurar condições de ensaio consistentes. Portanto, as curvas refletem o espectro típico esperado na América do Norte, indicando regiões para luz ultravioleta, visível e infravermelha.

Figura 3.3 - Irradiância espectral de comprimento de ondas no espectro solar. A área sombreada em vermelho mostra a irradiância ao nível do mar. Há menos irradiância ao nível do mar devido à absorção de luz pela atmosfera.



Fonte: [WIKIMEDIA COMMONS. Solar spectrum](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_spectrum_pt.svg). Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Nantenna#/media/Ficheiro:Solar_spectrum_pt.svg. Acesso em 15 de julho de 2023.

3.3 RADIAÇÃO

A energia vinda do Sol atravessa o espaço, depois a atmosfera terrestre para, então, aquecer a superfície da Terra. Como há vácuo entre o Sol e a Terra, o único processo possível de transmissão da energia solar é por radiação. O transporte de energia acontece por meio da propagação das ondas eletromagnéticas que compõem a radiação solar (Hewitt, 2011).

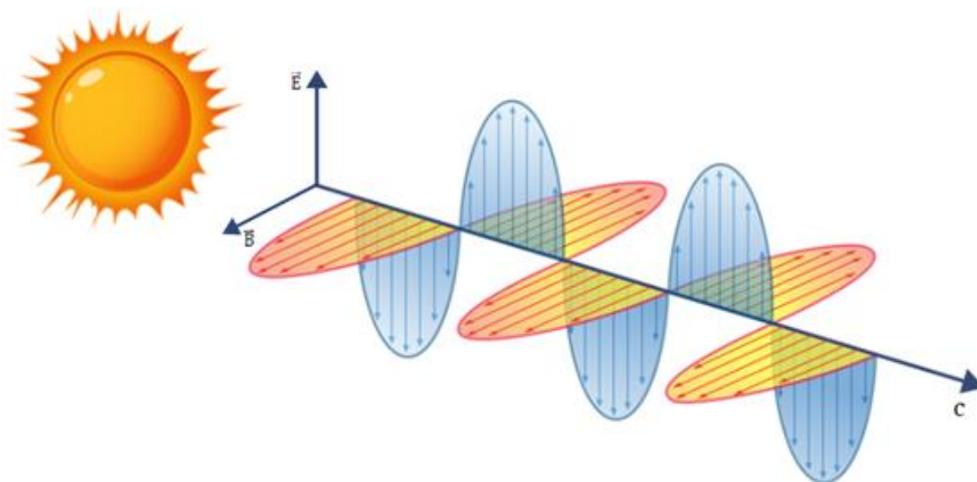
3.3.1 Ondas eletromagnéticas

Ondas eletromagnéticas são um tipo de radiação que se propaga através da matéria ou no espaço livre (vácuo). Elas são compostas por campos elétricos (\vec{E}) e magnéticos (\vec{B}) oscilantes perpendiculares entre si e à direção de propagação da onda, transportando energia através do vácuo como ilustrado pela Figura 3.4 (Hewitt, 2011).

A propagação das ondas eletromagnéticas ocorre com velocidade constante no vácuo, denotada pela letra c . Essa velocidade é aproximadamente $2,99792 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ e está associada ao produto do comprimento de onda (λ) com a frequência (ν) da onda eletromagnética através da equação fundamental da ondulatória (Nussenzveig, 2013):

$$c = \lambda \cdot \nu. \quad (5)$$

Figura 3.4 - Representação de uma onda eletromagnética com origem no Sol e se propagando no espaço. Os campos magnéticos e elétricos oscilam perpendiculares entre si e com relação à velocidade de propagação c .



Fonte: Elaborado pelo autor.

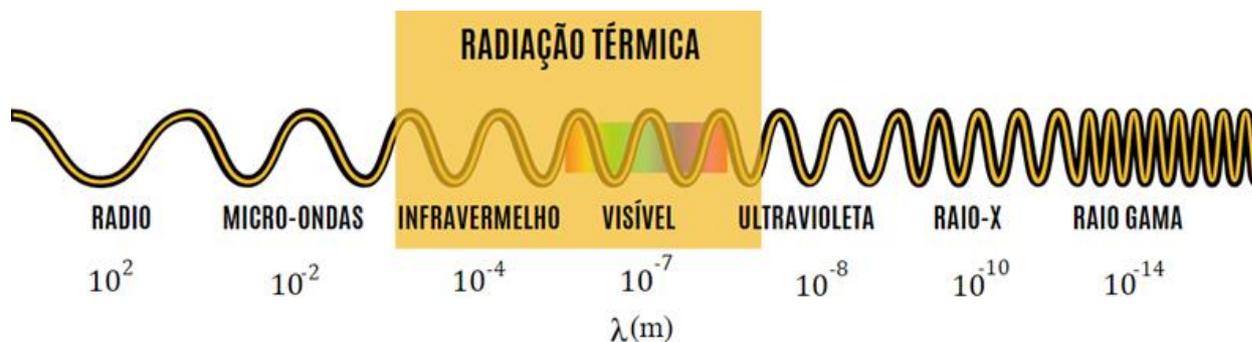
Essa propriedade de velocidade constante das ondas eletromagnéticas está intimamente relacionada à interação entre os campos elétricos e magnéticos que compõem essas ondas. De acordo com as equações de Maxwell, que descrevem o comportamento dos campos elétricos e magnéticos, a variação de um campo magnético induz um campo elétrico e vice-versa. Isso cria uma relação intrínseca entre os dois campos, permitindo que se propaguem como ondas autossustentáveis no espaço (Hewitt, 2011).

3.3.2 Espectro eletromagnético

As ondas eletromagnéticas são categorizadas de acordo com seu comprimento de onda (ou pela frequência), constituindo o espectro eletromagnético, uma faixa contínua desde as ondas de rádio, micro-ondas e infravermelho, passando pela faixa visível, até a radiação ultravioleta, raios X e raios gama. À medida que avançamos no espectro, observamos uma relação inversa entre as grandezas, com frequências aumentando e comprimentos de onda diminuindo, tornando-se cada vez mais energéticos.

As ondas eletromagnéticas apresentam diferentes comprimentos de onda, que estão inversamente relacionados com suas frequências de oscilação. Ondas de comprimento longo de onda possuem frequências mais baixas, enquanto ondas de comprimento curto de onda têm frequências mais altas. Essa relação entre comprimento de onda e frequência é de extrema importância, pois a frequência está diretamente relacionada com a energia transportada pela onda (Hewitt, 2011).

Figura 3.5 - Espectro eletromagnético em função do comprimento de onda, desde as longas ondas de rádio até a radiação gama. A radiação térmica contempla todo o espectro visível, toda radiação infravermelha e uma fração da radiação ultravioleta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A distribuição espectral da radiação solar está concentrada no que é classificado como radiação térmica, como mostra a Figura 3.5, associado a emissão de radiação pela matéria com temperatura não-nula. A radiação térmica está concentrada na região de comprimentos de onda entre 10^{-7} e 10^4 m. Toda matéria com temperatura acima de 0K emite radiação térmica. O comprimento de onda da emissão máxima varia inversamente com a temperatura absoluta do corpo irradiante, conhecida como Lei de Wien (Incropera, Dewitt e Bergman, 2000; Barry e Chorley, 2013).

3.4 RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO E A DISTRIBUIÇÃO DE PLANCK

O Sol comporta-se praticamente como um corpo negro (Barry e Chorley, 2013).

A radiação proveniente de um corpo negro obedece aos seguintes princípios fundamentais: 1. Um corpo negro é capaz de absorver toda a radiação incidente, independentemente de seu comprimento de onda ou direção de incidência. 2. Para um determinado comprimento de onda e temperatura, nenhum outro objeto pode emitir mais energia do que um corpo negro. 3. Embora a radiação emitida por um corpo negro seja influenciada pelo comprimento de onda e temperatura, ela é independente da direção. Isso significa que um corpo negro emite radiação de maneira difusa, ou seja, a radiação é emitida igualmente em todas as direções (Incropera, Dewitt, e Bergman, 2000, p. 466).

Em 1859, Gustav Kirchhoff definiu o conceito de corpo negro e estabeleceu a lei da radiação de Kirchhoff, que afirma que a emissividade de um corpo é igual à sua absorvidade em equilíbrio térmico. Em 1896, Wien derivou uma fórmula empírica para a distribuição da radiação do corpo negro, conhecida como a lei de deslocamento de Wien, que descreve o pico da emissão em função da temperatura (Incropera, Dewitt e Bergman, 2000).

Em 1900, Planck propôs sua lei da radiação, que não só concordava com os dados experimentais em toda a faixa de comprimentos de onda, mas também introduziu a ideia da quantização da energia, marcando o nascimento da teoria quântica (Hewitt, 2011). A lei de Planck é uma fórmula que descreve a distribuição da intensidade da radiação eletromagnética emitida por um corpo negro em equilíbrio térmico em uma função que descreve a distribuição da energia radiante emitida ou absorvida por esse corpo em função do comprimento de onda (λ) e da temperatura (T). Fundamentada na teoria quântica, ela representa a quantidade de radiação eletromagnética liberada ou absorvida em diferentes regiões do espectro, oferecendo percepções essenciais para compreender o comportamento térmico e as propriedades radiativas dos corpos negros.

Essa intensidade é descrita pela distribuição de Planck, que expressa matematicamente a relação entre a intensidade espectral (B), a temperatura (T) e o comprimento de onda (λ) do corpo negro, apresentado na equação:

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right)} - 1}, \quad (6)$$

onde $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$ e $k_b = 1,381 \cdot 10^{-23} \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$ são as constantes universais de Planck e Boltzmann, respectivamente, e c é a velocidade da luz no vácuo.

A partir da distribuição de Planck, é possível derivar a equação do corpo negro difuso. O corpo negro difuso é caracterizado pela sua emissividade, que é a capacidade do corpo de emitir radiação térmica. A emissividade de um corpo negro é igual a 1, indicando que ele é um emissor perfeito.

A partir da intensidade espectral de um corpo negro, podemos obter a energia total emitida por unidade de área e tempo, o que é conhecido como emissividade espectral ($E(\lambda, T)$). Essa grandeza representa a energia emitida em um determinado intervalo de comprimento de onda ($d\lambda$) e é expressa por:

$$E(\lambda, T) = B(\lambda, T) \cdot \pi d\lambda. \quad (7)$$

A função da emissividade espectral, que depende do comprimento de onda e da temperatura, pode ser matematicamente integrada com os limites de integração de 0 ao infinito para obter a energia total emitida por unidade de área e tempo, denominada emissividade total ($E(T)$). Portanto, temos:

$$E(T) = \int_0^{\infty} E(\lambda, T) d\lambda. \quad (8)$$

Substituindo na expressão $B(\lambda, T) \cdot \pi$ e considerando a constante $C = 2\pi hc^2$, temos:

$$E(T) = \int_0^{\infty} E(\lambda, T) d\lambda = \int_0^{\infty} \frac{C}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right)} - 1} d\lambda. \quad (9)$$

Essa é a equação do corpo negro difuso, que representa a energia total emitida por unidade de área e tempo por um corpo negro em função da temperatura (T). Ela descreve a distribuição espectral da radiação emitida pelo corpo negro ao longo de todos os comprimentos de onda.

Alguns aspectos podem ser observados, segundo Incropera e Dewitt (2000):

1. A radiação emitida varia de forma contínua em relação ao comprimento de onda.
2. A magnitude da radiação emitida aumenta com o aumento da temperatura, independentemente do comprimento de onda.
3. A distribuição espectral da radiação emitida depende da temperatura, resultando em uma maior proporção de radiação em comprimentos de onda mais curtos à medida que a temperatura aumenta.

4. Uma parte significativa da radiação emitida pelo Sol devido a sua temperatura superficial está concentrada na região visível do espectro eletromagnético.

3.5 LEI DE STEFAN-BOLTZMANN

A partir da lei de Planck, considerando $C = 2\pi hc^2$, podemos realizar a seguinte integração em relação ao comprimento de onda:

$$E(T) = \int_0^{\infty} \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right)} - 1} d\lambda.$$

Para resolver a integral, que é uma expressão da distribuição espectral da densidade de energia de um corpo negro em termos de comprimento de onda, vamos proceder com os seguintes passos:

Definimos uma variável substituta:

$$x = \frac{hc}{\lambda k_B T} \quad \text{ou} \quad \lambda = \frac{hc}{x k_B T}.$$

Consequentemente, o diferencial de (λ) é:

$$d\lambda = -\frac{hc}{x^2 k_B T} dx.$$

Substituímos λ e $d\lambda$ na integral:

$$E(T) = \int_{\infty}^0 \frac{2\pi hc^2}{\left(\frac{hc}{x k_B T}\right)^5} \cdot \frac{1}{e^x - 1} \left(-\frac{hc}{x^2 k_B T}\right) dx.$$

Simplificando os termos:

$$E(T) = \int_{\infty}^0 \frac{2\pi h c^2}{h^5 c^5} \cdot \frac{1}{e^x - 1} \cdot \left(-\frac{hc}{x^2 k_B T}\right) dx,$$

$$E(T) = \int_{\infty}^0 2\pi \frac{(k_B T)^5 x^5}{h^3 c^3} \cdot \frac{1}{e^x - 1} \cdot \left(-\frac{c}{x^2 k_B T}\right) dx,$$

$$E(T) = \int_{\infty}^0 2\pi \frac{(k_B T)^4 x^3}{h^3 c^2} \cdot \frac{1}{e^x - 1} \cdot (-1) dx.$$

Como os limites da integral são invertidos, podemos mudar os limites e eliminar o sinal negativo:

$$E(T) = \int_0^{\infty} 2\pi \frac{(k_B T)^4 x^3}{h^3 c^2} \cdot \frac{1}{e^x - 1} dx.$$

A integral $\int_0^{\infty} \frac{x^3}{e^x - 1} dx$ é uma integral conhecida e seu valor é $\frac{\pi^4}{15}$. Portanto, substituímos esse valor na integral:

$$E(T) = 2\pi \frac{(k_B T)^4}{h^3 c^2} \cdot \frac{\pi^4}{15}.$$

Simplificando:

$$E(T) = \frac{2\pi^5 k_B^4 T^4}{15 h^3 c^2}.$$

Essa expressão é proporcional à densidade de energia total irradiada por unidade de área de um corpo negro, que é a base da Lei de Stefan-Boltzmann. A densidade de energia total $E(T)$ é proporcional a T^4 , confirmando a relação encontrada anteriormente, de forma empírica:

$$E(T) = \sigma \cdot T^4.$$

De modo que,

$$\sigma = \frac{2\pi^5}{15c^2} \cdot \frac{k_b^4}{h^3},$$

onde σ é conhecida como a constante de Stefan-Boltzmann, tendo o valor aproximado de $\sigma = 5,6704 \cdot 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ quando expressa no Sistema Internacional de Unidades. É de se notar que é uma constante derivada, não sendo uma constante fundamental da natureza.

Assim, a equação de Stefan-Boltzmann pode ser descrita pela equação:

$$E_{cn} = \sigma \cdot T^4, \quad (10)$$

que estabelece uma conexão entre a radiação total emitida por um corpo negro e a quarta potência de sua temperatura absoluta.

A E_{cn} é a energia total, dada pela razão da radiação emitida por área do corpo negro (A), matematicamente:

$$E_{cn} = \frac{R_{cn}}{A}, \quad (11)$$

separando os termos podemos expressar a energia radiante pela equação:

$$R_{cn} = A \cdot \sigma \cdot T^4. \quad (12)$$

A energia radiante emitida por um corpo negro é proporcional à área da superfície do corpo negro e à quarta potência de sua temperatura absoluta. Essa relação entre a emissão de energia e a temperatura de um corpo negro tem implicações significativas em várias áreas da física, como a astronomia, a física de materiais e a termodinâmica, permitindo-nos compreender e descrever o comportamento radiativo dos corpos em diferentes temperaturas.

Para corpos que emitem radiação infravermelha de superfície, a emissão é menos eficiente do que um corpo negro e, desse modo, a equação de Stefan-Boltzmann é modificada por um coeficiente de emissividade (ϵ), que varia de 0 a 1 para o que se denomina corpo cinza (Barry e Chorley, 2013):

$$E = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4. \quad (13)$$

3.6 RADIAÇÃO SOLAR, BALANÇO DE ENERGIA E EFEITO ESTUFA

A radiação solar é fundamental para a vida na Terra, influenciando desde processos biológicos até fenômenos climáticos. Aliás, é por meio da radiação que a Terra troca energia com o restante do universo, visto que é o único meio de propagação no espaço livre (vácuo). Para a análise do efeito estufa na Terra é importante considerarmos os aspectos físicos da propagação da radiação solar até a Terra, e verificar que não somente a interação entre Sol e Terra é fundamental para a manutenção da temperatura em nosso planeta, mas também a interação da própria Terra com a atmosfera (Press et al., 2006).

É possível estimar a radiação solar emitida para o espaço, pressupondo-se uma temperatura de 5800 K para o Sol, aplicando a equação de Stefan-Boltzmann para um corpo negro:

$$E_{Sol} = \sigma \cdot 5800^4 = 6,42 \cdot 10^7 W \cdot m^2.$$

Considerando o Sol como uma esfera, a área total de sua superfície pode ser calculada através da fórmula da área de uma esfera: $A = 4\pi R_s^2$, onde A representa a área total e R_s é o raio do Sol, cujo valor em metros é de $6,955 \cdot 10^8$. A potência do Sol pode ser calculada utilizando a relação R_{cn} , que envolve a energia total emitida e a área sobre a qual essa energia é distribuída:

$$P_{sol} = R_{cn} = E_{sol} \cdot A, \quad (14)$$

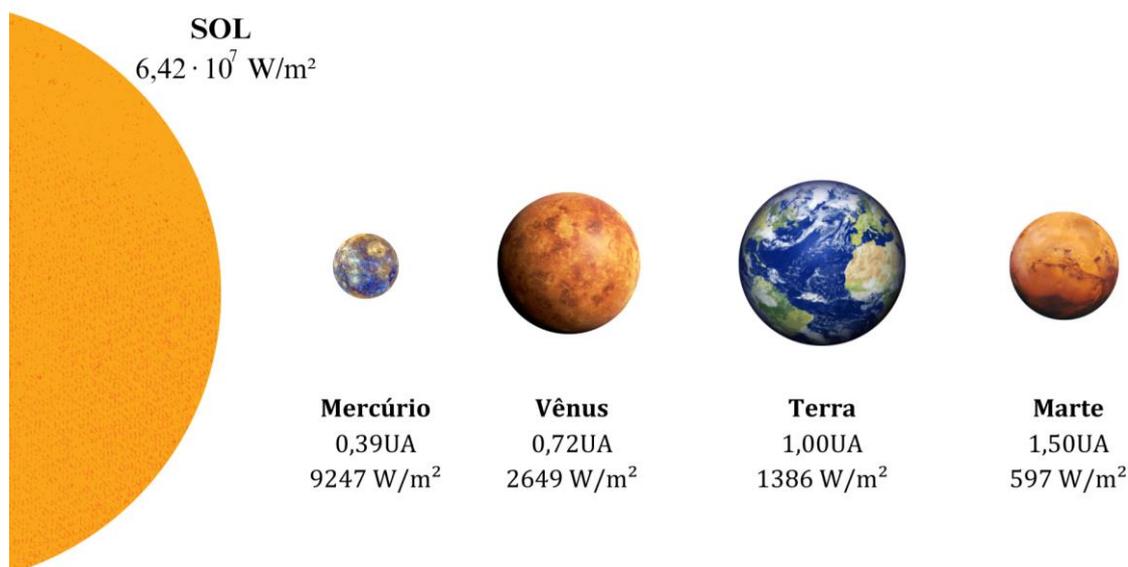
$$P_{sol} = 3,89 \cdot 10^{26} W.$$

Cerca de $3,89 \cdot 10^{26} W$, ou $3,89 \cdot 10^{26} J \cdot s^{-1}$, são produzidos pelo Sol e emitidos ao espaço. No entanto, apenas uma fração dessa energia é recebida pelos planetas. Quanto mais próximo do Sol um planeta está, maior é a quantidade de energia que ele intercepta. Isso ocorre porque o fluxo de energia recebida é inversamente proporcional ao quadrado da distância da fonte de radiação. De acordo com Incropera e Dewitt (2000), essa relação é expressa pelo fator $\left(\frac{R_s}{r_d}\right)^2$, onde r_d é a distância média do planeta ao Sol. Dessa forma, podemos estimar o fluxo de energia (S) recebida pelos planetas, baseando-se nas suas distâncias médias (r_d) até o Sol como fator multiplicador da radiação total produzida pelo Sol. Considerando apenas os planetas telúricos ou rochosos do sistema solar, a Figura 3.6 ilustra fora de escala a relação da proximidade do corpo celeste com o Sol e a radiação interceptada utilizando a Eq. 15. É preciso

considerar que o planeta esteja perpendicular aos raios luminosos, ou seja, sem inclinação no seu eixo de precessão:

$$S_{planeta} = E_{sol} \cdot \left(\frac{R_s}{r_d}\right)^2. \quad (15)$$

Figura 3.6 - Ilustração sem escala das distâncias dos planetas telúricos com relação ao Sol, contendo suas distâncias em UA e radiação interceptada.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Compilando os dados dos planetas e convertendo as distâncias de Unidades Astronômicas (UA) para quilômetros, a Tabela 3.1 exibe as informações obtidas.

Tabela 3.1 - Relação entre a distância média do Sol para os planetas e o fluxo de energia correspondente.

Planeta	Distância média (r_d)	Fluxo de energia (S)
Mercúrio	57.910.000 km	9247 W · m ⁻²
Vênus	108.200.000 km	2649 W · m ⁻²
Terra	149.600.000 km	1386 W · m ⁻²
Marte	227.940.000 km	597 W · m ⁻²

Fonte: Elaborado pelo autor.

Portanto, quanto mais próximo do Sol, maior é o fluxo de energia interceptado pelo planeta, na sua camada mais externa da atmosfera. Esse fluxo de energia recebido na alta atmosfera da Terra é denominada Constante Solar (S_c) e medidas de satélite indicam um valor de cerca de $S_c = 1366 \pm 2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ (Barry e Chorley, 2013).

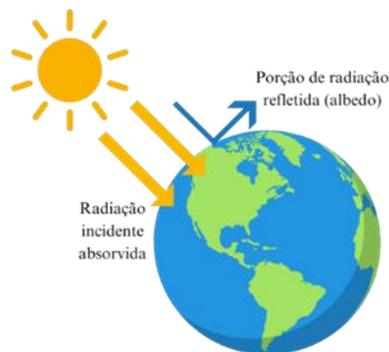
A discrepância observada está associada ao fato de termos desconsiderado o eixo de precessão e a curvatura do planeta na estimativa realizada utilizando a Eq. (14) supracitada. Considerando que apenas a região iluminada recebe a incidência dos raios solares, esse valor é então dividido por 4, para um valor médio de insolação I_{in} , além disso deve-se levar em conta o albedo planetário α :

$$I_{in} = \frac{S_c}{4} (1 - \alpha). \quad (16)$$

3.6.1 Albedo

Embora a maior parte da energia solar seja absorvida pelo planeta, uma fração dela é devolvida ao espaço após refletir nas nuvens ou na superfície planetária (Junges et al., 2018). O termo (α) refere-se ao albedo, uma porção da radiação incidente que é refletida não sendo aproveitada na absorção, expresso como uma fração ou porcentagem. A palavra albedo tem origem no latim, *albus*, que significa branco, já que um corpo perfeitamente branco refletiria toda a energia solar, diferentemente de um corpo negro (Press et al., 2006).

Figura 3.7 - O albedo é porção de radiação incidente que não é absorvida pela Terra, sendo refletida de volta para o espaço.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O albedo é definido pela razão da radiação refletida pela radiação incidente. Para um corpo negro, cuja absorção é máxima, o valor do albedo seria 0,0 ou 0%, enquanto para um corpo perfeitamente branco, cuja reflexão é máxima, o valor seria 1,0 ou 100%. O valor de albedo médio para o planeta Terra é de 0,31 (Barry & Chorley, 2013). Assim, podemos interpretar que 31% da radiação é refletida de volta ao espaço.

Na Figura 3.7, o conceito de albedo é ilustrado como forma de reflexão da radiação solar pela atmosfera e pela superfície. Gelo e nuvens possuem um albedo maior do que regiões rochosas ou florestas porque são superfícies altamente refletivas. Isso significa que eles refletem uma quantidade maior de luz solar de volta para a atmosfera. Enquanto o gelo e as nuvens são eficazes em refletir a luz solar devido à sua textura e composição, superfícies rochosas e florestas, que absorvem mais luz, têm um albedo mais baixo.

De acordo com Press et al. (2006), aproximadamente 22% da energia solar incidente é refletida pelas nuvens e cerca de 9% é refletida pela superfície terrestre. Esses valores representam as frações da radiação solar que são refletidas sem absorção, compondo o albedo da Terra.

O albedo da Terra é 4,5 vezes maior que o albedo lunar, que é de apenas 0,07, ou seja, a Lua só reflete 7% da radiação solar. Vênus, no entanto, devido a suas densas nuvens absorve apenas 25% da radiação incidente, ou seja, seu albedo é 0,75. (de Pater e Lissauer, 2001).

3.6.2 Balanço de energia para um planeta sem atmosfera

Sabe-se que apenas o lado iluminado do planeta recebe a radiação solar portanto, com os valores apresentados acima, é possível estimar a insolação média absorvida pela superfície (I_{in}):

$$I_{in} = \frac{1366}{4} (1 - 0,31) = 235,635 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$$

Considerando o conceito de balanço de energia planetária proposto por Fourier, podemos equivaler as radiações de absorção das ondas curtas provindas do Sol com as ondas longas emitidas pela Terra (Pierrehumber, 2004). Devemos também considerar a Lei de

Kirchhoff que diz que, em equilíbrio termodinâmico, a emissividade de uma superfície deve ser igual à absorvidade (Barbosa, 2014):

$$I_{\text{absorção}} = I_{\text{emissão}},$$

de forma que a energia absorvida é dada pelo produto da radiação emitida pelo Sol interceptada pelo planeta (S) com a área de secção transversal (πR^2), sendo R o raio do planeta, com o valor complementar do albedo ($1 - \alpha$):

$$I_{\text{absorção}} = I_{\text{ab}} = S \cdot \pi R^2 \cdot (1 - \alpha).$$

Enquanto a emissão é um produto da equação de Stefan-Boltzmann com a área total da Terra, considerando o emissor como um corpo negro:

$$I_{\text{emissão}} = I_e = \sigma T^4 \cdot 4\pi R^2.$$

Igualando as equações podemos determinar a temperatura efetiva de radiação do sistema no equilíbrio:

$$\sigma T^4 \cdot 4\pi R^2 = S \cdot \pi R^2 \cdot (1 - \alpha),$$

$$4\sigma T^4 = S \cdot (1 - \alpha),$$

$$T = \left(S_c \cdot \frac{(1 - \alpha)}{4\sigma} \right)^{\frac{1}{4}},$$

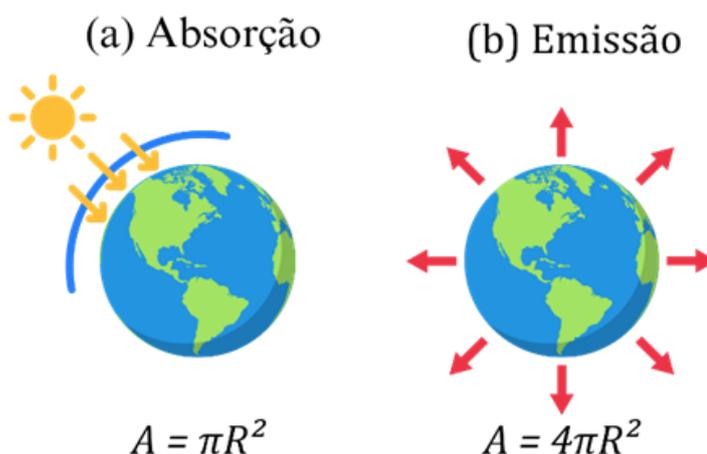
Portanto a temperatura efetiva da Terra é dada pela equação:

$$T = \left(\frac{I_{\text{in}}}{\sigma} \right)^{\frac{1}{4}}. \quad (17)$$

Assumindo o valor do albedo $\alpha = 0,31$, a constante solar $S_c = 1366 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ além da constante de Boltzmann se chega num valor de temperatura efetiva ou da superfície terrestre de

$T = 255 \text{ K}$. Essa temperatura é equivalente a $\theta_c = -18 \text{ }^\circ\text{C}$, uma temperatura extremamente baixa que talvez impossibilitasse o desenvolvimento da vida como a conhecemos.

Figura 3.8 - A área de secção transversal do planeta que absorve a radiação solar é definida por $A = \pi R^2$, pois apenas a face voltada para o Sol recebe a radiação, enquanto em (b) a emissão da radiação infravermelha é dada pela área total da esfera $A = 4\pi R^2$, pois toda a superfície irá “reemitir” a radiação absorvida na temperatura efetiva da superfície terrestre.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 3.8 apresenta a geometria relevante para a absorção da radiação solar pelo planeta e a subsequente emissão de radiação pela Terra. A área da esfera que efetivamente recebe a energia solar é igual a um quarto da área superficial total. Isso ocorre porque a energia solar incide sobre a esfera de forma perpendicular à sua superfície, correspondendo a uma seção transversal circular com área $\frac{1}{4} \cdot 4\pi r^2$ ou seja πr^2 . No entanto, a emissão da radiação ocorre em toda a sua superfície, que é a sua área total da esfera, ou seja, $4\pi r^2$ quando o planeta atinge a temperatura de equilíbrio térmico. A condição de equilíbrio térmico ocorre quando um sistema, como um planeta, atinge um estado em que a energia absorvida é igual à energia emitida, resultando em uma temperatura constante.

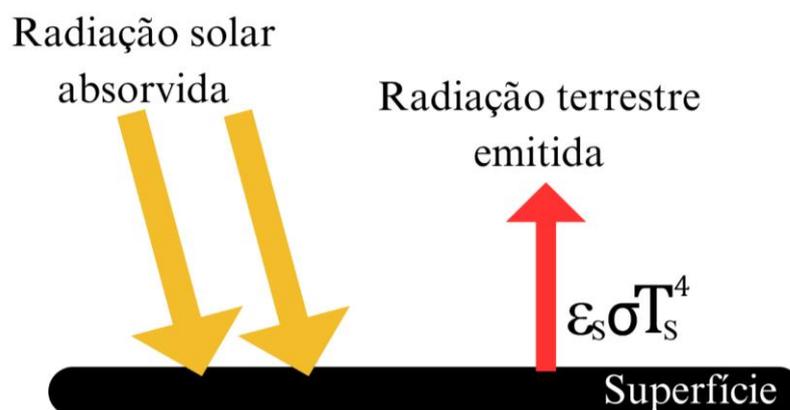
Porém, a temperatura média da Terra é de $15 \text{ }^\circ\text{C}$, ou na escala absoluta, 288 K . A diferença de $33 \text{ }^\circ\text{C}$ é um resultado do efeito estufa (Press et al., 2006).

3.6.3 O efeito estufa

Considerando a influência da atmosfera planetária como a causa da contenção por meio de gases estufa, pode-se observar que o planeta terá uma menor eficiência na irradiação da energia solar de volta ao espaço em comparação com um planeta desprovido de atmosfera. No entanto, para alcançar um estado de equilíbrio térmico, a temperatura superficial desse planeta será mais elevada. Essa dinâmica ocorre devido à atuação da atmosfera como uma espécie de “vidro” em uma estufa, permitindo a passagem da energia solar de comprimento de onda curto através dela, enquanto aprisiona a radiação de comprimento de onda longo, associada ao calor, de espectro infravermelho, emitida pela superfície terrestre. Esse fenômeno é conhecido como efeito estufa (Press et al., 2006; Hewitt, 2011).

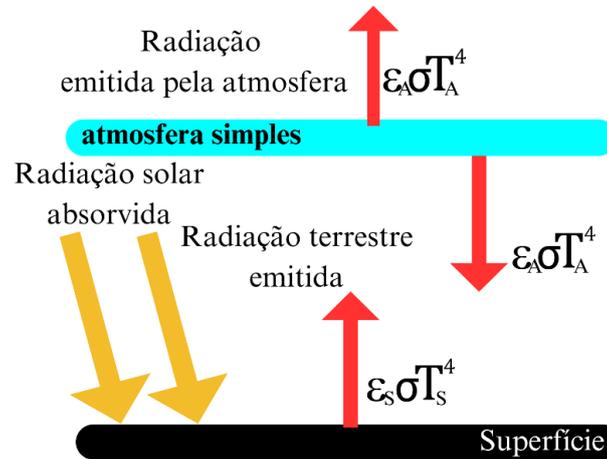
A Figura 3.9 ilustra o caso apresentado anteriormente com o cálculo da equação de Stefan-Boltzmann desconsiderando a atividade da atmosfera de reter parte da radiação emitida pelo planeta. Já na Figura 3.10, inserindo uma atmosfera simples, com temperatura constante, o balanço de energia é alterado.

Figura 3.9 - Sem a atmosfera, a superfície absorve a radiação solar e reemite após atingir sua temperatura de equilíbrio de forma direta.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3.10 - Em uma atmosfera simples, a energia reemitida pela superfície é devolvida para o meio interagindo novamente com a superfície, portanto, aquecendo mais.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste novo estado, a presença da atmosfera acima significa que há um termo fonte adicional: radiação infravermelha descendente da atmosfera:

$$\epsilon_s \sigma T_s^4 = \frac{S_c}{4} \cdot (1 - \alpha) + \epsilon_A \sigma T_A^4. \quad (18)$$

Na Eq. (18), o termo à esquerda da igualdade representa a radiação emitida pela superfície e à direita, as duas fontes de radiação, a incidência solar e a radiação provinda da atmosfera.

Neste caso simplificado de modelo de uma camada atmosférica, podemos sugerir que a temperatura de equilíbrio da atmosfera é a mesma da superfície para o caso sem atmosfera, interagindo diretamente com o espaço, já calculado no valor de temperatura absoluta sendo 255 K.

Considerando os valores de emissividade da superfície e da atmosfera, respectivamente, $\epsilon_s = 0,95$ e $\epsilon_A = 0,75$ (Barbosa, 2014) e os valores das constantes anteriores, podemos estimar a temperatura da superfície para o caso do planeta com uma atmosfera simples:

$$\epsilon_s \sigma T_s^4 = \frac{S_c}{4} \cdot (1 - \alpha) + \epsilon_A \sigma T_A^4,$$

$$0,95\sigma T_s^4 = \frac{1366}{4} \cdot (1 - 0,31) + 0,75\sigma 254^4,$$
$$\sigma T_s^4 = \frac{41200}{95},$$
$$T_s = 295 \text{ K}.$$

Nessa condição, o valor da temperatura superficial de equilíbrio da Terra tem o valor de 295 K ou aproximadamente 22 °C, um valor maior que a temperatura medida. Essa diferença pode ser explicada pela simplificação do modelo, uma vez que a atmosfera não é uma única camada, nem homogênea na composição nem com temperatura constante. Trata-se de um modelo simples, análogo ao da estufa de vidro, em que há apenas uma camada.

Ao atuar como uma camada de isolamento térmico, a atmosfera retém parte do calor irradiado pelo planeta, calor este proveniente do aquecimento devido à radiação absorvida. Isso resulta no aquecimento da atmosfera e da superfície, levando ao aumento da temperatura média do planeta. Da mesma forma, o vidro é transparente à radiação de comprimento de onda curto da luz visível, mas opaco aos comprimentos longos, da radiação infravermelha.

Em estufas de floricultura, a energia irradiada pelas plantas tem comprimentos de onda longos, mantendo-se aprisionados na estufa, não trocando calor com o ar externo. Assim, não há troca de calor por convecção do ar interno com o externo, de forma que a temperatura dentro da estufa é superior à temperatura do ambiente externo.

O mesmo efeito pode ser observado em um automóvel estacionado em uma rua sob o Sol em um dia quente, com as janelas fechadas. A radiação solar atravessa o vidro das janelas e é absorvida pelos elementos internos do carro. Essa energia é então reemitida em comprimentos de onda mais longos, como radiação infravermelha. A radiação infravermelha não é capaz de atravessar o vidro das janelas, ficando aprisionada no interior do veículo, resultando no aumento da temperatura interna (Hewitt, 2011).

3.7 GASES DO EFEITO ESTUFA

A atmosfera é composta por uma mistura de gases, sendo os principais o nitrogênio molecular, que representa cerca de 78% do volume do ar seco, e o oxigênio, que corresponde a aproximadamente 21% do volume do ar seco. Ela é dividida em 5 camadas, a troposfera, a mais

próxima da superfície, a estratosfera, a mesosfera, a termosfera e a exosfera, sendo a última a camada mais externa (Press et al., 2006; Barry & Chorley, 2013).

Além do nitrogênio e oxigênio, há diversos gases em menor quantidade, como o argônio, dióxido de carbono, metano e vapor d'água, aerossóis entre outros. Dentre esses gases, alguns são classificados como gases do efeito estufa, sendo responsáveis por tornar a atmosfera similar ao vidro de uma estufa. Apesar da relativa escassez, os gases estufa desempenham um papel crucial na termodinâmica da atmosfera.

Os gases do efeito estufa (GEE) não absorvem a radiação direta do Sol, cujas ondas possuem comprimentos mais curtos devido à sua temperatura extremamente alta. Em vez disso, eles absorvem a radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra, que, por sua vez, tem uma temperatura significativamente mais baixa. Isso resulta em ondas de radiação com comprimentos maiores, uma vez que a frequência é menor. Os gases do efeito estufa, ao reemitir essa radiação em todas as direções, contribuem para o aquecimento do planeta.

Os principais gases de efeito estufa na atmosfera da Terra são:

- **Vapor de água:** O gás de efeito estufa mais abundante, responsável pela maior parte do efeito estufa natural.
- **Dióxido de carbono (CO₂):** O segundo gás de efeito estufa mais abundante, liberado por processos naturais e atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis.
- **Metano (CH₄):** Um gás de efeito estufa mais potente que o CO₂, mas menos abundante, liberado por processos naturais e atividades humanas, como a pecuária.
- **Óxido nítrico (N₂O):** Outro gás de efeito estufa potente, liberado por processos naturais e atividades humanas, como o uso de fertilizantes.
- **Ozônio (O₃):** Encontrado na estratosfera, absorve a radiação ultravioleta do Sol, mas também é um poluente do ar na troposfera.

Outros gases de efeito estufa incluem clorofluorcarbonos (CFCs), hidrofluorcarbonos (HFCs) e perfluorcarbonos (PFCs). Esses gases são todos sintéticos e não são encontrados na natureza. Eles são usados em uma variedade de aplicações, incluindo refrigeração, ar-condicionado e fabricação de espuma. (Easterbrook, 2016)

Embora o H₂O seja o principal gás do efeito estufa na atmosfera, o segundo mais abundante, o CO₂, é famoso porque a contribuição dos humanos para ele na atmosfera tem aumentado de maneira constante. Infelizmente, o aquecimento adicional devido a esse CO₂ pode desencadear a liberação de mais H₂O ainda. Assim,

nossa presente preocupação ambiental diz respeito a essa combinação das crescentes quantidades dessas moléculas na atmosfera, que aumentaria ainda mais a temperatura e produziria um novo balanço desfavorável à biosfera. (Hewitt, 2012, p.296)

Há diferenças significativas entre o vapor de água e o CO₂ como gases de efeito estufa. O CO₂, por exemplo, é um gás não condensável, o que significa que pode permanecer na atmosfera por longos períodos, chegando a durar centenas de anos. Em contrapartida, o vapor d'água é um gás estufa condensável, e sua concentração na atmosfera é regulada pela temperatura, e não o contrário. Isso quer dizer que existe uma quantidade máxima de vapor d'água que a atmosfera pode conter a uma determinada temperatura, e qualquer excesso condensa, formando nuvens e precipitação. (Jungles, 2013)

Dessa forma, o vapor d'água não pode iniciar um processo de aquecimento, como ocorre ao fim de uma era glacial. Apenas gases de efeito estufa não condensáveis, como o CO₂, ou outros fatores climáticos, como a radiação solar ou os ciclos de Milankovitch, são capazes de desencadear tal aquecimento (Mason, 2023).

Nesse contexto, o papel fundamental do vapor d'água é servir como um mecanismo de retroalimentação: uma vez iniciado o aquecimento por uma força externa, como o CO₂, o vapor d'água intensifica esse aquecimento ao amplificar o efeito estufa. Além disso, evidências obtidas de amostras de gelo perfuradas na Antártica e Groenlândia revelam uma correlação direta entre o CO₂ e as flutuações das eras glaciais no passado. Apesar de Fourier ter sido o pioneiro na apresentação dos conceitos iniciais do que posteriormente ficou conhecido como efeito estufa, foi o cientista sueco Svante Arrhenius quem primeiro propôs que o dióxido de carbono, um subproduto da queima de combustíveis fósseis, era responsável pelo aumento de temperatura na Terra (Barry e Chorley, 2013).

Capítulo 4

O PRODUTO EDUCACIONAL

“A ciência é a aproximação progressiva do homem com o mundo real.”

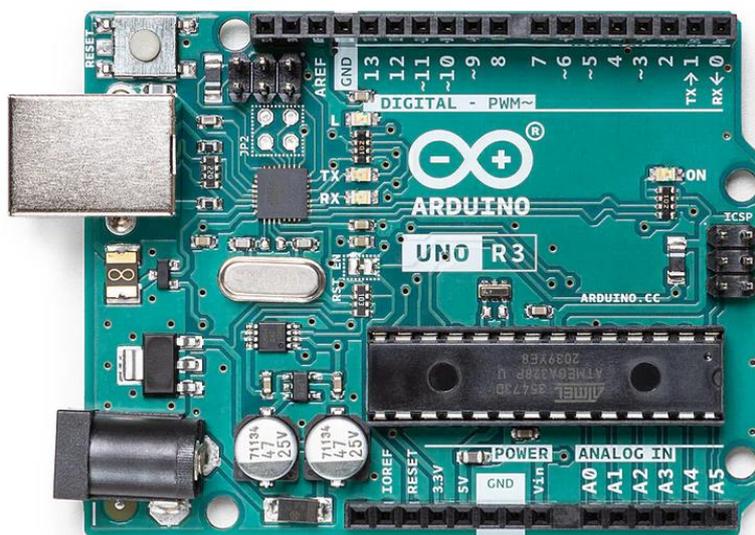
- Max Planck

Orientados pelo anseio de promover uma abordagem educacional onde o estudante assume uma posição protagonista na assimilação do conhecimento, neste trabalho propõe-se a integração de tecnologias cotidianas ao processo de aprendizagem. O cerne dessa metodologia é a implementação de um produto educacional: uma aplicação baseada no microcontrolador ESP32, equipada com dois sensores de temperatura DHT11, integrando a tecnologia da Internet das Coisas. Este sistema permitirá aos alunos a oportunidade de engajamento ativo na coleta de dados experimentais, por meio de um acesso remoto que facilita a obtenção de medições de temperatura internas e externas de uma estufa de vidro, ambas situadas em áreas com condições coletoras similares.

Detalharemos cada etapa do desenvolvimento deste produto, desde a concepção inicial até a sua aplicação prática, enfatizando como esta ferramenta pode transformar a experiência educacional ao possibilitar uma interação direta e significativa dos estudantes com o processo científico.

4.1 ARDUINO E ESP32

Figura 4.1 - Arduino UNO.



Fonte: ARDUINO - Site oficial da plataforma aberta Arduino. Disponível em < <https://www.arduino.cc/>>. Acesso em 20 de agosto de 2023.

Em 2005, um grupo de pesquisadores italianos criou o Arduino, um produto revolucionário projetado para facilitar a conexão entre diversos componentes eletrônicos, como motores e sensores, com variadas funcionalidades e aplicações.

Arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar. As placas Arduino são capazes de ler entradas – luz em um sensor, um dedo em um botão ou uma mensagem do Twitter – e transformá-las em uma saída – ativando um motor, ligando um LED, publicando algo online. Você pode dizer à sua placa o que fazer enviando um conjunto de instruções ao microcontrolador da placa. Para isso utiliza-se a linguagem de programação Arduino (baseada em Wiring), e o Software Arduino (IDE), baseado em Processing (Arduino, 2018).

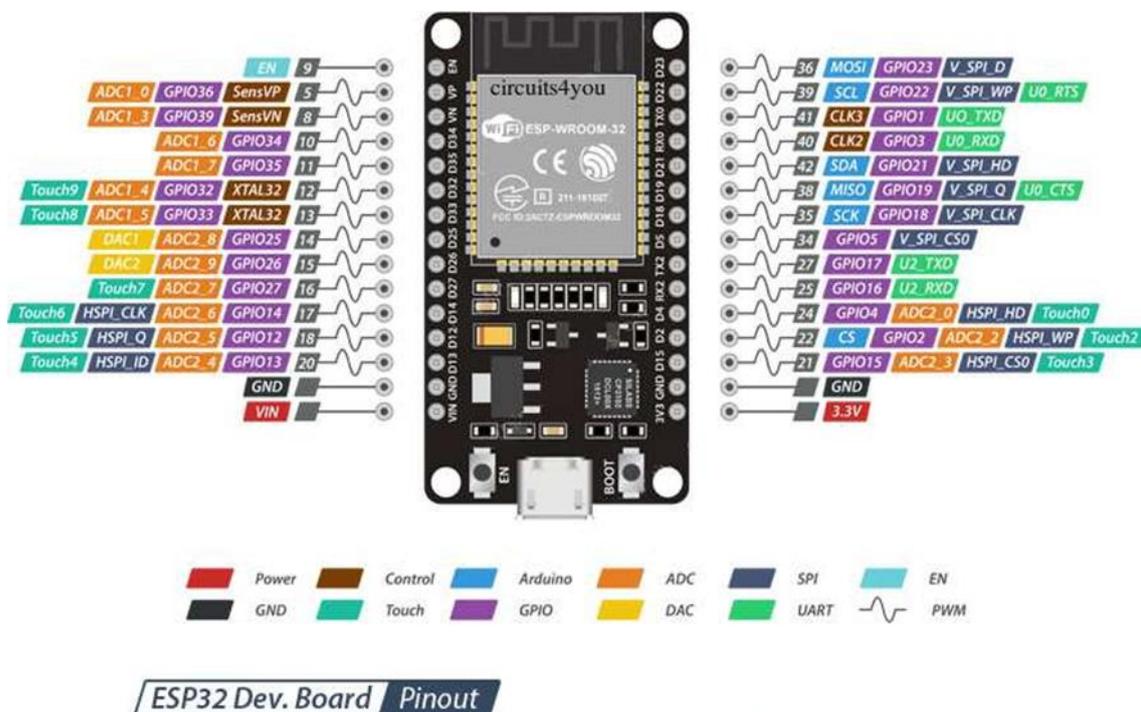
A intuitividade e a simplicidade de operação da plataforma Arduino têm sido fatores cruciais para sua popularidade e ampla adoção em uma infinidade de projetos em variados contextos, destacando-se notavelmente no ambiente educacional. Esta acessibilidade permite que professores e estudantes a empreguem como uma ferramenta eficaz para a criação de instrumentos científicos de relativo baixo custo, facilitando a demonstração de conceitos

fundamentais de Química e Física de maneira prática. Além disso, o Arduino serve como um ponto de entrada acessível para o mundo da programação e da robótica, estimulando o interesse e o desenvolvimento de competências técnicas essenciais no âmbito escolar. O Arduino, dependendo do modelo, oferece uma variedade de portas de entrada e saída (denominadas GPIOs do inglês: General Purpose Input/Output) que variam em quantidade. Por exemplo, o Arduino Uno apresentado na Figura 4.1, um dos modelos mais populares, possui 14 pinos digitais de entrada/saída (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM – do inglês: *Pulse Width Modulation*), que são utilizadas para controlar a quantidade de energia entregue a dispositivos, ajustando a largura dos pulsos do sinal, e 6 pinos de entrada analógica, que permitem o processamento de valores contínuos como sinais de temperatura, pressão, luz entre outros dados captados por sensores.

Enquanto o Arduino UNO é uma plataforma amplamente reconhecida e celebrada por sua simplicidade de uso e aplicabilidade extensiva em projetos de eletrônica e robótica educacionais, o ESP32 emerge como um microcontrolador distintivo, notável por sua conectividade integrada, desempenho superior e eficiência energética. Devido a essas características, este microcontrolador se posiciona como uma opção atrativa para projetos de Internet das Coisas e outras aplicações que requerem capacidades avançadas de processamento e comunicação.

Lançado no mercado em setembro de 2016 pela *Espressif Systems*, o ESP32 é um dispositivo de baixo custo que incorpora Wi-Fi e Bluetooth, oferecendo uma solução integrada para uma ampla gama de aplicações de conectividade. Suas funcionalidades avançadas, aliadas a um custo competitivo, tornam-no uma escolha valorizada entre desenvolvedores e entusiastas da tecnologia para a implementação de projetos inovadores que vão além das possibilidades oferecidas pelo Arduino, já que possui 34 pinos de entrada e saída para propósito gerais (GPIOs) apresentado na Figura 4.2. Além disso, os custos associados ao Arduino e ao ESP32 são comparativamente similares, embora o ESP32 tenda a ser ligeiramente mais acessível (Kolban, 2017).

Figura 4.2 - O diagrama detalhado mostra a pinagem da placa de desenvolvimento ESP32 DevKitC V4, que utiliza o módulo ESP32-WROOM-32. A placa possui 34 pinos GPIO que podem ser usados para diversos fins, como entrada e saída digital, comunicação serial, PWM, ADC (conversores de sinais analógico para digitais) e DAC (conversores de sinais digitais para analógicos).



Fonte: Circuits 4 you – Site de disponibilização de circuitos para internet das coisas.

Disponível em < <https://circuits4you.com/>>. Acesso em 22 de agosto de 2023.

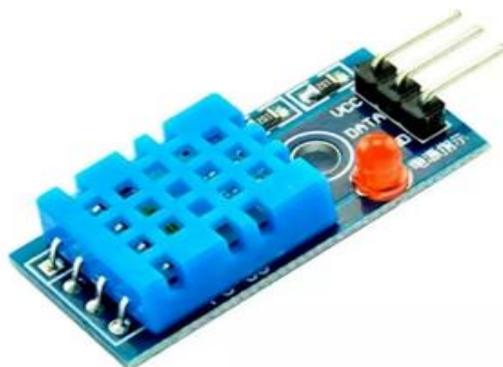
Os pinos GPIO são fundamentais na interação de microcontroladores com o mundo externo, permitindo a conexão e controle de uma vasta gama de componentes eletrônicos, como sensores, atuadores, e outros circuitos. O DOIT Esp32 DevKit v1, com sua configuração de 30 pinos, oferece uma rica seleção de 25 pinos GPIO. Estes pinos operam em níveis de tensão de 0V (nível lógico baixo) e 3,3V (nível lógico alto), sendo essenciais para definir os estados digitais 0 e 1, respectivamente. É importante notar que estes pinos não são tolerantes a 5V, o que significa que a aplicação de tensões superiores a 3.3V pode danificar o dispositivo. Cada pino GPIO é capaz de fornecer ou receber uma corrente máxima de 12mA, o que é adequado para a maioria das aplicações de baixa potência em projetos de eletrônica e IoT (Albuquerque, 2020).

4.2 SENSOR DHT11

O DHT11 é um sensor altamente eficiente e econômico, projetado para medição de umidade relativa do ar e temperatura, oferecendo leituras dentro de uma faixa de 0°C a 50°C com uma margem de erro de $\pm 2^\circ\text{C}$ para temperatura e de $\pm 5\%$ para a umidade relativa do ar. Este módulo sensor proporciona uma saída de sinal digital calibrada, facilitando a integração e a leitura dos dados. O sensor combina um componente de medição de umidade de tipo resistivo e um sensor de temperatura do tipo NTC (*Negative Temperature Coefficient*, do Inglês, Coeficiente de Temperatura Negativo), todos controlados por um microcontrolador de 8 bits embutido, que contribui para a precisão das leituras e a estabilidade a longo prazo dos dados coletados (Srivastava, Kesarwani e Dubey, 2018).

É importante destacar que o DHT11 está disponível tanto na forma de sensor quanto na de módulo, ilustrada na Figura 4.3. A versão do sensor puro é ideal para integradores de sistemas que preferem uma solução mais personalizada e estão dispostos a desenvolver sua própria eletrônica de interface. Por outro lado, o módulo DHT11 inclui o sensor juntamente com os componentes necessários para facilitar a conexão direta com microcontroladores, como resistores e um circuito para a comunicação serial de fio único. Esta versão em módulo se mostra particularmente valiosa para aqueles em busca de uma solução imediatamente aplicável, permitindo uma integração ágil em projetos, tal como neste produto educacional.

Figura 4.3 - Módulo sensor DHT11



Fonte: [Mlstatic e-commerce site](https://mlstatic.com). Disponível em:

https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_2X_950330-MLB70477577622072023-F.webp.

Acesso em 23 de agosto de 2023.

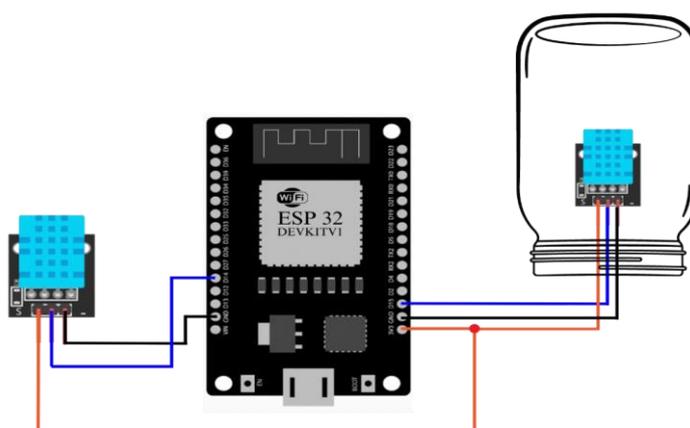
A comunicação do DHT11 ocorre por meio de um protocolo de comunicação serial de fio único, exigindo uma sequência específica de inicialização seguida de um atraso de tempo, com o processo de transmissão totalizando aproximadamente 4ms. Esta eficiência na comunicação aliada ao baixo consumo de energia faz do DHT11 uma escolha excelente para uma variedade de aplicações, desde automação residencial até monitoramento ambiental em pesquisas científicas (Srivastava, Kesarwani e Dubey, 2018).

4.3 CONSTRUÇÃO DO APARATO

A proposta deste trabalho consiste na elaboração de um sistema que simule o funcionamento de uma estufa utilizando um pote de vidro, visando manter o custo do equipamento em um patamar acessível. Para alcançar esse objetivo, o projeto incorporou o uso do microcontrolador ESP32, juntamente com dois sensores de temperatura DHT11.

Na Figura 4.4, são ilustradas as conexões entre os sensores e as portas do ESP32, detalhando como cada sensor está integrado ao microcontrolador no protótipo experimental.

Figura 4.4 - Esquema de conexão do ESP32 com os sensores DHT. Um dentro da estufa (direita) e outro fora da estufa (esquerda).



Fonte: Elaborado pelo autor.

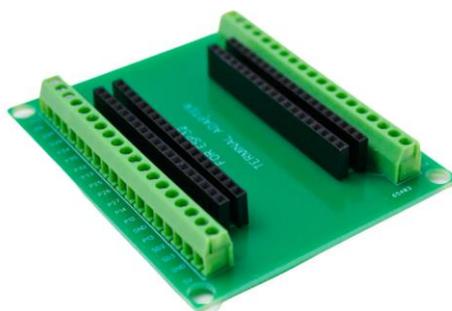
A linha azul simboliza as conexões digitais, com um sensor ligado à porta D14 e o outro à porta D15, permitindo a comunicação digital entre os sensores DHT11 e o ESP32 para a transmissão de dados de temperatura e umidade. A linha vermelha indica a alimentação de 3.3V, fornecendo a tensão necessária para o funcionamento dos sensores. Essa conexão assegura que eles recebam energia de forma compatível com suas especificações de operação, o que é crucial para evitar danos aos componentes e garantir a precisão das medições.

Finalmente, a linha preta representa a conexão ao GND (Ground, do Inglês, conexão terra), estabelecendo a referência de zero volts necessária para o circuito. Essa conexão ao aterramento é essencial para o correto funcionamento do sistema eletrônico, permitindo que a corrente flua de volta para a fonte de alimentação e criando um ponto comum de referência para todas as tensões no circuito.

Na construção do aparato experimental, consideramos propor algo mais robusto, por isso algumas adequações foram feitas no projeto por questão estética e de estabilidade mecânica, e que não alteram a proposta inicial.

Em lugar de realizar as conexões diretamente no ESP32, escolheu-se utilizar uma placa adaptadora que expande os pinos com terminais de borne para ESP32, como demonstrado na Figura 4.5.

Figura 4.5 - Placa adaptadora Expansão com borne ESP32.



Fonte: [TCDN. Suporte borne ESP32](https://images.tcdn.com.br/img/img_prod/672486/suporte_borne_esp32_1205_1_60a33b800d0e1fbca69b26e59fa72e0c.jpg). Disponível em:

https://images.tcdn.com.br/img/img_prod/672486/suporte_borne_esp32_1205_1_60a33b800d0e1fbca69b26e59fa72e0c.jpg. Acesso em 29 de agosto de 2023.

Também se decidiu pela utilização de um cabo flexível de 3 vias, apresentado na Figura 4.6, ao invés dos tradicionais jumpers. Essas modificações conferiram maior estabilidade ao protótipo, sem alterar significativamente as medições ou introduzir imprecisões em comparação com o projeto inicial que utilizava protoboard e jumpers.

Figura 4.6 - Cabo flexível de 3 vias.



Fonte: [Mlstatic e-commerce site](https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_2X_922984-MLB43464515111_092020-F.webp). Disponível em:

https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_2X_922984-MLB43464515111_092020-F.webp. Acesso em 29 de agosto de 2023.

Na sequência, na Figura 4.7, pode-se ver o aparato elaborado e construído pelo autor.

Figura 4.7 - Aparato construído pelo autor.



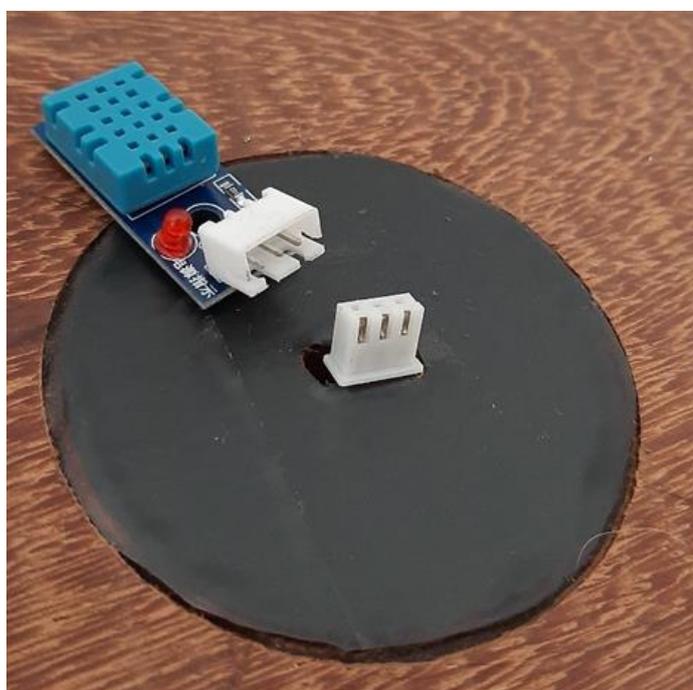
Fonte: Elaborado pelo autor.

Para acoplar o pote de vidro à base de madeira, foi feito um rasgo ajustado ao diâmetro e à altura da tampa do pote. Após fixar a tampa na base, o pote de vidro pode ser facilmente acoplado ao conjunto simplesmente rosqueando-o na tampa previamente instalada. O sensor,

por sua vez, foi conectado utilizando um cabo que percorre por baixo da base de madeira e, através de um furo, alcança o ESP32. Foi necessário também perfurar a tampa, permitindo que o cabo atravessasse para se conectar ao sensor.

Visando facilitar futuras substituições devido a eventuais problemas no sensor, optou-se por não o fixar permanentemente à base. Em vez disso, incorporou-se um conector de 3 vias embutido na base e outro no DHT11, permitindo que o sensor seja simplesmente encaixado, o que torna sua troca rápida e prática, como mostrado na Figura 4.8.

Figura 4.8 - Visão detalhada dos conectores acoplados tanto à base quanto ao sensor, projetados para simplificar o processo de conexão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

4.4 PROGRAMAÇÃO

A programação está dividida em duas partes: a primeira é o código para o ESP32, escrito na IDE Arduino, que coleta os dados dos sensores de temperatura; a segunda é o código HTML

e JavaScript que configura a página web para interagir com esses dados, apresentando-os de forma dinâmica e visualmente acessível.

O código utilizado na programação configura um servidor web assíncrono no ESP32 para monitorar dados de temperatura dos dois sensores DHT11 via uma página web. Uma explicação detalhada de cada parte do código se encontra abaixo.

No início do programa são definidas as bibliotecas. Essas bibliotecas são necessárias para conectar o ESP32 a uma rede Wi-Fi (WiFi.h), criar um servidor web assíncrono (ESPAsyncWebServer.h), manipular o sistema de arquivos SPIFFS para armazenamento de arquivos (SPIFFS.h), realizar comunicação I2C, embora não seja utilizada neste exemplo (Wire.h), e interagir com os sensores de temperatura DHT11 (DHT.h).

```
// LINK PARA INSTALAR spiffs https://blog.eletrogate.com/spiffs-  
armazenamento-de-arquivos-do-esp32/ NECESSÁRIO PARA CARREGAR ARQUIVOS  
EXTRAS.
```

```
#include <WiFi.h>  
#include <ESPAsyncWebServer.h>  
#include <SPIFFS.h>  
#include <Wire.h>  
#include "DHT.h"
```

Aqui, os pinos do ESP32 aos quais os sensores DHT11 estão conectados são definidos, bem como os tipos de sensores.

```
#define DHTPIN2 14  
  
#define DHTPIN3 15  
  
#define DHTTYPE1 DHT11  
#define DHTTYPE2 DHT11  
  
DHT dht1 (DHTPIN3, DHTTYPE1);  
DHT dht2 (DHTPIN2, DHTTYPE2);
```

Substitua "NOME DA SUA REDE" e "SENHA" pelas credenciais da sua rede Wi-Fi.

```
const char* ssid = "NOME DA SUA REDE";  
  
const char* password = "SENHA";
```

O pino 12 é definido para controlar um LED, e o servidor web é inicializado na porta 80. A função dados() coleta a temperatura dos dois sensores DHT11 e retorna uma string formatada contendo o tempo em segundos e as temperaturas.

```
const int led = 12;

AsyncWebServer server(80);

String dados() {
    float vec[2];
    unsigned long tempo_f = millis() / 1000;
    vec[0] = dht1.readTemperature();
    vec[1] = dht2.readTemperature();
    return String(tempo_f) + String(";") + String(vec[0]) + String(";") +
    String(vec[1]) + String(";") + "1";
}
```

No setup, a comunicação serial é inicializada para depuração com Serial.begin(115200), o pino do LED é configurado como saída e aceso com pinMode e digitalWrite, e o sistema de arquivos SPIFFS é montado com SPIFFS.begin(). O SPIFFS permite que o ESP32 armazene e acesse arquivos de forma eficiente, proporcionando uma maneira prática de gerenciar recursos como páginas web, configurações e dados persistentes diretamente na memória flash do dispositivo. Em seguida, o ESP32 é conectado à rede Wi-Fi com WiFi.begin(ssid, password), e o endereço IP local do ESP32 é exibido com Serial.println(WiFi.localIP()). O servidor web é configurado para servir o arquivo index.html do SPIFFS na rota raiz com server.on("/", HTTP_GET, ...), e para enviar os dados de temperatura em formato texto na rota /dado com server.on("/dado", HTTP_GET, ...). Finalmente, o servidor web é iniciado com server.begin().

```
void setup() {
    // Porta serial para fins de depuração
    Serial.begin(115200);
    pinMode(led, OUTPUT);
    digitalWrite(led, HIGH);
    bool status;

    // Iniciando SPIFFS
    if (!SPIFFS.begin()) {
        Serial.println("An Error has occurred while mounting SPIFFS");
        return;
    }

    // Conectando no WiFi
    WiFi.begin(ssid, password);
    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(1000);
        Serial.println("Connecting to WiFi..");
    }

    // Comando para mostrar na tela o endereço do IP do ESP32
```

```
Serial.println(WiFi.localIP());
server.on("/", HTTP_GET, [] (AsyncWebServerRequest * request) {
  request->send(SPIFFS, "/index.html");
});

server.on("/dado", HTTP_GET, [] (AsyncWebServerRequest * request) {
  request->send_P(200, "text/plain", dados().c_str());
});

// Inicializa o servidor
server.begin();
}

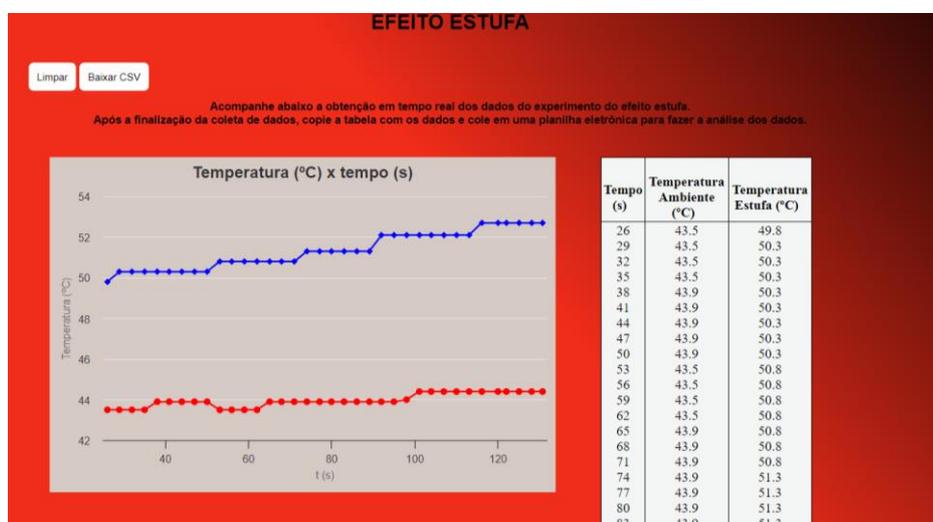
void loop() {

}
```

O loop principal está vazio porque a lógica do servidor web assíncrono não necessita de código contínuo no loop. Para que esse código funcione corretamente, é necessário que você tenha o arquivo `index.html` carregado no SPIFFS do ESP32. O link fornecido no início do código leva a um tutorial sobre como configurar e usar o SPIFFS para armazenar arquivos no ESP32. Além disso, o código pressupõe que você tenha as bibliotecas necessárias instaladas em seu ambiente de desenvolvimento (Arduino IDE, por exemplo). Certifique-se de instalar as bibliotecas `DHT sensor library` e `ESPAsyncWebServer` através do gerenciador de bibliotecas da Arduino IDE.

Para facilitar a visualização e o monitoramento desses dados em tempo real pelos estudantes, foi criada uma interface de usuário intuitiva sob a forma de uma página HTML. A Figura 4.9 ilustra a interface desenvolvida para visualização dos dados. Esta interface permite que os usuários, como estudantes, visualizem as leituras de temperatura diretamente a partir do endereço IP fornecido pelo ESP32, desde que o dispositivo de visualização (smartphone ou notebook) esteja conectado à mesma rede WiFi. baseados na Internet das Coisas.

Figura 4.9 - Interface desenvolvida em JavaScript e HTML para visualização dos dados de temperatura e do gráfico em função do tempo. A linha azul do gráfico representa a temperatura dentro da estufa, enquanto a vermelha é a temperatura medida fora da estufa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Este código HTML e JavaScript cria uma página web que monitora em tempo real o experimento, exibindo as temperaturas ambiente e da estufa em um gráfico interativo, gerado com a biblioteca Highcharts, e em uma tabela HTML. Dois botões fornecem as opções de limpar os dados coletados e baixá-los em formato CSV para análise posterior. A funcionalidade de “localStorage” é utilizada para armazenar temporariamente os dados no navegador, assegurando que as informações persistam entre as sessões de atualização. As leituras dos sensores são obtidas através de requisições periódicas, que atualizam tanto o gráfico quanto a tabela, proporcionando uma visualização contínua e em tempo real do experimento.

Esta forma de coleta de dados pode ser útil em contextos educacionais no ensino de física, onde a visualização dinâmica e a análise de dados são elementos importantes para o entendimento dos fenômenos físicos estudados, permitindo que os estudantes acompanhem a evolução dos dados em função do tempo e realizem suas análises. A interface intuitiva e interativa facilita a coleta e a manipulação de dados, enquanto a capacidade de exportação em CSV torna a análise e a integração com outras ferramentas de análise de dados mais acessíveis. Com a possibilidade de exportar um arquivo CSV (comma-separated values), que é um formato de arquivo utilizado para armazenar dados tabulares em texto simples separados por vírgulas, os estudantes podem utilizar software de planilhas, como Microsoft Excel ou Google Sheets, para plotar gráficos e realizar tratamentos estatísticos. Isso facilita a análise final dos dados do experimento, permitindo uma compreensão mais aprofundada e precisa dos resultados obtidos.

Capítulo 5

APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

“Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, é uma abertura para achar as que estão certas.”

- Carl Sagan

5.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O produto educacional foi aplicado em uma instituição de ensino da rede privada, localizada no município de Itapetininga, no interior do estado de São Paulo. Esta instituição se destaca pela oferta diversificada de laboratórios didáticos, visando fomentar a convergência entre as vertentes da cultura maker com atividades “mão na massa”, cultura digital através do uso de diversas tecnologias como notebooks e smartphones, práticas experimentais e o sociointeracionismo.

Nesse contexto, o produto educacional harmoniza-se com as diretrizes pedagógicas da escola, sendo incorporado ao material didático da disciplina de Tópicos Avançados em Ciências da Natureza. Essa disciplina, ministrada em dupla docência pelos professores de Física e Química da instituição, tem a finalidade de imergir os estudantes nas práticas experimentais envolvendo conceitos desses dois componentes curriculares.

A aplicação do produto educacional está em harmonia com as diretrizes da BNCC, que enfatiza o uso de tecnologias digitais de informação e comunicação (TDICs) para promover a aprendizagem ativa e contextualizada. A escola, ao valorizar práticas experimentais e o sociointeracionismo, corrobora a competência geral 5 da BNCC, que incentiva o uso

significativo de recursos digitais, preparando os alunos para interagir com um mundo cada vez mais tecnológico e interdisciplinar.

A turma selecionada para a aplicação do produto está inserida no contexto do Novo Ensino Médio, matriculada no segundo ano do ano de 2023. Todos os estudantes, para além do currículo regular, também estão matriculados em um curso técnico em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, a partir de uma colaboração com uma escola técnica integrada à unidade escolar.

É crucial salientar que as análises e resultados aqui expostos não visam generalizar a realidade do ensino de Física nas escolas de Ensino Médio brasileiras. Este estudo se restringe a uma abordagem qualitativa e quantitativa, focada no conjunto específico e limitado de amostras coletadas, reconhecendo a ausência de uma representatividade abrangente.

Vale ressaltar que o ambiente educacional em questão é singular, uma instituição que incorpora de forma proeminente a cultura digital em seu currículo escolar. Além disso, a turma selecionada, inserida no contexto do Novo Ensino Médio, não apenas recebe uma educação pautada em tecnologia, mas também possui uma formação técnica na área de programação em um curso técnico de Análise e desenvolvimento de sistemas. Essas características distintas da escola e da turma conferem particularidade aos resultados obtidos neste estudo.

Portanto, as respostas fornecidas pelos discentes nesta pesquisa, embora valiosas para a compreensão do contexto específico, devem ser interpretadas com a consciência da especificidade do ambiente educacional em foco. Esses dados podem não representar integralmente a totalidade dos conhecimentos dos alunos nas diversas escolas distribuídas pelo território brasileiro, dada a heterogeneidade das práticas educacionais em todo o país.

5.2 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DO PRODUTO

A pesquisa propõe e avalia um experimento que incorpora a IoT em conteúdos de Física e Ciências da Natureza, especificamente relacionados ao fenômeno do efeito estufa. Com o intuito de testar a proposta de maneira qualitativa, foram conduzidas oito aulas ao longo de quatro semanas, distribuídas em encontros de 100 minutos semanais. A integração de Internet das Coisas (IoT) no estudo do efeito estufa está diretamente relacionada à competência específica de Ciências da Natureza 4, que incentiva a aplicação de tecnologias emergentes para

compreender e mitigar os impactos ambientais, oferecendo aos estudantes uma oportunidade de aprendizado contextualizado e conectado aos desafios globais, como o aquecimento global. Durante a aplicação, foram delineados seis momentos distintos para coleta e análise de dados.

5.2.1 Aplicação do Pré-Teste

No primeiro momento, foi aplicado um questionário digital de 50 minutos, composto por dez perguntas sobre o efeito estufa. O questionário está disponível no apêndice D deste trabalho. Essa avaliação ocorreu presencialmente durante o período de aula na escola, visando analisar o conhecimento prévio dos alunos sobre o tema. A aplicação foi no laboratório de informática no formato de um formulário digital como ilustrado na Figura 5.1. A intenção era obter uma visão inicial do entendimento do fenômeno, permitindo, posteriormente, a comparação com um teste semelhante aplicado após a atividade proposta. Com o propósito de promover uma aprendizagem significativa, esses conhecimentos prévios foram considerados no planejamento dos encontros subsequentes. A abordagem adotada alinha-se com a teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, que enfatiza a importância de estabelecer conexões entre os novos conteúdos e os conhecimentos prévios dos alunos, aqui referidos como subsunçores. Ao considerar os conhecimentos anteriores dos estudantes sobre o efeito estufa, proporcionamos uma base cognitiva sólida para a assimilação de informações subsequentes.

Ao aplicar o questionário inicial, buscamos não apenas avaliar o entendimento prévio dos alunos, mas também identificar os subsunçores relevantes relacionados ao fenômeno em questão. Essa abordagem proativa visa criar um ambiente propício à aprendizagem significativa, na qual os novos conhecimentos podem ser integrados e ancorados aos conceitos já existentes na estrutura cognitiva dos estudantes, promovendo uma compreensão mais profunda e duradoura.

Figura 5.1 - Alunos realizando o Pré-Teste no Laboratório de Informática Educacional da Escola.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.2 Construção e programação do aparato experimental

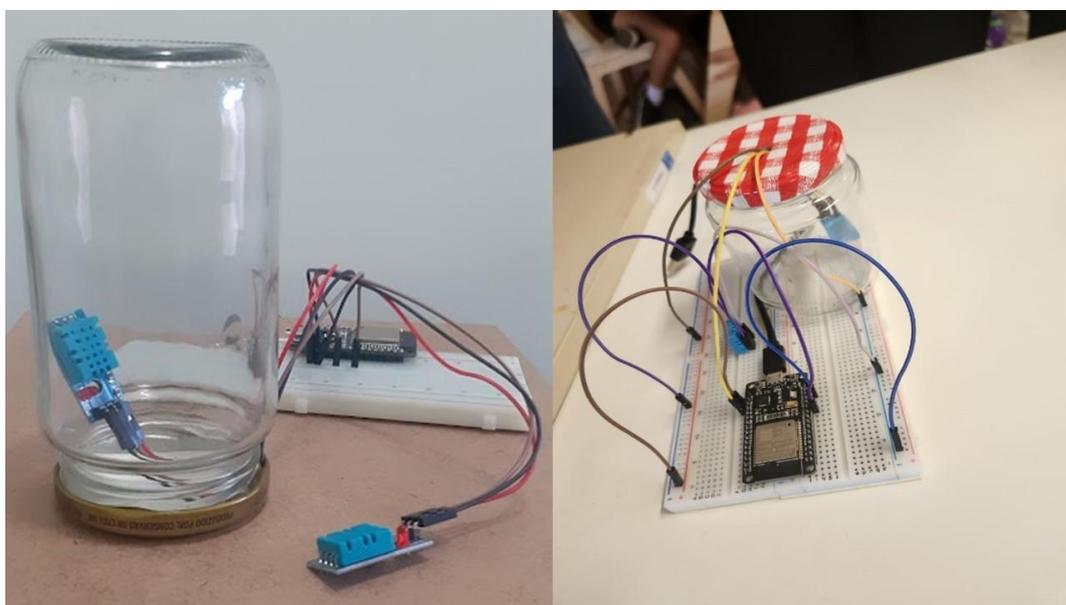
Os alunos participaram de uma oficina prática com duração de 100 minutos, na qual foram guiados na construção e programação de uma versão simplificada do aparato destinado ao estudo do efeito estufa. Este exercício permitiu a exploração e aprendizado acerca das particularidades do ESP32, bem como a assimilação de conceitos fundamentais de eletrônica, sensores de temperatura, Internet das Coisas, *Javascript* e *HTML*.

A teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel afirma que o novo conhecimento é assimilado mais eficazmente quando está relacionado a conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aluno, chamados de subsunçores. No contexto do produto educacional aplicado na instituição de ensino privada, a integração das práticas experimentais com as áreas de Física e Química promove uma conexão direta com o conhecimento prévio dos estudantes, que já possuem familiaridade com a tecnologia por meio do curso técnico de Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Assim, os conceitos complexos do efeito estufa são melhor compreendidos e ancorados, aproveitando-se da experiência técnica dos alunos com a programação e os dispositivos IoT.

Com o intuito de otimizar a participação e o engajamento dos alunos, a organização foi realizada em oito grupos, cada um composto por 4 estudantes, encarregados da construção de um dispositivo por grupo.

Durante o processo de construção, os alunos demonstraram interesse em explorar as potencialidades do ESP32, levantando questões pertinentes, como a possibilidade de integração com assistentes de voz e a extensão dos dados que poderiam ser coletados. Além disso, manifestaram curiosidade sobre a disponibilidade do produto no mercado, indagando sobre preços e locais de aquisição dos elementos utilizados na prática. Esse envolvimento ativo evidencia a potencialidade de aprendizado e exploração das TDIC, possibilitando uma ampliação do olhar do estudante para as ferramentas digitais disponíveis. Nesta etapa, a oficina prática de construção do aparato experimental permite que os alunos construam novos significados ao aplicar conceitos abstratos em um contexto real e tangível, como a montagem de um dispositivo IoT. Na Figura 5.2, são apresentados dois modelos de aparatos construídos pelos estudantes. Para isso, eles utilizaram potes de vidro que trouxeram de casa e os montaram na escola.

Figura 5.2 - O aparato mais simples pode ser montado utilizando uma protoboard, um sensor localizado fora da estufa e um outro sensor inserido em um frasco de vidro com um orifício previamente feito em sua tampa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 5.3 ilustra uma estudante concluindo a montagem de seu aparato com o auxílio de outros estudantes e do professor. A interação entre a estudante, seus colegas e o professor reflete a importância da mediação docente e da colaboração entre pares. O professor facilita a

integração de novos conteúdos relacionados à eletrônica e ao efeito estufa, ajudando a estudante a conectar essas informações aos conceitos já aprendidos. A troca de ideias com os colegas também enriquece o processo, permitindo que a construção do conhecimento ocorra de forma coletiva, o que favorece uma aprendizagem mais profunda e significativa.

Figura 5.3 - Os alunos construíram os seus aparatos em grupo, seguindo um roteiro de montagem com o auxílio do professor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.3 Coleta de dados

Para a coleta de dados, empregamos exclusivamente um aparato, o qual representa o produto educacional desenvolvido neste trabalho. Em cada grupo, um estudante estabeleceu conexão via Wi-Fi entre seu computador ou tablet e o referido aparato. Essa abordagem foi adotada visando padronizar os dados coletados, mitigando possíveis disparidades provenientes de erros instrumentais, variações angulares em relação aos raios solares e variações de volume

de ar na estufa. Na Figura 5.4 observa-se os estudantes organizando o equipamento experimental em um ambiente ao ar livre, configurando-o para capturar dados sob a incidência direta da luz solar. A coleta de dados através de uma rede Wi-Fi reforça a competência geral 4 da BNCC, que incentiva o uso de diferentes mídias e tecnologias digitais na resolução de problemas científicos. Além disso, promove a capacidade de trabalhar de maneira colaborativa, essencial para o desenvolvimento de habilidades no contexto da educação contemporânea.

Enquanto o experimento estava em ambiente aberto, recebendo a luz solar os estudantes estavam no laboratório coletando os dados via Wi-Fi, sem a necessidade de estar no mesmo ambiente do experimento. Os estudantes conseguiam acompanhar o aparato em funcionamento pela janela da sala. Na Figura 5.5, os estudantes estão acessando a plataforma de coleta de dados com um notebook.

Figura 5.4 - Alunos instruídos a prepararem o experimento em um ambiente ensolarado para a coleta de dados do experimento durante a atividade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5.5 – Alunos coletando os dados do experimento em um notebook.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.4 Análise de Dados

Posteriormente, ocorreu uma discussão em grupo, guiada pelo professor, ilustrada na Figura 5.6, que abordou temas essenciais relacionados ao efeito estufa. Essa análise incluiu não apenas a compreensão das implicações ambientais associadas ao fenômeno, mas também a contextualização dos resultados à luz de dados atualizados do IPCC e dos conceitos físicos subjacentes ao tema em estudo. Essa abordagem aprofundada enriqueceu a compreensão dos alunos, estabelecendo uma ponte entre a teoria, os dados práticos coletados e as implicações globais do efeito estufa. A análise de dados e a discussão sobre o efeito estufa estão alinhadas à BNCC, uma vez que incentiva a análise crítica de informações científicas e tecnológicas para compreender fenômenos naturais e avaliar seus impactos na sociedade. Além disso, essa prática de análise e discussão em grupo permite aos estudantes consolidar o conhecimento de forma mais significativa, visto que associam as descobertas provindas dos dados experimentais às

implicações globais baseadas no relatórios do IPCC, estabelecendo uma compreensão mais profunda do tema.

Figura 5.6 - O professor coordenando a discussão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.5 Apresentação Oral com Slides

Em substituição à tradicional elaboração de um relatório experimental, a estratégia adotada para a apresentação dos resultados foi determinada pelo professor, conduzindo os alunos a comunicarem suas descobertas oralmente respaldados por recursos visuais, como slides em consonância com a habilidade da BNCC 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.

Dessa forma, ao utilizar essa abordagem, os estudantes puderam expor seus novos conhecimentos construídos sobre o fenômeno do efeito estufa e o uso do ESP32 para a coleta de dados, promovendo uma análise das potencialidades dessa tecnologia. Durante a apresentação, os alunos, sob a orientação do professor, situaram os resultados no contexto de discussões mais amplas sobre o efeito estufa, enfatizando a importância estratégica de práticas sustentáveis como mitigadoras dos impactos ambientais associados a esse fenômeno.

Ao final das apresentações, questões foram levantadas por professores e colegas de turma de forma que enriqueceram a discussão em contextos mais amplos, principalmente com relação ao impacto humano no ambiente. A Figura 5.7 exibe um dos grupos apresentando suas reflexões e considerações após a análise dos dados experimentais relacionados ao efeito estufa.

Figura 5.7 - Sistematização dos resultados obtidos e comunicação das suas descobertas através de apresentações com slides em grupo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

5.2.6 Aplicação do Pós-teste

Conduzido de maneira presencial durante o horário de aula na escola, o pós-teste representou uma etapa crucial na avaliação dos conceitos assimilados pelos alunos ao longo das práticas e discussões em sala de aula. Estruturado com as mesmas questões do pré-teste, o questionário abordou minuciosamente os conceitos físicos relacionados ao fenômeno estudado, proporcionando uma oportunidade para os alunos expressarem e consolidarem seus entendimentos.

A abordagem simétrica, ao retomar as mesmas questões do pré-teste, permitiu não apenas uma avaliação mais precisa das mudanças nas respostas dos alunos, mas também uma análise aprofundada das transformações conceituais ocorridas após a experiência educacional proporcionada pelo produto desenvolvido. Assim, a análise comparativa entre as respostas pré e pós-experiência contribuiu para avaliar o impacto do produto educacional na compreensão e retenção dos conceitos, oferecendo *insights* valiosos sobre a eficácia do método de ensino adotado e o progresso conceitual dos alunos ao longo do processo educativo.

Além disso, A aplicação do pós-teste, que permite comparar o progresso dos alunos antes e depois da intervenção educativa, promove a avaliação contínua e a reflexão sobre o processo de aprendizagem, essencial para o desenvolvimento do pensamento crítico e autônomo dos estudantes.

5.3 RESPOSTAS DOS ALUNOS NA APLICAÇÃO DO PRÉ-TESTE

Os estudantes sabiam de antemão que seriam avaliados em conhecimentos relacionados ao efeito estufa, uma vez que formalizaram sua concordância por meio da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e do Termo de Assentimento Livre e Esclarecido (TALE). Ambos os termos forneceram detalhadamente as informações pertinentes ao objetivo da pesquisa e à sua metodologia de aplicação. Vale ressaltar que a pesquisa recebeu aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa, garantindo sua condução ética e responsável. Participaram da aplicação do pré-teste 30 estudantes, constituindo a amostra avaliada e as respostas fornecidas nesta seção estão redigidas conforme a grafia original.

1) O que você entende por efeito estufa? Como você explica esse fenômeno?

Durante a análise das respostas dos alunos no pré-teste, emergiram diversas perspectivas em relação ao entendimento do efeito estufa. A maioria dos participantes demonstrou uma consciência geral do fenômeno, destacando sua conexão intrínseca com o aumento das temperaturas globais. Um exemplo representativo do conhecimento básico, embora incompleto, acerca do tema é a resposta do aluno 1, que afirmou que o efeito estufa é “um fenômeno ruim para a sociedade, pois as temperaturas aumentam, gerando chuva ácida.” Esses participantes reconhecem a natureza problemática do fenômeno, mas sua explicação é limitada em detalhes e não abrange os mecanismos específicos.

Muitos alunos identificaram as atividades humanas, como poluição, desmatamento e queimadas, como fatores contribuintes para o agravamento do efeito estufa. No entanto, ao examinar mais profundamente as respostas, tornou-se evidente que a precisão das percepções variava entre os alunos. O aluno 10, por exemplo, afirmou que o efeito estufa ocorre devido à “dispersão de uma grande quantidade de dióxido de carbono na atmosfera.” Embora esses participantes tenham ido além de uma visão superficial, a falta de detalhamento sobre outros gases de efeito estufa e a relação com a camada de ozônio sugere uma compreensão parcial do fenômeno.

Alguns demonstraram uma compreensão mais aprimorada ao mencionar gases específicos, como dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), reconhecendo sua contribuição para o efeito estufa. Esses alunos evidenciaram uma compreensão mais refinada das causas antropogênicas do fenômeno climático.

Por outro lado, algumas respostas enfatizaram a relação natural do efeito estufa e agravamento com as ações antrópicas. Esses alunos reconheceram a interação complexa entre diferentes componentes da atmosfera, proporcionando uma visão única sobre o fenômeno. Por exemplo, o aluno 6 menciona que o efeito estufa “é um fenômeno natural causado pela concentração de gases na atmosfera.” Essa resposta sugere um reconhecimento da natureza intrínseca do efeito estufa.

A análise qualitativa revela uma diversidade de compreensões entre os alunos, destacando a necessidade de intervenções educacionais que visem aprimorar a precisão conceitual. Estratégias específicas podem ser direcionadas para fornecer informações mais

detalhadas sobre os gases de efeito estufa, suas fontes e a interação com a camada de ozônio, garantindo uma compreensão mais holística do fenômeno climático.

Na tentativa de classificar os discentes quanto à apreensão do conceito de efeito estufa com base nas respostas obtidas nesta indagação, realizou-se uma categorização, priorizando a semelhança entre as respostas como parâmetro de agrupamento.

Grupo 1: Compreensão abrangente do fenômeno e suas causas antropogênicas:

Nesse grupo, os alunos respondem a questão com uma resposta abrangente, reconhecendo algumas características gerais do fenômeno e uma ligação direta com as causas antropogênicas.

Aluno 2: “Efeito estufa é o efeito responsável por ‘controlar’ o aquecimento global...”

Aluno 11: “Efeito estufa é um fenômeno que é provocado pelo aquecimento global, onde ações como desmatamento, poluição, industrialização e urbanização provocam um aumento excessivo na produção de dióxido de carbono...”

Aluno 13: “Efeito estufa é a camada de ozônio que é constituída por uma alta concentração de gás, com um ‘furo’ causado pelos gases poluentes, aquecimento global.”

Aluno 17: “São ações que fazem o planeta sofrer mudanças radicais diferentes das que estamos acostumados...”

Grupo 2: Reconhecimento do caráter natural do fenômeno:

Apesar do efeito estufa ter causas naturais, são poucos os alunos que reconhecem seu caráter natural, nesse grupo estão os alunos que fizeram essa associação.

Aluno 16: “Ele é um fenômeno natural causado pela concentração de gases na atmosfera.”

Aluno 25: “Eu entendo que o Efeito Estufa é um acontecimento natural, onde a atmosfera contém gases que absorvem calor.”

Aluno 30: “Eu entendo por efeito estufa, um fenômeno que protege nosso planeta do excesso de raios UV através da camada de Ozônio...”

Grupo 3: Associação do efeito estufa com intervenções humanas:

Aluno 7: “O efeito estufa está relacionado com o aquecimento global, onde os raios solares entram no planeta e não conseguem sair devido ao aumento da emissão do monóxido de carbono na atmosfera...”

Aluno 22: “Efeito estufa, se trata da camada de ozônio, é basicamente formada por O^3 , que tem a capacidade de se regenerar, em base disso o efeito da camada de oxônio ela tem diversos pontos, como o fato de que, ela recebe os raios solares (UV), e faz com que mantenha o planeta em uma temperatura ‘Aceitável’...”

Aluno 26: “O efeito estufa está relacionado com o aquecimento global, onde os raios solares entram no planeta e não conseguem sair devido ao aumento da emissão do monóxido de carbono na atmosfera...”

Grupo 4: Ênfase nos impactos negativos do efeito estufa:

Aluno 18: “Efeito estufa, fenômeno ruim para a sociedade pois as temperaturas aumentam, grande indicie de chuva ácida é um fenômeno que se continuar só vai gerar mais ‘desgraças’ para a humanidade... (sic)”

Aluno 19: “Acredito que seja o efeito em que aumente as temperaturas do planeta, por conta também do aquecimento global. E em como a camada de ozônio ‘abafa’ a atmosfera terrestre, creio que as causas do efeito estufa seja direcionado às ações tanto do ser humano, quanto da natureza...”

Grupo 5: Foco na dinâmica atmosférica e interação de raios solares:

Aluno 14: “O efeito Estufa acontece quando os raios solares atingem na Terra pegando na atmosfera antes, assim causando esse fenômeno natural.”

Aluno 23: “Entendo o efeito estufa um fenômeno que ocorre com os raios do sol entrando, penetrando a atmosfera da Terra, e não conseguindo sair, fazendo com que a temperatura da terra aumente.”

Aluno 20: “O efeito estufa é uma camada de gás na atmosfera da terra que afeta o modo que os raios solares reagem ao chegarem e serem refletidos, fazendo com que eles vão e voltem várias vezes.”

Observando as respostas dos alunos, nota-se uma tendência à confusão entre os conceitos de efeito estufa e camada de ozônio, embora esses fenômenos sejam distintos e não guardem uma relação direta. O efeito estufa refere-se à retenção de calor na atmosfera devido à concentração de gases, enquanto a camada de ozônio está associada à proteção contra os raios ultravioleta. A confusão pode ser atribuída à sobreposição desses tópicos nos discursos públicos

sobre questões ambientais, indicando a necessidade de esclarecimento e aprimoramento do entendimento conceitual dos alunos sobre esses fenômenos atmosféricos.

2) Na sua concepção, como o efeito estufa se relaciona com as mudanças climáticas?

Nas respostas à primeira pergunta sobre o entendimento do efeito estufa, os alunos expressam suas interpretações sobre o fenômeno, muitas vezes relacionando-o à camada de ozônio, ao aquecimento global e às atividades humanas. Já na segunda pergunta sobre a relação do efeito estufa com as mudanças climáticas, as respostas tendem a abordar mais diretamente as implicações do efeito estufa no clima global.

Os alunos destacam o aumento da temperatura, mudanças climáticas, derretimento de geleiras, elevação do nível do mar e outros impactos ambientais como consequências do efeito estufa.

As respostas evidenciam diferentes níveis de compreensão sobre a relação entre o efeito estufa e as mudanças climáticas. Alguns alunos destacam a ligação direta entre o aumento da temperatura devido à retenção de calor na atmosfera, enquanto outros mencionam a alteração do clima como uma consequência natural do fenômeno. Algumas respostas ressaltam a influência humana, especialmente a emissão de gases poluentes, como catalisadora das mudanças climáticas.

Destaca-se a percepção de alguns alunos sobre o papel da camada de ozônio na regulação térmica, embora essa relação seja mencionada de maneira incorreta por alguns. A confusão entre efeito estufa e camada de ozônio persiste, indicando a necessidade de esclarecimentos conceituais.

O aluno 2 apresentou uma resposta simplista e equivocada à segunda pergunta, mencionando: “Ele pode ser um fator inerente”. Ao utilizar a expressão “pode ser um fator inerente”, o aluno não fornece uma explicação adequada sobre como o efeito estufa influencia as mudanças climáticas, deixando a resposta vaga e pouco informativa. Em contrapartida, o aluno 7 forneceu uma resposta mais abrangente, estabelecendo conexões entre os conceitos: “O efeito estufa está relacionado às mudanças climáticas, uma vez que provoca alterações, como o aumento da média da temperatura mundial, derretimento das geleiras, entre outros.”

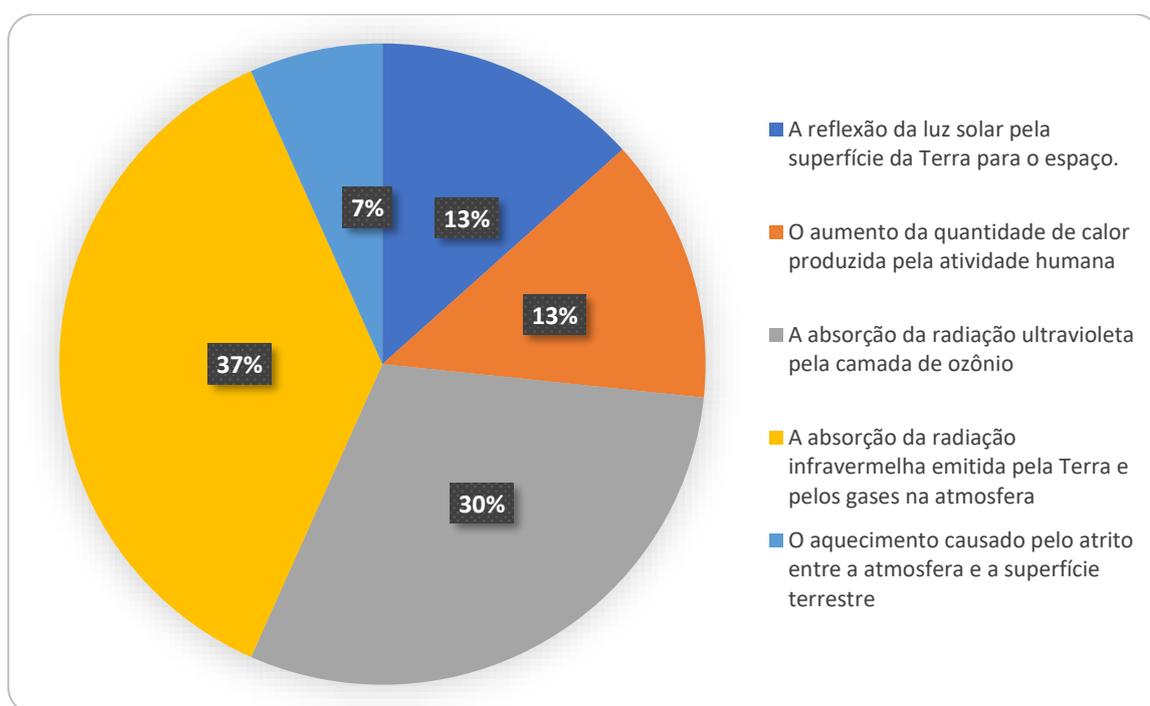
Essas duas questões abertas desempenharam um papel crucial na obtenção de *insights* sobre os conhecimentos prévios dos alunos acerca do efeito estufa e suas relações com as

mudanças climáticas. Ao explorar as respostas foi possível identificar diferentes níveis de compreensão e concepções errôneas, proporcionando uma base sólida para orientar o processo de ensino. Essa abordagem alinha-se com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, em que o entendimento prévio dos alunos é fundamental para construir novos conhecimentos de maneira significativa e duradoura.

As perguntas subsequentes analisaram o conhecimento prévio dos alunos através de questões de múltipla escolha, incluindo as alternativas distratoras e o gabarito.

3) Qual é o principal mecanismo responsável pelo efeito estufa?

Figura 5.8 – Respostas dos estudantes na questão 3 do questionário

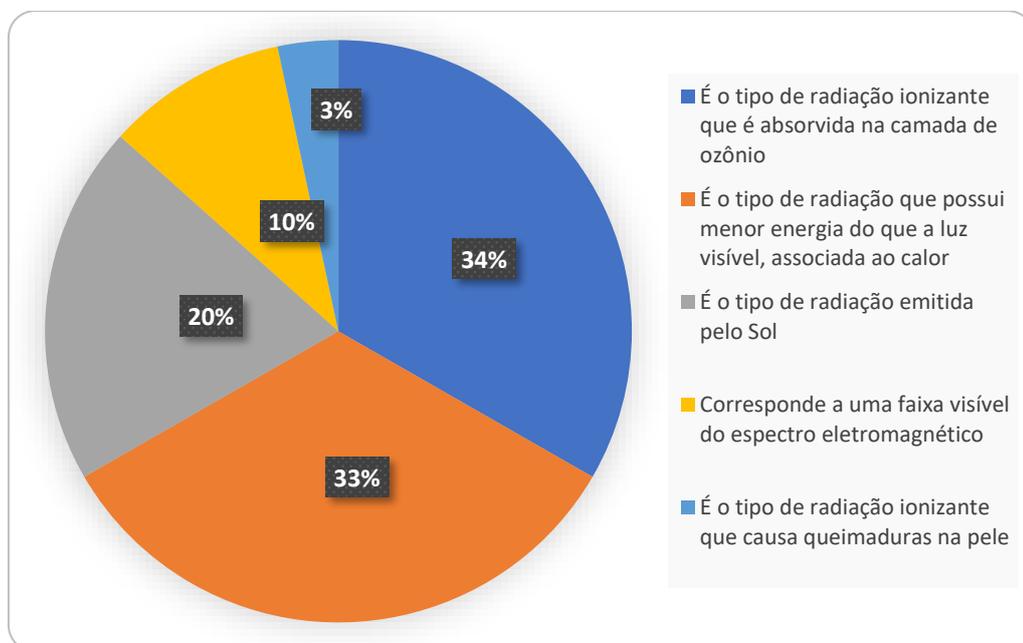


Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesta questão, observamos uma diversidade de respostas, com apenas 37% da amostra respondendo corretamente. Destaca-se mais uma vez um considerável número de estudantes (30% das respostas) que associam erroneamente o efeito estufa à camada de ozônio.

4) Entre as opções apresentadas abaixo, qual delas define de forma mais completa a radiação infravermelha?

Figura 5.9 - Respostas dos estudantes na questão 4 do questionário



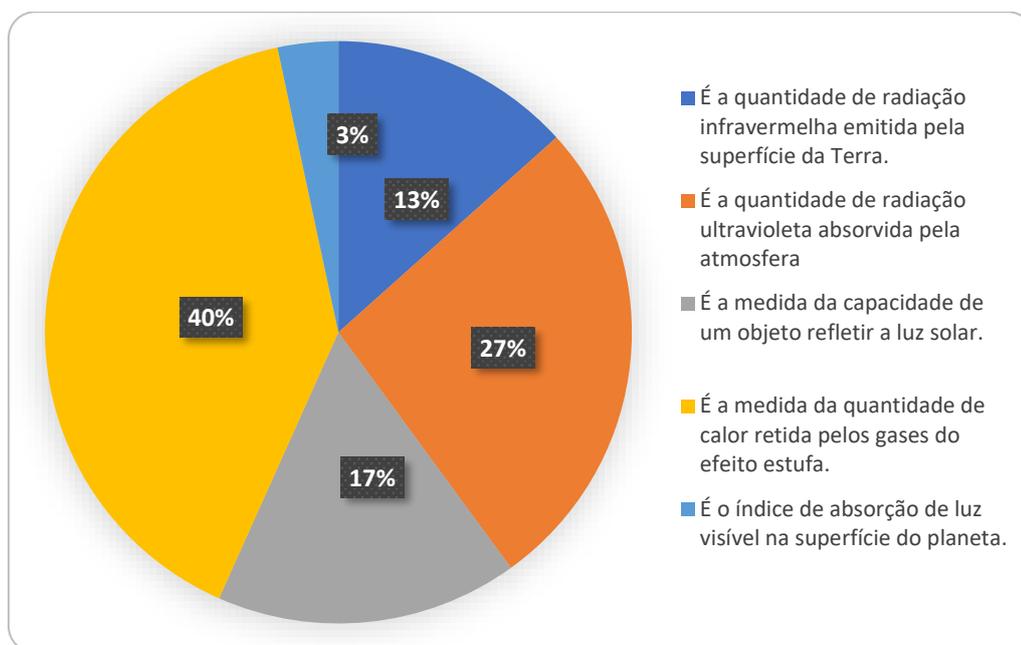
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na presente questão, buscamos avaliar os conhecimentos fundamentais sobre radiação eletromagnética, previamente abordados em anos anteriores nas disciplinas de física e ciências. Ao abordar especificamente a radiação infravermelha, nosso objetivo foi verificar a compreensão dos estudantes em relação às suas características.

Um resultado significativo foi observado, já que 33% dos estudantes associaram corretamente a radiação infravermelha como sendo menos energética que a luz visível, além de reconhecê-la como responsável pelo calor. Essa resposta indica um entendimento parcial dos alunos acerca do espectro eletromagnético.

5) O que é albedo?

Figura 5.10 - Respostas dos estudantes na questão 5 do questionário.

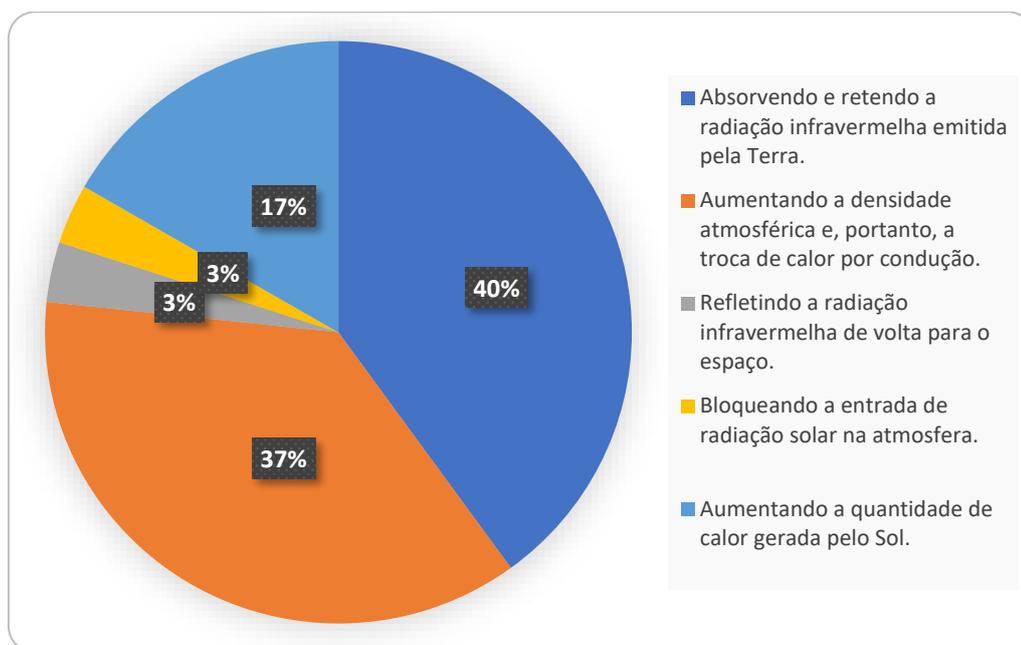


Fonte: Elaborado pelo autor.

O conceito de Albedo é geralmente introduzido nas disciplinas iniciais de Geografia, mais especificamente no 7º ano, e recebe pouca atenção no ensino médio. No entanto, considerando a relevância desse termo para o entendimento do fenômeno do efeito estufa, realizamos uma avaliação para verificar a familiaridade dos estudantes com esse conceito. Apenas 17% da amostra respondeu corretamente.

6) Como os gases do efeito estufa contribuem para o aquecimento global?

Figura 5.11 – Respostas dos estudantes na questão 6 do questionário.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na questão referente aos gases do efeito estufa, observamos que 40% da amostra apresentou uma compreensão correta sobre a relação desses gases com o fenômeno, destacando a capacidade de absorver e reter radiação infravermelha. Uma parcela significativa de 37% dos estudantes assinalou o distrator relacionado com o aumento da densidade atmosférica, um equívoco já que o mecanismo fundamental do efeito estufa não está relacionado a densidade dos gases já que o aumento dos níveis de gases do efeito estufa pode ocorrer sem uma mudança significativa na densidade atmosférica global. Além disso, surge uma preocupação em relação aos 17% que indicaram erroneamente “aumentando a quantidade de calor gerada pelo Sol”. É importante ressaltar que as ações terrestres têm uma influência limitada, se é que têm alguma, sobre as atividades solares.

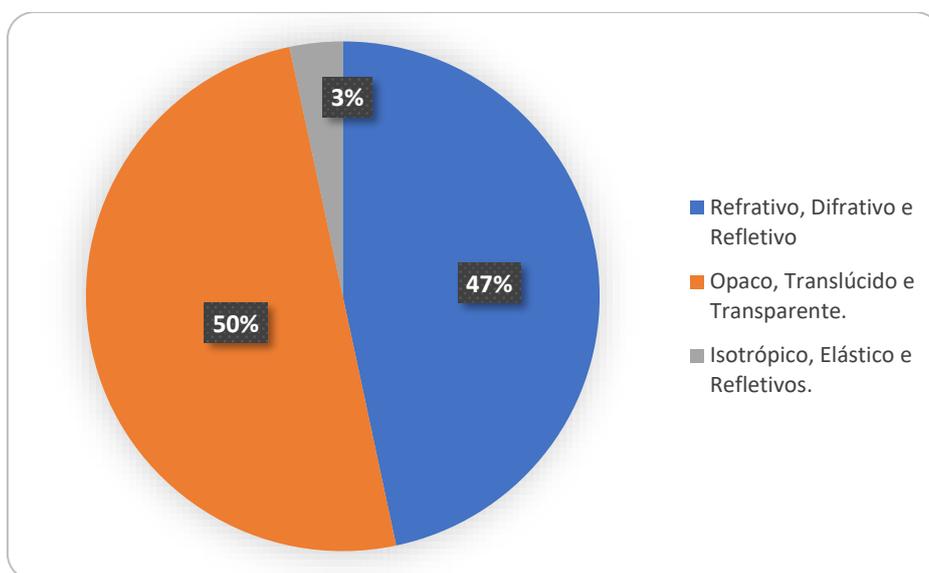
7) Quais faixas (ou bandas) do espectro eletromagnético você conhece?

Nesta questão dissertativa, os alunos foram desafiados a identificar as bandas ou faixas do espectro eletromagnético com as quais estavam familiarizados. No entanto, uma porção dos estudantes enfrentou dificuldades ao associar essas faixas às ondas eletromagnéticas, resultando em respostas como “nenhuma”.

Para a análise dos resultados, considerou-se a questão como totalmente certa quando o aluno listava todas as categorias de ondas que compõem o espectro eletromagnético: Ondas de Rádio, Microondas, Infravermelho, Luz Visível, Ultravioleta, Raio-X e Raio Gama. Respostas que incluíam somente algumas dessas faixas foram classificadas como acerto parcial. Por outro lado, respostas que não mencionassem nenhuma das faixas corretas ou que citassem elementos fora do espectro eletromagnético, como ultrassom, foram consideradas incorretas. Enquanto alguns participantes conseguiram recordar algumas faixas, como o infravermelho, luz visível e ultravioleta, apenas três estudantes demonstraram um conhecimento mais abrangente, lembrando de todas as faixas do espectro. Essa variação nas respostas destaca a diversidade de familiaridade dos estudantes com as diferentes regiões do espectro eletromagnético, indicando áreas específicas que podem necessitar de reforço durante o processo de aprendizagem.

8) Um meio de propagação da luz é definido pelos efeitos ópticos que a luz sofre parcial ou totalmente ao atravessá-lo. Existem três tipos principais de meios ópticos, que são:

Figura 5.12 - Respostas dos estudantes na questão 8 do questionário.

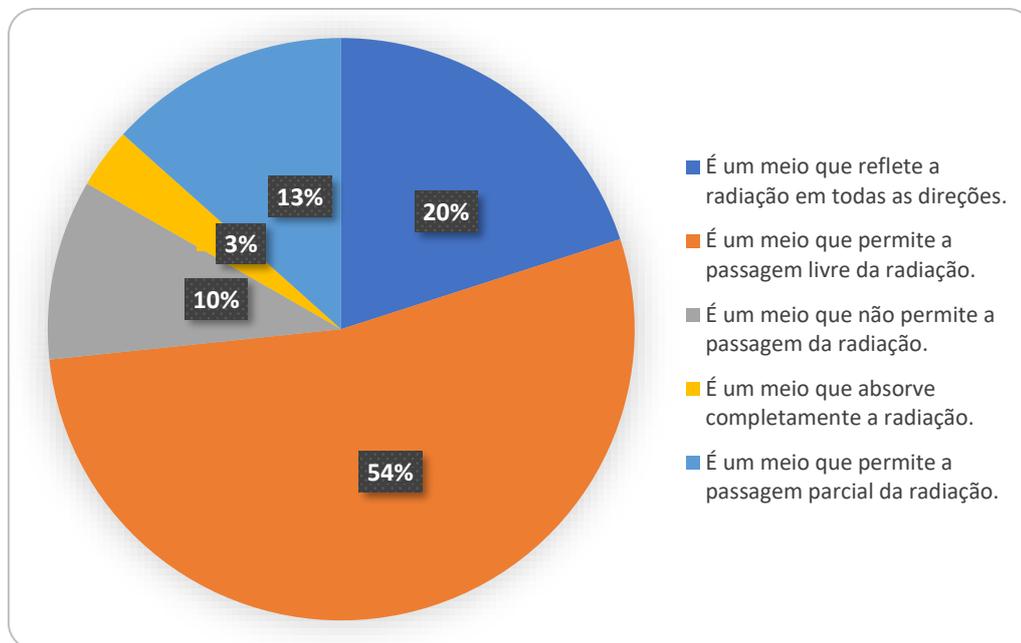


Fonte: Elaborado pelo autor.

Esta questão abordou o reconhecimento de conceitos de óptica geométrica e propagação de luz, previamente estudados no ensino fundamental e que seriam retomados na disciplina de física. Apesar de 50% da turma ter acertado, surge uma preocupação em relação aos 47% que responderam de forma equivocada, indicando meios de propagação como 'refrativo, difrativo e refletivo'. Essa resposta revela uma possível confusão conceitual que precisa ser abordada para garantir um entendimento mais preciso desses princípios ópticos.

9) O que é um meio transparente em relação à radiação eletromagnética?

Figura 5.13 - Respostas dos estudantes na questão 9 do questionário.

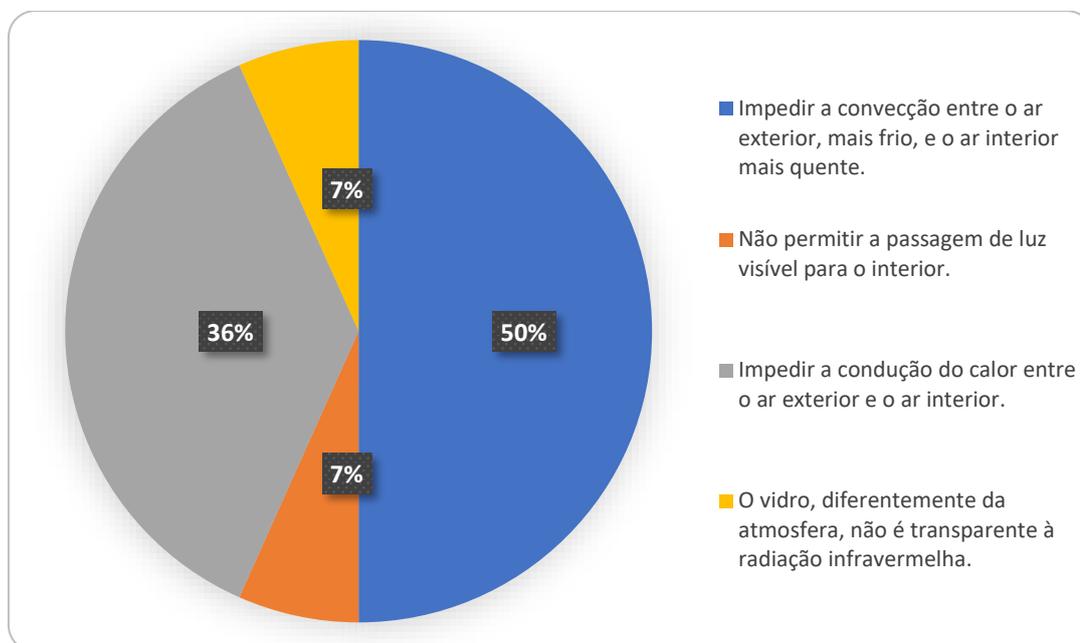


Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa pergunta está intrinsecamente ligada à anterior, pois visa avaliar a compreensão do conceito de transparência como uma propriedade de um meio para a propagação de uma onda eletromagnética. Esse entendimento é crucial para o estudo do efeito estufa, uma vez que está diretamente relacionado à capacidade da atmosfera em permitir a penetração da radiação solar. Apenas 54% dos participantes responderam corretamente, indicando que há uma parcela significativa que pode beneficiar-se de uma revisão mais aprofundada desse conceito fundamental.

10) Qual é o papel desempenhado pelo vidro no efeito estufa de uma estufa agrícola que difere do efeito estufa visto na atmosfera da Terra?

Figura 5.14 - Respostas dos estudantes na questão 10 do questionário.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As respostas para a pergunta sobre o papel do vidro no efeito estufa de uma estufa agrícola revelaram um entendimento razoável por parte dos participantes. Com 50% da amostra respondendo corretamente, destacando que o vidro atua ao impedir a convecção do ar quente no interior com o ar frio do exterior.

Esse resultado indicava uma compreensão satisfatória sobre a função específica do vidro em uma estufa agrícola, diferenciando-a do efeito estufa observado na atmosfera da Terra. A capacidade do vidro de restringir a movimentação do ar contribui para a retenção do calor no ambiente interno da estufa, criando condições ideais para o cultivo de plantas.

5.4 RESPOSTAS DOS ALUNOS NA APLICAÇÃO DO PÓS-TESTE

Após a conclusão da sequência de atividades didáticas vinculadas ao produto educacional, foi aplicado o Pós-Teste. É importante enfatizar que, durante esse processo, os alunos não tiveram acesso às suas respostas do teste inicial e nenhuma atividade foi direcionada especificamente para revisar ou discutir as questões apresentadas no questionário inicial. O foco principal esteve no desenvolvimento das competências e habilidades específicas, alinhadas aos objetivos propostos neste trabalho. Dessa forma, as respostas obtidas no Pós-Teste refletem o aprendizado e a assimilação dos conceitos pelos alunos, em decorrência das atividades práticas e teóricas realizadas ao longo do projeto.

Essa abordagem é particularmente relevante à luz da teoria da de Ausubel, que destaca a importância de integrar novos conhecimentos com os existentes na estrutura cognitiva do estudante. Ao não relembrar o teste inicial, mas focar na aplicação prática dos conceitos, o projeto permitiu que os alunos construíssem um conhecimento mais robusto e significativo, favorecendo a retenção a longo prazo. Essa prática está em consonância com as diretrizes da BNCC, que enfatiza a formação de competências como a de analisar, interpretar e comunicar resultados de experimentos e pesquisas. Assim, a ênfase na construção de saberes através da prática e da reflexão não apenas desenvolve habilidades específicas da área de Ciências da Natureza, mas também promove uma aprendizagem mais significativa e contextualizada, preparando os alunos para desafios futuros e estimulando sua curiosidade e pensamento crítico.

1) O que você entende por Efeito estufa? Como você explica esse fenômeno?

As percepções dos estudantes acerca do fenômeno do efeito estufa revelam um adequado nível de compreensão sobre o tema e sua relevância para a sustentação da vida terrestre. Evidencia-se que os estudantes possuem uma sólida base acerca do efeito estufa, apreciando tanto sua essencialidade para a existência da vida no planeta quanto os perigos decorrentes de sua amplificação devido a práticas antropogênicas. As respostas apresentam variabilidade em termos de profundidade e especificidade, indicando graduações distintas de

entendimento dos mecanismos físicos subjacentes. No entanto, comparativamente ao pré-teste, observa-se que as respostas se tornaram mais elaboradas e articulam com maior clareza os elementos concernentes à questão.

Aluno 28: “Eu aprendi que o efeito estufa é fenômeno natural que garante a vida na Terra. Ele se torna essencial, pois sem o efeito estufa a temperatura da terra seria muito baixa, impossibilitando a vida. Por mais que seja natural ele pode ser agravado pelo homem, pela emissão de gases na atmosfera. E quando é agravado acaba prejudicando os seres vivos e a Terra em si, aumentando a temperatura média global, trazendo catástrofes. O fenômeno em si é a absorção da terra da luz visível a transformando em infravermelho e devolvendo uma parte para o espaço. Existem os gases do efeito estufa que ficam na atmosfera, criando uma camada, camada esta que pode não deixar o infravermelho voltar 100%.”

Esta resposta é bem completa, reconhecendo a essencialidade do efeito estufa para manter condições habitáveis na Terra e a possibilidade de sua intensificação por atividades humanas. O aluno descreve corretamente o processo de absorção da luz solar pela Terra e a reemissão de energia como calor infravermelho, além de mencionar o papel dos gases do efeito estufa na retenção desta energia, o que pode levar ao aquecimento global quando exacerbado.

Aluno 10: “O efeito estufa se dá quando parte da radiação do sol, o infravermelho e a luz visível, entram na atmosfera da terra, que absorve uma quantidade de calor, e reflete de volta como infravermelho, porém os gases do efeito estufa faz com que certa quantidade de calor fique preso na atmosfera da terra, assim mantendo a temperatura.”

Esta resposta identifica corretamente a capacidade dos gases do efeito estufa de manter o calor na atmosfera, contribuindo para a regulação da temperatura da Terra. O aluno menciona a absorção e reflexão da radiação solar, mas poderia expandir ao explicar como a luz visível é convertida em infravermelho.

Aluno 5: “Ele é um fenômeno, onde possibilita a vida humana na Terra.”

Esta resposta é a mais breve da amostra e destaca a importância do efeito estufa para a vida humana na Terra. No entanto, falta detalhe sobre o processo e como funciona o fenômeno. Além disso, ao concentrar-se exclusivamente na perspectiva humana, a resposta não aborda a integralidade do efeito estufa sobre os ecossistemas globais e sua importância para todas as formas de vida. A inclusão de tais aspectos enriqueceria significativamente o entendimento sobre a complexidade e a abrangência do fenômeno em questão.

Aluno 8: “Efeito estufa é um fenômeno natural do Planeta Terra, responsável pela manutenção da temperatura terrestre. Ele funciona da seguinte forma: conforme os raios solares são emitidos na superfície, o solo absorve parte dessa energia e reflete a outra parte. A energia refletida, ao entrar em contato com os gases de efeito estufa presentes na atmosfera, retém o calor, mantendo a temperatura da Terra.”

Esta resposta é bastante informativa e mostra um bom entendimento do processo científico do efeito estufa. O aluno descreve a transparência da atmosfera à luz visível e sua parcial opacidade ao infravermelho, bem como o papel dos gases estufa na retenção de calor. Ele também menciona o ciclo de absorção e reemissão de energia na forma de calor, o que é um ponto chave no entendimento do efeito estufa.

Aluno 25: “O efeito estufa é um evento natural do planeta, que se relaciona com a existência de uma atmosfera em volta da terra. Dessa forma, o calor adquirido pelo aquecimento do sol se mantém equilibrado durante o dia e a noite terrestre. (sic)”

A resposta reconhece que o efeito estufa é um fenômeno natural relacionado à presença de uma atmosfera e seu papel no equilíbrio térmico entre dia e noite. No entanto, a explicação poderia ser aprimorada com mais detalhes sobre como os gases estufa contribuem para este equilíbrio.

2) Na sua concepção, como o efeito estufa se relaciona com as mudanças climáticas?

A compreensão por parte dos alunos de que o efeito estufa é um fenômeno natural essencial para a manutenção da vida na Terra, mas que tem sido exacerbado pelas atividades humanas, é crucial para fomentar uma consciência ambiental responsável e informada. Este discernimento permite reconhecer a delicada balança entre os processos naturais e o impacto antrópico no sistema climático global.

Distinguir os conceitos de efeito estufa, mudanças climáticas e aquecimento global é vital. Enquanto o efeito estufa refere-se ao mecanismo de retenção de calor na atmosfera pela ação dos gases estufa, o aquecimento global é o resultado direto do aumento desses gases, levando a um incremento na temperatura média da Terra. As mudanças climáticas, por sua vez, abrangem as vastas alterações nos padrões climáticos que resultam desse aquecimento, incluindo extremos climáticos mais severos, alterações nos regimes de chuva, derretimento de geleiras, e elevação do nível do mar. Fomentar essa diferenciação conceitual nos alunos também

equipa a próxima geração com o conhecimento necessário para o engajamento em práticas sustentáveis e para apoiar políticas que visem mitigar as ações humanas prejudiciais ao clima.

Analisando as respostas dos alunos, é possível identificar um entendimento geral sobre a relação entre o efeito estufa, o aquecimento global e as mudanças climáticas, embora haja variações na profundidade e precisão desse entendimento.

A maioria dos alunos reconhece corretamente que o efeito estufa é um fenômeno natural responsável por manter a temperatura da Terra em níveis habitáveis. Contudo, eles também percebem que o agravamento desse efeito, devido às emissões antropogênicas de gases estufa, leva ao aquecimento global e a mudanças climáticas adversas. O aluno 8 demonstra essa consciência de causa e efeito em sua resposta: “O efeito estufa, exacerbado pelas ações antrópicas na emissão de gases como o CO₂, retém um calor que seria mais que o necessário, causando assim um superaquecimento da superfície terrestre e um aumento da temperatura.”

Há uma percepção notável das consequências do agravamento do efeito estufa, como o derretimento das geleiras, aumento do nível do mar, alterações no padrão de precipitação, e impactos sobre a biodiversidade. Essa consciência reflete um entendimento significativo das ramificações complexas do aquecimento global.

Aluno 10: “O efeito estufa é um processo natural, porém com as ações humanas, como por exemplo a emissão de gás carbônico, faz com que a temperatura aumente, já que os gases não conseguem sair da atmosfera da terra, e com esse aumento, pode ocorrer o derretimento de geleiras, inundações, e a perda da fauna e da flora desses lugares que foram alagados.”

Enquanto algumas respostas detalham especificamente os processos envolvidos no efeito estufa e suas consequências, outras são mais genéricas ou focam apenas em aspectos particulares, como o derretimento das geleiras. Isso sugere diferenças individuais na compreensão ou na capacidade de expressar esse entendimento. Exemplo de resposta mais detalhada: Aluno 4. “Porque com a Terra em constante aquecimento pelo efeito da estufa em si, quando se há alterações que aumentam o aquecimento da Terra (CO₂ e outros poluentes), o aquecimento da estufa afeta diretamente no clima, podendo provocar grandes ou nenhuma precipitação, derretimento das geleiras e mudanças no ecossistema.” Exemplo de resposta mais genérica: Aluno 12. “ele ajuda nos gases que recobrem a terra tendo o calor do sol e leva o aquecimento e as mudanças climáticas.”

3) Qual é o principal mecanismo responsável pelo efeito estufa?

O número de alunos que acertaram a questão apresentou um expressivo aumento, passando de 37% para 77%. Este crescimento representa um aumento de mais de 100%, o que equivale a mais que o dobro do valor inicial. Este resultado é indicativo de uma significativa melhoria na compreensão dos conceitos abordados diretamente relacionado com os princípios físicos que permeiam o efeito estufa.

4) Entre as opções apresentadas abaixo, qual delas define de forma mais completa a radiação infravermelha

Para entender adequadamente o efeito estufa, é crucial distinguir a radiação infravermelha das demais faixas do espectro eletromagnético, reconhecendo suas características únicas. Neste contexto, 60% dos estudantes demonstraram compreensão correta ao associar a radiação infravermelha com uma energia menor que a da luz visível, identificando-a corretamente como associada ao calor. Contudo, ainda há um desafio no processo de aprendizagem, visto que uma parcela significativa de 23% dos estudantes fez uma associação equivocada, confundindo-a com o espectro visível.

5) O que é albedo?

Neste experimento, discutimos o conceito de albedo, um tema com o qual os estudantes já haviam se familiarizado no 7º ano durante as aulas de Geografia, conforme estabelecido pelo currículo escolar. No pré-teste, apenas 5 estudantes identificaram corretamente o que é albedo. No entanto, observou-se uma melhoria significativa no pós-teste, onde o número de acertos triplicou, evidenciando a importância de revisar conceitos fundamentais para reforçar o aprendizado. Apesar deste avanço, a taxa de acerto de apenas 53% no pós-teste indica que ainda enfrentamos desafios no processo educativo que precisam ser superados para garantir uma compreensão mais sólida entre os alunos.

6) Como os gases do efeito estufa contribuem para o aquecimento global?

Esta questão registrou uma das mais significativas melhorias em termos de número de acertos, com um aumento de 40% para 90% com relação ao pré-teste. Além do expressivo avanço na compreensão dos estudantes, destaca-se o fato de que três alternativas distratoras foram descartadas por eles, evidenciando uma clareza maior em relação ao fenômeno.

7) Quais faixas (ou bandas) do espectro eletromagnético você conhece?

A questão em análise permitia uma resposta discursiva na qual os alunos deveriam listar as faixas ou bandas do espectro eletromagnético de que se lembrassem. Um feedback interessante surgiu durante as aulas: os alunos reportaram não ter feito a conexão entre os conceitos de bandas ou faixas espectrais e ondas eletromagnéticas. Isso refletiu no pré-teste, quando somente 3 estudantes conseguiram nomear corretamente todas as faixas do espectro eletromagnético.

No entanto, após o período de instrução, houve uma melhora notável no pós-teste, com o número de estudantes que listaram todas as faixas corretamente aumentando para 7. Apenas um estudante ficou sem resposta nesta etapa, o que demonstra um avanço substancial na compreensão do conteúdo. Além disso, 12 estudantes acertaram quase todas as faixas, omitindo apenas uma delas.

8) Um meio de propagação da luz é definido pelos efeitos ópticos que a luz sofre parcial ou totalmente ao atravessá-lo. Existem três tipos principais de meios ópticos, que são:

Esta questão serve como um complemento essencial à questão número 8, que analisa o meio de propagação de uma onda. Observou-se uma melhoria notável no número de acertos, passando de 15 para 21, o que representa um aumento de 50% para 70%. Além do incremento na taxa de acertos, é digno de nota que três alternativas distratoras foram igualmente descartadas pelos estudantes.

9) O que é um meio transparente em relação à radiação eletromagnética?

O conceito de meio de propagação transparente de uma onda, trabalhado previamente no currículo do ensino fundamental, foi corretamente identificado por apenas 54% dos

estudantes dentre as opções oferecidas. Notavelmente, essa taxa de acertos permaneceu inalterada quando comparada com os resultados do pré-teste.

10) Qual é o papel desempenhado pelo vidro no efeito estufa de uma estufa agrícola que difere do efeito estufa visto na atmosfera da Terra?

Ao examinar as respostas dos alunos sobre o papel do vidro no efeito estufa em estufas agrícolas, observa-se uma discrepância notável em relação às demais questões analisadas. Esta questão em particular destaca-se no conjunto por ser a única em que houve uma diminuição no número de acertos comparativamente ao pré-teste.

Inicialmente, no pré-teste, 15 alunos identificaram corretamente que o vidro impede a convecção entre o ar exterior, mais frio, e o ar interior mais quente, refletindo um entendimento da propriedade isolante do vidro em termos de transferência de calor por convecção. No entanto, no pós-teste, esse número diminuiu para 8. Esta mudança sugere que houve uma confusão ou um possível mal-entendido na instrução ou revisão do material, já que esperaríamos ver uma melhoria ou, no mínimo, uma manutenção no número de respostas corretas após um período de ensino.

A alternativa "Não permitir a passagem de luz visível para o interior" manteve-se constante com 2 respostas corretas em ambos os testes, indicando que essa não é uma concepção comum entre os estudantes, o que é preciso, pois o vidro de uma estufa geralmente permite a passagem da luz visível.

A ideia de que o vidro impede a condução do calor entre o ar exterior e o interior teve uma leve queda de 11 para 10 respostas corretas. Isso pode ser interpretado como um pequeno desvio na compreensão, uma vez que o vidro de fato reduz a condução do calor, mas não é sua característica principal em relação ao efeito estufa em uma estufa.

A alternativa "O vidro, diferentemente da atmosfera, não é transparente à radiação infravermelha" viu um aumento substancial de acertos, de 2 para 10. Este aumento é positivo e indica uma melhor compreensão da diferença entre o efeito estufa em uma estufa e na atmosfera terrestre; contudo, essa compreensão ainda não está inteiramente correta, pois tanto a atmosfera quanto o vidro são parcialmente transparentes à radiação infravermelha.

Portanto, a análise mostra que, embora haja alguma compreensão sobre o papel do vidro em uma estufa agrícola, há confusão sobre o mecanismo exato pelo qual ele contribui para o

efeito estufa dentro da estufa, especialmente em comparação com o efeito estufa na atmosfera da Terra. Isso sugere a necessidade de reforçar o ensino e esclarecer como o vidro impede a convecção, ao mesmo tempo em que permite a entrada de luz visível e restringe a transferência de calor por radiação infravermelha.

5.5 COMPARATIVO DAS RESPOSTAS DO PRÉ E PÓS TESTE

A Tabela 5.1 apresentada a seguir consolida os resultados obtidos nas 10 questões aplicadas no pré-teste. As questões dissertativas de número 1, 2 e 7 foram estruturadas de modo a permitir acertos parciais. As demais questões são de múltipla escolha, com uma única alternativa correta e quatro distratores.

Tabela 5.1 - Correção das 10 questões presentes no Pré-Teste

QUESTÃO	ACERTOS TOTAIS	ACERTOS PARCIAIS	ERROS
1	0	13	17
2	1	16	13
3	11	-	19
4	10	-	20
5	5	-	25
6	12	-	18
7	3	19	8
8	15	-	15
9	16	-	14
10	15	-	15

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar a tabela, verifica-se que, na questão número 1, os erros predominam em comparação aos acertos parciais, e não se registrou nenhum acerto total. Já na questão 2, observa-se uma leve vantagem dos acertos parciais em relação aos erros, contabilizando apenas um acerto total. Quanto à questão 7, que também é dissertativa, os acertos parciais excedem o número de erros, com uma contagem de apenas 3 estudantes alcançando a resposta completa.

Entre as questões de múltipla escolha, destaca-se a questão 9, na qual os acertos superam os erros, ainda que por uma margem estreita (16 acertos contra 14 erros). Observa-se um empate nas questões 8 e 10, com metade dos alunos acertando e a outra metade errando. Já nas questões 3, 4, 5 e 6, os erros predominam, indicando uma maior dificuldade dos alunos em responder corretamente a esses itens.

Após a implementação do produto educacional, que utilizou o questionário pré-teste como base para estimular discussões visando aprimorar o entendimento sobre a complexidade da temática do efeito estufa e corrigir concepções equivocadas, um novo questionário pós-teste foi aplicado. Os resultados obtidos estão detalhados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Correção das questões do Pós-Teste.

QUESTÃO	ACERTOS TOTAIS	ACERTOS PARCIAIS	ERROS
1	11	15	4
2	17	11	2
3	23	-	7
4	18	-	12
5	16	-	14
6	25	-	5
7	7	22	1
8	19	-	11
9	16	-	14
10	7	-	23

Fonte: Elaborado pelo autor.

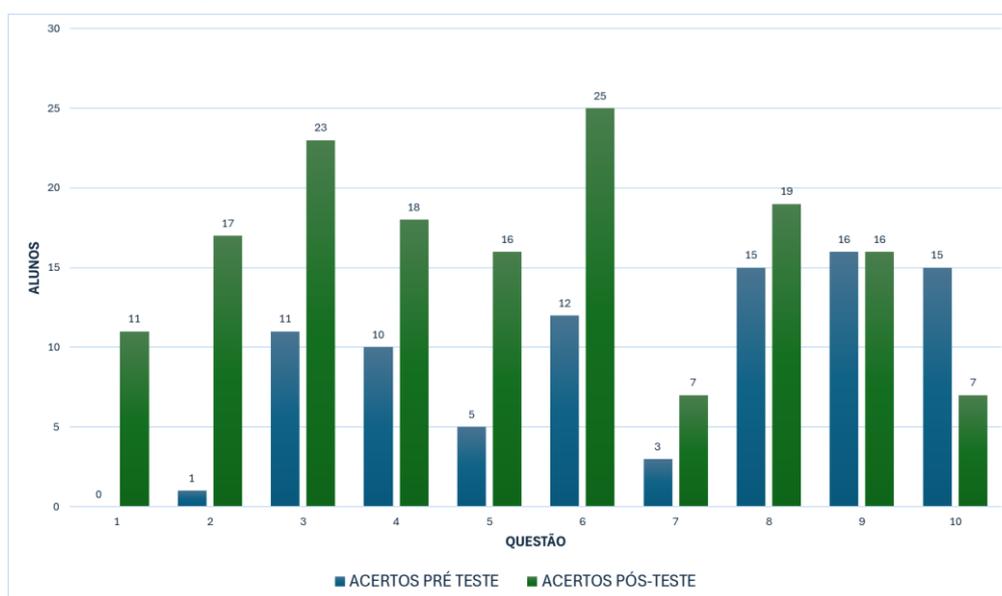
Observa-se um aumento significativo nos acertos totais das questões dissertativas após a intervenção educacional. Na questão 1, os acertos totais saltaram de zero para 11. Na questão 2, o número de acertos completos cresceu de 1 para 17. E na questão 7, houve um aumento de acertos totais de 3 para 7. Além disso, registrou-se uma redução considerável no número de erros em comparação ao pré-teste, indicando uma melhoria notável na compreensão dos alunos sobre os tópicos abordados.

Nas questões de múltipla escolha, observou-se um desempenho geralmente superior no pós-teste, com exceção da questão número 10, que apresentou um declínio acentuado no número de acertos, caindo de 15 no pré-teste para apenas 7 no pós-teste. Esse resultado indica uma redução significativa na compreensão ou no acerto dessa questão específica.

Por outro lado, as questões 3, 4, 5, 6, 8 e 9 demonstraram uma melhoria no desempenho, com um número de acertos superior ao de erros. Contudo, as questões 5 e 9 merecem atenção especial devido ao volume considerável de erros, que se aproxima da metade do total de respostas da turma. Esse cenário sugere que, apesar dos avanços, ainda existem desafios a serem superados para assegurar uma compreensão mais sólida dos alunos em certos aspectos da temática abordada.

A Figura 5.15 seguir mostra uma comparação entre os acertos nas 10 questões do pré-teste e pós-teste realizados pelos participantes do projeto. Cada questão é representada por um par de barras, uma indicando o número de acertos no pré-teste e a outra mostrando os acertos no pós-teste.

Figura 5.15 - Comparação das respostas certas dos estudantes no Pré-Teste e no Pós-Teste.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De fato, a análise das respostas após a aplicação do produto educacional desenvolvido neste trabalho evidencia uma melhora significativa na aprendizagem. As respostas dos alunos demonstraram maior detalhamento e precisão, diferenciando de forma clara os conceitos-chave, como mudanças climáticas, efeito estufa e aquecimento global. Além disso, alinhado com as habilidades e competências previstas na BNCC, observou-se um avanço expressivo tanto na compreensão conceitual quanto nas

competências argumentativas dos estudantes. Houve também um aumento no interesse pelas aulas e um engajamento notável em sugerir mudanças e promover discussões sobre a temática das mudanças climáticas e aquecimento global. As apresentações finais refletiram esses ganhos, trazendo à tona debates interdisciplinares, sobretudo à luz da física, mas também com contribuições de áreas como química e geografia. Com base no objetivo de promover a aprendizagem significativa, é possível inferir que a interação com a metodologia, organizada como um organizador prévio, modificou os subsunçores dos alunos, inserindo novos conceitos e consolidando o conhecimento adquirido de forma mais profunda e duradoura.

Capítulo 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

“Somos a primeira geração que sente as consequências das mudanças climáticas e a última que tem a oportunidade de fazer algo para deter isso.”.

- Barack Obama

A conscientização dos alunos sobre o fenômeno do efeito estufa é fundamental para cultivar uma responsabilidade ambiental crítica. Compreender que o efeito estufa é um processo natural essencial para a regulação térmica da Terra, porém agravado pela intervenção humana, permite reconhecer a delicada interação entre os processos naturais e as atividades humanas no sistema climático global. Esta compreensão não apenas destaca a necessidade de equilibrar esses elementos, mas também enfatiza a importância de distinguir conceitualmente o efeito estufa, as mudanças climáticas e o aquecimento global.

Enquanto o efeito estufa refere-se à retenção de calor na atmosfera devido à presença de gases estufa, o aquecimento global surge do aumento desses gases, resultando em um incremento na temperatura média do planeta. Por sua vez, as mudanças climáticas abrangem uma ampla gama de transformações nos padrões climáticos, incluindo eventos extremos, alterações nas precipitações, derretimento de geleiras e aumento do nível do mar, todos exacerbados pelo aquecimento global.

Ao esclarecer esses conceitos, os alunos além de adquirirem uma compreensão mais profunda dos desafios climáticos atuais, também se tornam cidadãos conscientes para adotar práticas sustentáveis e para apoiar políticas que visem mitigar os impactos adversos das atividades humanas no clima.

Durante as aulas e apresentações, ficou evidente o engajamento dos estudantes em buscar um futuro mais sustentável. Suas falas demonstravam uma compreensão profunda da gravidade da crise climática e uma disposição proativa para agir. Muitos expressaram a

necessidade urgente de conscientizar tanto a população quanto os governantes, destacando que medidas mais incisivas precisam ser tomadas o mais rápido possível para tentar amenizar uma situação que já se encontra em estado crítico.

Na análise de dados e na apresentação, os alunos fizeram referência aos dados preocupantes do Relatório do IPCC de 2023, que alerta para o aumento acelerado das temperaturas globais e a intensificação de eventos climáticos extremos. Eles compreenderam que, embora a física explique como esses fenômenos ocorrem, é a ação humana que pode reverter o cenário atual. Essa percepção também reflete uma aprendizagem significativa, como proposto por Ausubel, onde os estudantes não apenas absorvem informações, mas integram esses novos conceitos aos seus conhecimentos prévios, o que os impulsiona a propor ações concretas. Nas discussões, ficou claro que essa internalização de saberes, aliada à abordagem crítica e interdisciplinar promovida pela BNCC, está formando jovens conscientes e comprometidos. Eles demonstraram um forte desejo de mobilizar a sociedade e pressionar os líderes políticos para que adotem políticas mais efetivas e imediatas no combate à crise climática, mostrando que a educação está desempenhando um papel crucial na formação de futuros agentes de mudança.

A aplicação do produto educacional proporcionou evidências de aprendizagem entre os alunos do 2º ano do ensino médio em relação ao efeito estufa, como indicado pelo aumento nos acertos ao comparar o pós-teste com o pré-teste. Inicialmente, o pré-teste revelou uma variedade de concepções alternativas e algumas confusões, especialmente em relação à camada de ozônio e a contribuição da humanidade no aquecimento global. No entanto, após a implementação do experimento e a inclusão de estudos interdisciplinares envolvendo física, química e geografia, observou-se uma melhoria significativa no entendimento dos alunos.

Nas dez questões avaliadas, os estudantes demonstraram uma melhora significativa no desempenho pós-teste em oito delas. Além da imersão no universo da Internet das Coisas, que permitiu aos alunos acompanharem e analisarem dados em tempo real através de dispositivos conectados, a atividade também proporcionou um ambiente favorável para discussões ambientais relevantes. Os alunos foram incentivados a refletir sobre o impacto das mudanças climáticas, utilizando como base o relatório do IPCC lançado em 2023, e a relacionar essas questões com os princípios fundamentais da física, como irradiação, troca de calor e balanço energético.

Na implementação deste projeto, recomendamos que o professor busque promover um trabalho interdisciplinar, estabelecendo parcerias com os professores de química e geografia. Essa colaboração pode enriquecer significativamente a proposta, proporcionando aos estudantes uma visão mais abrangente do assunto e ampliando seu repertório de conhecimentos.

No entanto, a questão relacionada ao papel do vidro no efeito estufa apresentou uma regressão nos resultados, demonstrando a necessidade de uma abordagem mais específica e direcionada a essa temática.

Quanto ao uso da Internet das Coisas (IoT) na experimentação, é possível dizer que possibilitou aos alunos explorar uma tecnologia emergente, de baixo custo e de grande potencial na educação. Utilizando o ESP32 como microcontrolador, eles puderam vivenciar de forma prática como a IoT conecta o mundo físico ao digital, coletando e analisando dados em tempo real. A aplicação dessa metodologia em atividades experimentais além de aproximar os alunos de uma nova geração da indústria, apoiada na IoT e na integração de novas tecnologias, também possibilitou que eles compreendessem como essas soluções podem ser aplicadas em problemas reais, como o monitoramento ambiental e o controle de sistemas inteligentes. Essa abordagem é poderosa porque não apenas desperta o interesse pela ciência e tecnologia, mas também desenvolve competências essenciais para o século XXI, como o pensamento crítico, a resolução de problemas e a capacidade de trabalhar com ferramentas tecnológicas de ponta. Além disso, a interação direta com o ESP32 durante os experimentos reforçou a aprendizagem significativa ao permitir que os estudantes conectassem o conteúdo teórico com a prática, consolidando novos conhecimentos de forma dinâmica e pró-ativa.

Concluindo, o aparato experimental para o estudo do efeito estufa desenvolvido como produto educacional, utilizando o ESP32 e os sensores DHT11, demonstra-se uma ferramenta educativa inovadora e eficaz. Ao integrar tecnologia IoT com práticas experimentais, proporciona uma abordagem prática e envolvente para a compreensão do efeito estufa. Neste contexto, o uso do aparato experimental permite que os alunos conectem seus conhecimentos sobre o efeito estufa e suas consequências ambientais com a coleta e análise de dados reais. Através das atividades práticas, os estudantes podem observar diretamente os fenômenos discutidos em sala de aula, o que solidifica e aprofunda sua compreensão do assunto.

Este método não apenas facilita a coleta e análise de dados em tempo real, como também estimula a curiosidade e o interesse dos estudantes pela física e pelas ciências ambientais. A estrutura das aulas, culminando com a experimentação, busca uma aprendizagem significativa,

conectando teoria e prática de maneira coesa. Além disso, o produto educacional contribui para o desenvolvimento de habilidades analíticas e críticas, preparando os alunos para serem agentes transformadores em questões ambientais.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Y. ESP32: Guia Básico de GPIOs. SmarKits Blog, 2020. Disponível em: <<https://blog.smartkits.com.br/esp32-pinout-guia-basico-de-gpios/>>. Acesso em julho de 2023.

AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICS TEACHER. Goals of the Introductory Physics Laboratory. The Physics Teacher, v. 35, p. 312-313, 1997. Disponível em: <<https://aapt.scitation.org/doi/pdf/10.1119/1.2344687>>.

ARAFAT, I. Sistem Alat Monitoring Untuk Pengendali Suhu Dan Kelembaban Greenhouse Berbasis Internet of Things. Info Teknik, Banjarbaru, 2020.

ARAÚJO, M. S. T. D.; ABIB, M. L. V. D. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 25, p. 176-194, 2003.

ARDUINO. Site Oficial da Plataforma Aberta Arduino. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/>>. Acesso em setembro de 2023.

ARDUINO. What is Arduino? Site Oficial da Plataforma Aberta Arduino, 2018. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>>. Acesso em junho de 2023.

ASHTON, Kevin. That ‘internet of things’ thing. RFID Jornal, v. 22, n. 7, p. 97-114, 2009.

BARBOSA, H. M. J. Vapor de água na atmosfera: do efeito estufa às mudanças climáticas. Revista USP, São Paulo, p. 67-80, 2014.

BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. Atmosfera, tempo e clima. Porto Alegre: Bookman, 2013.

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

CASTILHO, W. S.; OLIVEIRA, D. L. D.; DUTRA, M. V. G. O Ensino de Física Aliado a Recursos Educacionais Digitais: as Contribuições da Plataforma Arduino em Sala de Aula. Revista Observatório, Palmas, v. 7, p.1-19, abril/2021.

CHUNG, K. C. Introdução à física nuclear. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2001.

CIRCUITS 4 YOU. Site de disponibilização de circuitos para internet das coisas. Disponível em <<https://circuits4you.com/>>. Acesso em 22 de agosto de 2023.

DE PATER, Imke; LISSAUER, Jack, Planetary Sciences, Cambridge University Press, 2001.

EASTERBROOK, D. Chapter 9 – Greenhouse gases. In: Evidence-Based Climate Science: Data Opposing CO2 Emissions as the Primary Source of Global Warming, Bellingham: Elsevier, 2016. p. 163-173. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804588-6.00009-4>.

FILHO, J. D. P. A. Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático. Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis, v.17, n. 2, p.44-58, agosto/2000.

GURIDI, V. M.; ISLAS, S. M. Guías de laboratorio tradicionales y abiertas en física elemental propuesta para diseñar guías abiertas y estudio comparativo entre el uso de este tipo de guías y

guias tradicionais. Investigação em Ensino de Ciências, Buenos Aires, v. 13, n. 3, p. 203-220, 1998.

HEWITT, P. G. Física Conceitual. Porto Alegre: Bookman, 2011.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

JUNGES, A. L.; SANTOS, V. Y. D.; MASSONI, N. T.; SANTOS, F. A. C. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. Experiências em Ensino de Ciências. Cuiabá, v. 13, n. 5, p. 126-151, dez/2018.

KASSAB, Mohamad; DEFRANCO, Joanna; LAPLANTE, Phillip. A systematic literature review on Internet of things in education: Benefits and challenges. Journal of computer Assisted learning, New York, v. 36, n. 2, p. 115-127, 2020.

KNOX, Robert S. Physical aspects of the greenhouse effect and global warming. American Journal of Physics, v. 67, n. 12, p. 1227-1238, 1999.

KOLBAN, Neil. Kolban's Book on ESP32. USA: Leanpub, 2017. Disponível em: <<https://www.robolinkmarket.com/Data/EditorFiles/datasheet/kolban-ESP32.pdf>>.

LEE, K.; ISLAM, M. J.; LEE, H., KIM; W., LEE, S. K.; KIM, B. IoT Based Intelligent Greenhouse Farming Technology with Low Cost and Energy Efficiency. In: 2023 INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRONICS, INFORMATION, AND COMMUNICATION (ICEIC), IEEE, Singapore, India, Congress Annals, 2023, p. 1-3.

MITCHELL, John FB. The “greenhouse” effect and climate change. Reviews of Geophysics, v. 27, n. 1, p. 115-139, 1989.

MLSTATIC E-COMMERCE WEBSITE. Disponível em: https://http2.mlstatic.com/D_NQ_NP_2X_950330MLB70477577622072023F.webp Acesso em 23 de agosto de 2023.

MONTEIRO, J. A.; DE FÁTIMA VILHENA, M., DA SILVA; F. H. S., DE LUCENA, I. C. R.; JÚNIOR, A. D. L. C. Arduino no Ensino de Física: uma Revisão Sistemática de Literatura de 2011 a 2021. Revista de Educação em Ciências e Matemáticas, Amazônia, v. 18, n. 40, 2022.

MOREIRA, F. T.; VAIRINHOS, M.; RAMOS, F. Internet das Coisas em Educação: uma ferramenta para aprendizagem de ciências. 13TH IBERIAN CONFERENCE ON INFORMATION SYSTEMS AND TECHNOLOGIES (CISTI), Caceres, Espanha, Anales del Congreso, doi:<https://doi.org/10.23919/CISTI.2018.8399234>, p. 1-5, 2018.

MASON, John. Explaining how the water vapor greenhouse effect works. Skeptical Science. Disponível em < <https://skepticalscience.com/water-vapor-greenhouse-gas-intermediate.htm>> Acesso em 24 de março de 2024.

MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa? Revista Curriculum: revista de teoría, investigación y práctica educativa, La Laguna, v. 25, p. 29-56, março/2012. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/96956>>. Acesso em janeiro/2023.

MOREIRA, M. A. Teorias de Aprendizagem. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. Estudos avançados, v. 32, p. 73-80, 2018. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/152679>>. Acesso em: fevereiro/2023.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica 3 - Eletromagnetismo, São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 1997.

NASA'S SCIENTIFIC VISUALIZATION STUDIO. Solar Dynamics Observatory - Argo view - Slices of SDO. Disponível em: <https://svs.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/details.cgi?aid=4128>. Acesso em 15 de julho de 2023.

OLIVEIRA, K. D.; SARAIVA, M. D. F. Astronomia e Astrofísica. São Paulo: Livraria da Física, 2013.

OLIVEIRA, K. D.; SARAIVA, M. D. F. Astronomia e Astrofísica: Características das Estrelas. Disponível em <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/diagramaHR.jpg>. Acesso em 13 de julho de 2023.

PELIZZARI, A., KRIEGL, M. D. L., BARON, M. P., FINCK, N. T. L., e DOROCINSKI, S. I. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. Revista PEC, v. 2, n. 1, p. 37-42, 2002.

PIERREHUMBER, R. Warming the world. Greenhouse effect: Fourier's concept of planetary energy balance is still relevant today. Nature, n. 432, p. 677, 2004.

PRESS, F.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H.; & SIEVER, R. Para entender a Terra. Porto Alegre: Bookman, 2006.

PUHL, Cassiano Scott; MÜLLER, Thaísa Jacintho; LIMA, Isolda Gianni de. A infância de Ausubel e sua influência na Teoria da Aprendizagem Significativa. Revista Dynamis, Blumenau, v. 26, n. 1, p. 61-77, 2020. Disponível em: <https://ojsrevista.furb.br/ojs/index.php/dynamis/article/view/8589>. Acesso em: 16 jun. 2023.

SEARS, F. W.; SALINGER, G. L. Termodinâmica, Teoria Cinética e Termodinâmica Estatística. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1979.

SESI-SP. Descomplicando o Arduino: robótica educacional. São Paulo: SESI-SP Editora, 2019.

SILVA, S. D. C. R. D.; JUNIOR, A. S. Internet das Coisas na Educação: Uma Visão Geral. Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista, Santo Ângelo, v. 8, n. 2, p. 57-69, 2018.

SILVA, S. D. C. R. D.; JUNIOR, A. S. Internet das Coisas na Educação: Uma Visão Geral. Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista, Santo Ângelo, v.8, n. 2, p. 57-69, 2018.

SOUZA, A. R. D.; PAIXÃO, A. C.; UZÊDA, D. D., DIAS, M. A., DUARTE, S.; AMORIM, H. S. D. A placa Arduino: uma opção de baixo custo para experiências de Física. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 33, n. 1, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbef/a/FWYNZZqJJgkchRqBQcLbYyh/?format=pdf&lang=pt>>.

SRIVASTAVA, D.; KESARWANI, A.; DUBEY, S. Measurement of Temperature and Humidity by using Arduino Tool and DHT11. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), v. 5, n. 12, p. 876-878, 2018. Disponível em: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/58144752/IRJET-V5I12167-libre.pdf?1547011174=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DIRJET_Measurement_of_Temperature_and_Hum.pdf&Expires=1707840572&Signature=IEVTIGwbrP1fHdPRAIzBPH4gzbqAxkt4B4hozGrrD0bkNcq>.

SUSAN, S.; AISHWARYA, R; TEJASHWINI K.; THARUNA S.; VARSHNI S. Greenhouse Monitoring Using IOT. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology, v. 9, p. 2425-2431, julho/2021

TCDN. Suporte borne ESP32. Disponível em: <https://images.tcdn.com.br/img/img_prod/672486/suporte_borne_esp32_1205_1_60a33b800d0e1fbca69b26e59fa72e0c.jpg>. Acesso em: 29 de agosto de 2023.

USINAINFO ELETRÔNICA E ROBÓTICA. Disponível em: https://www.usinainfo.com.br/1031135-thickbox_default/expansor-para-esp32-wroom-32u-devkitc-v4-38-pinos.jpg. Acesso em 29 de agosto de 2023.

WAN, Z.; SONG, Y.; CAO, Z. Environment Dynamic Monitoring and Remote Control of Greenhouse with ESP8266 NodeMCU. IEEE 3rd Information Technology, Networking, Electronic and Automation Control Conference (ITNEC), Annals, 2019, p. 377-382.

WIKIMEDIA COMMONS. Solar spectrum pt.svg. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Nantenna#/media/Ficheiro:Solar_spectrum_pt.svg>. Acesso em: 15 jul. 2023.

Apêndice A

PRODUTO EDUCACIONAL

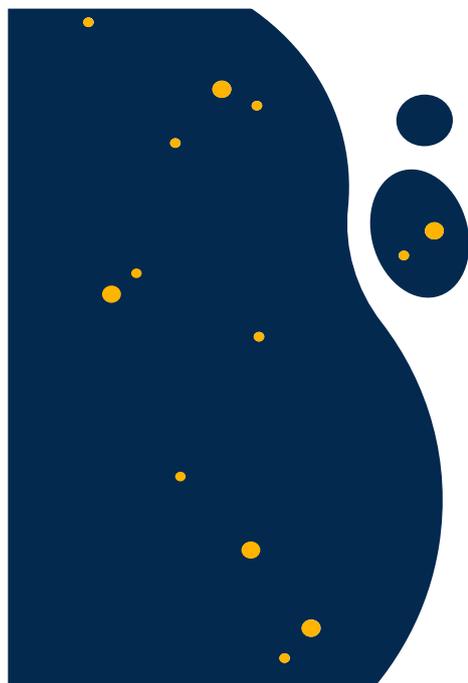
**UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL
DO EFEITO ESTUFANO ENSINO MÉDIO
UTILIZANDO A INTERNET DAS COISAS**

MNPEF
MESTRADO NACIONAL
PROFISSIONAL EM
ENSINO DE FÍSICA

ufisicat

SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

CC BY NC



ESTA APRESENTAÇÃO FOI ELABORADA POR RODRIGO FELIPE RAFFA, MESTRANDO DO POLO 42 DO MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL DE ENSINO DE FÍSICA (MNPEF) NO CAMPUS SOROCABA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS (UFSCAR).

O TRABALHO INTEGRA O PRODUTO EDUCACIONAL DESENVOLVIDO NO PROJETO INTITULADO "UMA ABORDAGEM EXPERIMENTAL DO EFEITO ESTUFA NO ENSINO MÉDIO UTILIZANDO A INTERNET DAS COISAS" SOB ORIENTAÇÃO DE PROF. DR. RENATO FERNANDES CANTÃO E COORIENTAÇÃO DE PROF. DR. ANTÔNIO AUGUSTO SOARES.



MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



SUMÁRIO

- 1- OBJETIVOS
- 2- HABILIDADES DA BNCC



MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

- ✓ Compreender o mecanismo físico do Efeito Estufa.
- ✓ Reconhecer as evidências das mudanças climáticas.
- ✓ Utilizar IoT para coletar dados experimentais.

BNCC HABILIDADES

- ✓ (EM13CNT203) Avaliar e prever efeitos de intervenções nos ecossistemas, nos seres vivos e no corpo humano, interpretando os mecanismos de manutenção da vida com base nos ciclos da matéria e nas transformações e transferências de energia.
- ✓ (EM13CNT105) Analisar a ciclagem de elementos químicos no solo, na água, na atmosfera e nos seres vivos e interpretar os efeitos de fenômenos naturais e da interferência humana sobre esses ciclos, para promover ações individuais e/ou coletivas que minimizem consequências nocivas à vida.



OBJETIVOS DA AULA

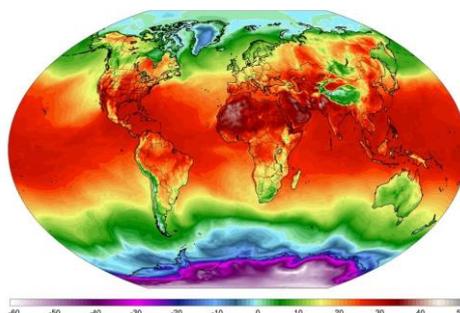
- Apresentar um panorama geral do assunto e relacionar com os conhecimentos prévios dos estudantes por meio de uma aula expositiva dialogada.
- Contextualizar o tema com dados e informações recentes, incluindo fontes da mídia e relatórios do IPCC.
- Demonstrar aos estudantes que a variação das atividades solares não influenciou no aumento da temperatura global.
- Diferenciar aquecimento global de mudanças climáticas, compreendendo este último como um conceito mais abrangente.



Julho foi o mês mais quente já registrado no planeta; 'ebulição global', diz secretário-geral da ONU

A rede científica 'World Weather Attribution' (WWA) concluiu que as recentes ondas de calor na Europa e nos EUA teriam sido 'praticamente impossíveis' sem o efeito da atividade humana.

Por g1

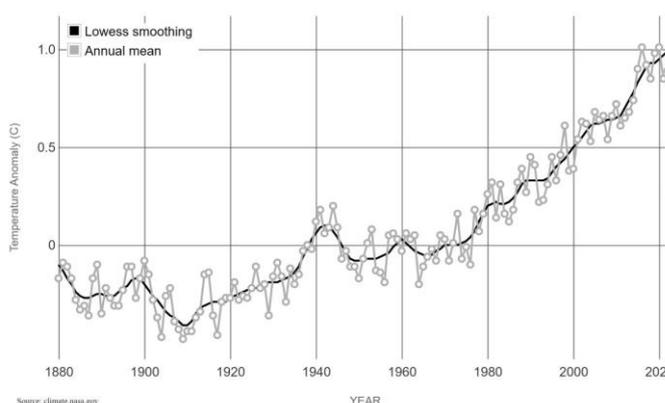


Disponível em <https://g1.globo.com/meio-ambiente/noticia/2023/08/08/julho-foi-o-mes-mais-quente-ja-registrado-no-planeta.ghtml> Acesso em 20 de agosto de 2023.

O AQUECIMENTO GLOBAL É REAL

Este gráfico mostra a **variação da temperatura da superfície global** em comparação com a média de longo prazo de 1951 a 1980.

Há um crescimento substancial da variação da temperatura entre os anos de 1960 e 2020.



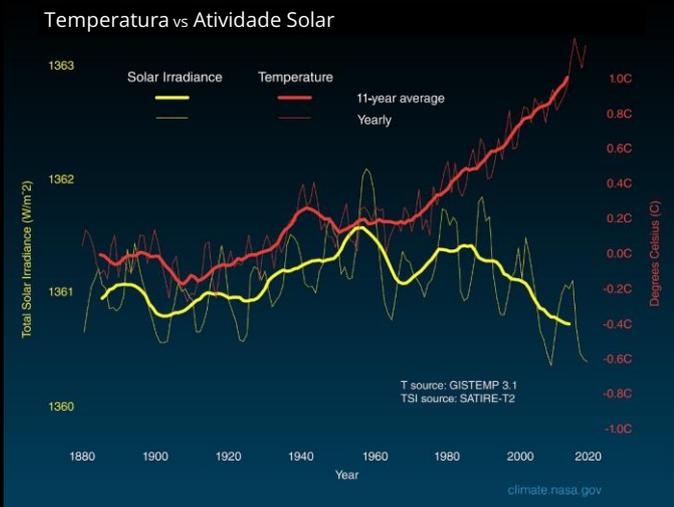
Fonte de dados: Goddard Institute for Space Studies (GISS) da NASA
Crédito: NASA/GISS



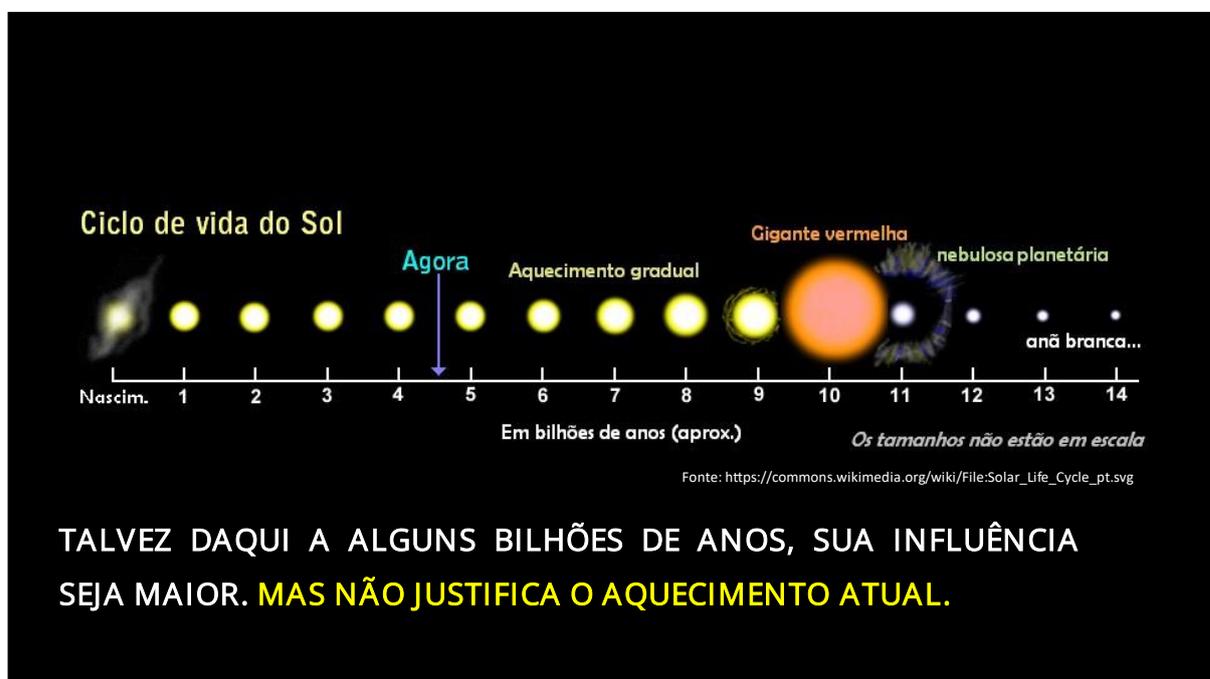
SERIA O SOL A CAUSA DO PROBLEMA?

EVIDÊNCIAS MOSTRAM QUE O AQUECIMENTO GLOBAL NÃO PODE SER EXPLICADO PELA IRRADIAÇÃO SOLAR

- Observando o gráfico, nota-se que a irradiância solar (representada pela linha amarela) permaneceu praticamente constante.
- Em contrapartida, a temperatura média da Terra (representada pela linha vermelha) aumentou significativamente a partir de 1960.



Fonte: https://science.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/11/temperature_vs_solar_activity_2021.png?w=1536&format=webp



RELATÓRIO IPCC 2023



- Em março de 2023 foi lançado o 6º Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), o último volume de um trabalho de oito anos do corpo científico de maior renome global sobre mudanças climáticas. Nesse relatório constam algumas conclusões importantes:
 - O aumento de 1,1°C no aquecimento global, resultando em transformações climáticas sem precedentes nos tempos modernos.
 - Mesmo respeitando um limite de 1,5°C, não será um cenário seguro para todos. Ultrapassando o limite, mesmo que temporariamente, os danos serão ainda mais severos e irreversíveis.
 - Caso não asseguemos uma transição justa, as mudanças climáticas e nossos esforços para nos adaptarmos e mitigá-las poderão agravar a desigualdade social.

Disponível em <https://www.wribrasil.org.br/noticias/10-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-sobre-mudancas-climaticas-de-2023>. Acesso em 20 de julho de 2023.

QUAL A DIFERENÇA ENTRE AQUECIMENTO GLOBAL E MUDANÇAS CLIMÁTICAS?

- O termo "mudança climática" é mais abrangente do que "aquecimento global", que se refere especificamente ao aumento da temperatura. Mudanças climáticas englobam não apenas a variação de temperatura, mas também a intensidade das chuvas e eventos climáticos extremos, como furacões e ondas de calor. O clima do planeta está em constante mudança ao longo do tempo.

EVIDÊNCIAS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

AS GELEIRAS ESTÃO DERRETENDO!

Redução de massa das camadas de gelo na região da Groelândia e Antártida. Dados do *Gravity Recovery and Climate Experiment* da NASA mostram que a Groenlândia perdeu uma média de 279 bilhões de toneladas de gelo por ano entre 1993 e 2019, enquanto a Antártida perdeu cerca de 148 bilhões de toneladas de gelo por ano.

ONÍVEL DO MAR ESTÁ AUMENTANDO!

O nível global do mar subiu cerca de 20 centímetros no último século. A taxa nas últimas duas décadas, no entanto, é quase o dobro da do século passado e acelera ligeiramente a cada ano.

Disponível em <https://climate.nasa.gov/evidence/>.
Acesso em 20 de julho de 2023.

EVIDÊNCIAS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

EVENTOS EXTREMOS ESTÃO CADA VEZ MAIS FREQUENTES!

O número de eventos de temperatura recorde nos Estados Unidos tem aumentado, enquanto o número de eventos de temperatura baixa recorde vem diminuindo desde 1950.

OCEANO ESTÁ FICANDO MAIS QUENTE!

Nos 100 metros superiores do oceano, houve um aumento de 0,33°C registrado desde 1969.

OS OCEANOS ESTÃO CADA VEZ MAIS ÁCIDOS!

Desde o início da Revolução Industrial, a acidez das águas oceânicas superficiais aumentou cerca de 30%. O oceano absorveu entre 20% e 30% do total das emissões antropogênicas de dióxido de carbono nas últimas décadas.

Disponível em: <https://climate.nasa.gov/evidence/>.
Acesso em 20 de julho de 2023.

QUESTÕES PARA REFLEXÃO

1. Explique com suas palavras os conceitos de (a) **Mudanças Climáticas** e (b) **Aquecimento Global** destacando suas principais características.
2. Cite ao menos duas **evidências científicas** que sustentam a realidade das mudanças climáticas.
3. Por que não podemos considerar que o **Sol** é a causa principal do aquecimento global?

SUGESTÃO DE MATERIAIS PARA CONSULTA

- NASA. Global Climate Change. Disponível em <https://climate.nasa.gov/>
- IPCC. AR6 Synthesis Report Climate Change 2023. Disponível em <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- WRI BRASIL. 10 conclusões do relatório do IPCC sobre mudanças climáticas de 2023. <https://www.wribrasil.org.br/noticias/10-conclusoes-do-relatorio-do-ipcc-sobre-mudancas-climaticas-de-2023>
- NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Mudanças climáticas: ameaça ao bem-estar humano e à saúde do planeta. Disponível em <https://brasil.un.org/pt-br/173693-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas-amea%C3%A7a-ao-bem-estar-humano-e-%C3%A0-sa%C3%BAde-do-planeta>
- BBC. Whats is Climate Change? A really simple guide. Disponível em <https://www.bbc.com/news/science-environment-24021772>
- INPE. O Brasil e as mudanças climáticas. Disponível em <http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/brasil-e-as-mudancas-climaticas.pdf>
- CANAL USP. Quais evidências de que o homem causa aquecimento global? Disponível em https://www.youtube.com/watch?v=9CTEbLR_mp0



OBJETIVOS DA AULA

- Compreender o efeito estufa como um fenômeno natural essencial para possibilitar a vida na Terra.
- Associar a radiação térmica às diferentes bandas do espectro eletromagnético.
- Comparar o balanço energético de um ambiente sem efeito estufa com um ambiente com efeito estufa.
- Relacionar o funcionamento da atmosfera terrestre ao vidro das estufas agrícolas.

EFEITO ESTUFA

O efeito estufa é um fenômeno natural que acontece na atmosfera de alguns planetas, como a Terra, devido à presença de gases que absorvem e emitem **radiação infravermelha**, como o vapor de água, o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O).

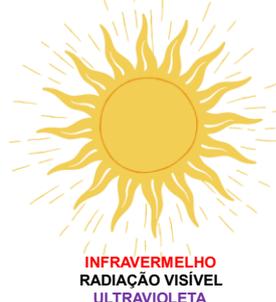
O princípio de funcionamento é semelhante ao vidro das estufas de floricultura, o que justifica o nome "estufa".

Sem a ação do efeito estufa, a temperatura média do planeta Terra seria de -19°C. Cerca de 34°C mais frio do que é medido atualmente.



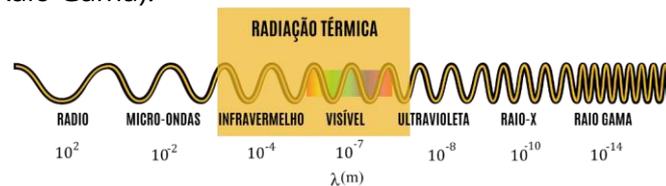
EMISSÃO DE RADIAÇÃO

Tanto o Sol como a Terra emitem radiação. No entanto, apenas o brilho do Sol é visível ao olho humano. A radiação terrestre está somente na forma de **ondas infravermelhas** – abaixo do limiar da nossa visão.



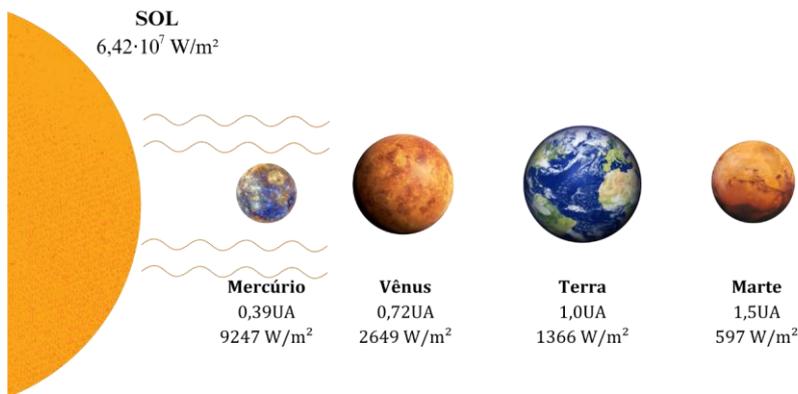
EMISSÃO DE RADIAÇÃO

As ondas eletromagnéticas compõe o espectro eletromagnético por ordem de comprimento de onda (λ), do mais longo (Rádio) para o mais curto (Raio Gama).



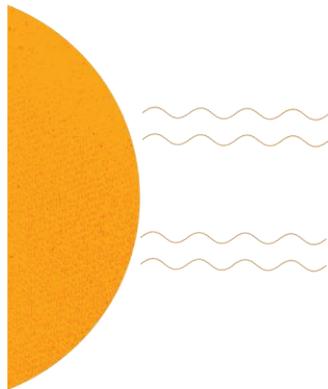
A radiação de origem **térmica** é composta por radiações cujo comprimento de onda são da faixa do infravermelho, visível e parte do ultravioleta.

RADIAÇÃO SOLAR



1UA = 1 UNIDADE ASTRONÔMICA = 150.000.000 km
 Constante Solar: $S_c = 1366 \text{ W/m}^2$

RADIAÇÃO ABSORVIDA



Constante Solar: $S_c = 1366 \text{ W/m}^2$



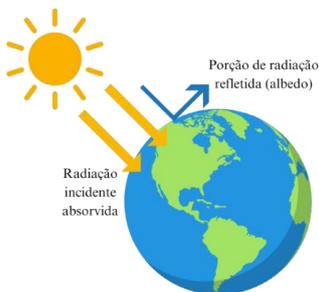
Apenas a face iluminada recebe a radiação solar:

$$I = \frac{S_c}{4}$$

Considerando o albedo médio da Terra $\alpha = 0,31$, a radiação absorvida pela Terra é:

$$I_{ab} = \frac{S_c}{4} (1 - \alpha) = 235 \text{ W} \cdot \text{m}^2$$

BALANÇO DE ENERGIA

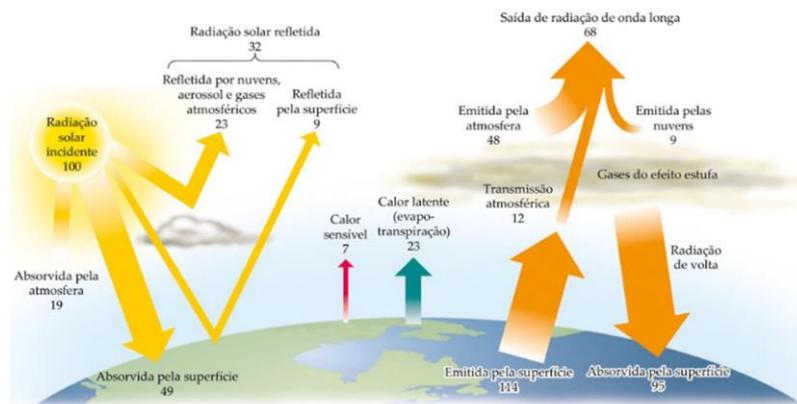


Toda radiação incidente em um corpo, em algum momento, é devolvida para o meio externo.

Uma fração da radiação incidente é devolvida imediatamente pelo fenômeno da reflexão, numa taxa média conhecida como albedo (α).

A outra parte é absorvida, trocando calor com o sistema. Ao entrar em equilíbrio, a radiação é devolvida como radiação térmica pelo corpo que a absorveu.

BALANÇO DE ENERGIA



LEI DE STEFAN-BOLTZMANN

Para um corpo não-negro (emissor real, não perfeito), o fluxo de radiação F é proporcional a quarta potência da temperatura de equilíbrio,

$$F = \epsilon \sigma T^4$$

sendo ϵ o coeficiente de emissividade, que varia de 0 a 1 e $\sigma = 5,66 \cdot 10^{-8} \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$, a constante de Stefan-Boltzmann.

SEM ATMOSFERA

Radiação solar absorvida = Radiação terrestre emitida

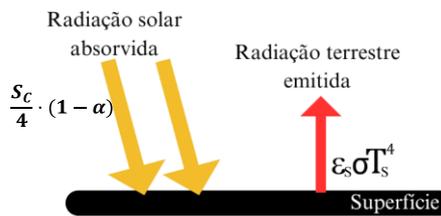
$$\frac{S_C}{4} \cdot (1 - \alpha) = \epsilon_s \sigma T_s^4$$

$$T_s^4 = \frac{S_C}{4\epsilon_s \sigma} \cdot (1 - \alpha)$$

$$\epsilon_s = 0,95$$

$$T_s^4 = \frac{1366}{4 \cdot 0,95 \cdot 5,6 \cdot 10^{-8}} \cdot (1 - 0,31)$$

$$T_s = 258 K$$

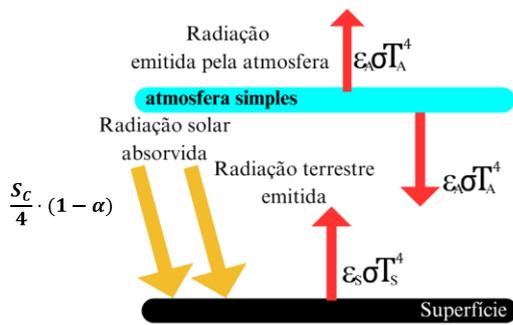


(a) Superfície sem atmosfera

ϵ_s é a emissividade da superfície
 T_s é a temperatura da superfície

COM ATMOSFERA

Radiação solar absorvida + Radiação atmosférica = Radiação terrestre emitida



(b) Superfície com atmosfera

ϵ_A é a emissividade atmosférica
 T_A é a temperatura atmosférica

$$\frac{S_C}{4} \cdot (1 - \alpha) + \epsilon_A \sigma T_A^4 = \epsilon_s \sigma T_s^4$$

$$235 + \epsilon_A \sigma T_A^4 = \epsilon_s \sigma T_s^4$$

$$\epsilon_A = 0,75 \quad T_A = 255 K$$

$$235 + 181 = \epsilon_s \sigma T_s^4$$

$$T_s = 296 K$$

UM PLANETA SEM EFEITO ESTUFA



Mercúrio

Albedo: 10%
Fluxo de Radiação Solar: 9247 W/m²
Temperatura Máxima: 426 °C
Temperatura Mínima: -183 °C
Temperatura Média: 166 °C

A amplitude térmica em Mercúrio é extremamente alta, sem o efeito estufa, os dias são muito quentes, pela proximidade com o Sol, porém as noites são congelantes.

UM PLANETA COM EFEITO ESTUFA



Terra

Albedo: 30%
Fluxo de Radiação Solar: 1366 W/m²
Temperatura Máxima: 58 °C
Temperatura Mínima: -93 °C
Temperatura Média: 14°C

A amplitude térmica na Terra não é tão desconfortável para vida, pois com a ação do Efeito Estufa, o planeta “devolve” a radiação solar numa taxa mais lenta, mantendo o planeta aquecido mesmo à noite.

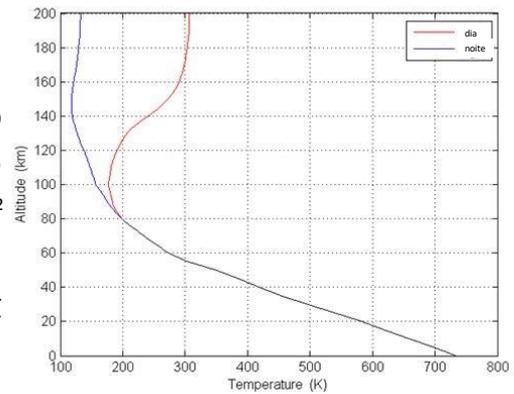


UM PLANETA COM EFEITO ESTUFA ACENTUADO



Vênus

Albedo: 70%
Fluxo de Radiação
Solar: 2649 W/m^2
Temperatura
Média: $450 \text{ }^\circ\text{C}$



A variação de temperatura do dia e da noite só é significativa a em altitudes superiores a 80 km da superfície em Vênus.

EXPERIMENTAÇÃO

**COMPARANDO AS
TEMPERATURAS DENTRO
E FORA DA ESTUFA**

OBJETIVOS DA AULA

- Coletar dados em tempo real a partir do aparato experimental dentro e fora de uma estufa.
- Utilizar novas tecnologias digitais para aprimorar a coleta de dados experimentais.
- Analisar os dados de temperatura coletados.
- Aplicar os conceitos da aula teórica para explicar os resultados experimentais.

LISTA DE MATERIAIS

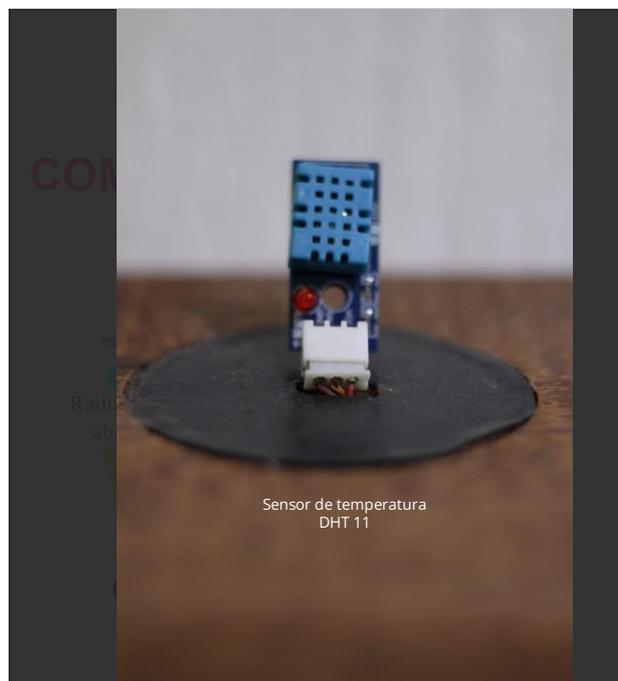
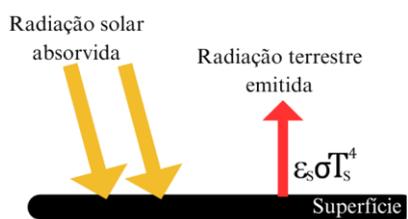
Para a construção do aparato experimental, os materiais minimamente necessários estão listados abaixo:

- 1 ESP32
- 2 sensores DHT11
- 6 jumpers
- 1 fonte de alimentação para o ESP32 (pode ser a porta USB de um computador)
- 1 protoboard ou 1 placa adaptadora extensora para ESP32
- 1 pote de vidro com tampa

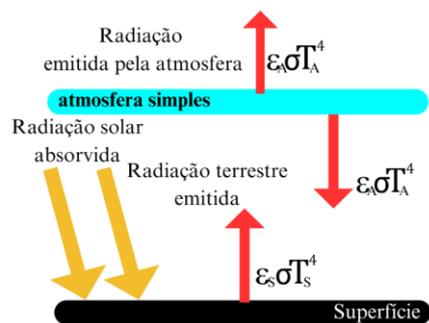
Além disso, fios podem ser usados em substituição aos jumpers, diminuindo a impedância. Uma base de madeira também pode ser útil para sustentar o projeto.



SEM EFEITO ESTUFA



COM EFEITO ESTUFA

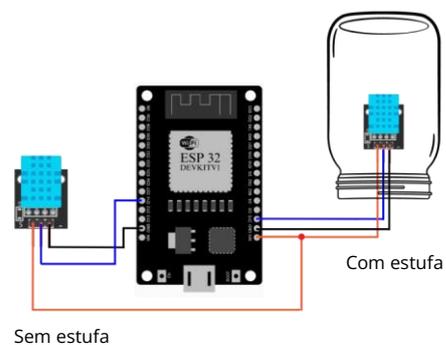


O APARATO EXPERIMENTAL

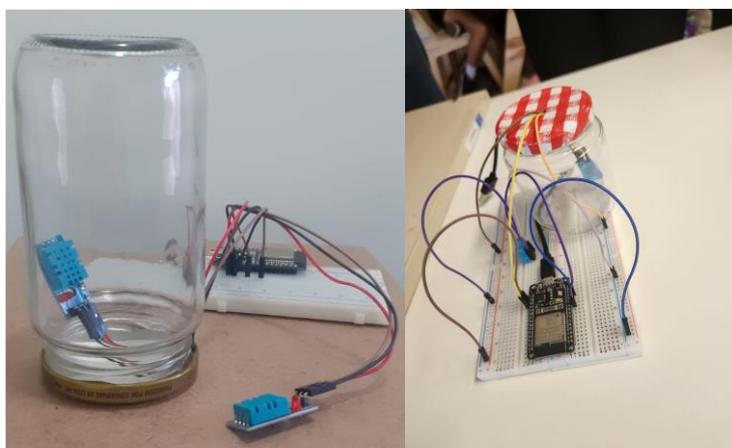
A **linha azul** simboliza as conexões digitais, com sensores ligados às portas D14 e D15, permitindo comunicação digital entre os sensores DHT11 e o ESP32 para transmissão de dados de temperatura.

A **linha vermelha** indica a alimentação de 3.3V, fornecendo a tensão necessária para o funcionamento dos sensores, garantindo compatibilidade com suas especificações de operação.

A **linha preta** representa a conexão ao GND (conexão terra), estabelecendo a referência de zero volts necessária para o circuito, criando um ponto comum de referência para todas as tensões no circuito.



O APARATO EXPERIMENTAL



Modelos desenvolvidos pelos alunos.

O APARATO EXPERIMENTAL



Modelo desenvolvido pelo autor.

O CÓDIGO DO ESP32

A programação do ESP32 é realizada na IDE Arduino, que oferece uma interface amigável e uma vasta biblioteca de recursos para facilitar o desenvolvimento de projetos.

A configuração da IDE para suportar o ESP32 é simples e permite que os usuários aproveitem ao máximo o potencial desse microcontrolador, incluindo funcionalidades como Wi-Fi, Bluetooth e GPIOs (*Entradas e Saídas de Propósitos Gerais*) versáteis.

```
BMP280_HTML_GRAFICO_CSV | Arduino 1.8.19 (Windows Store 1.8.57.0)
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
BMP280_HTML_GRAFICO_CSV
//CARREGANDO ADEQUADAMENTE. FALTA LER DADOS E PLOTAR
// LINK PARA INSTALAR spiffs https://blog.eletragate.com/spiffs-armazenamento-
//https://www.youtube.com/watch?v=svhtGht1Vn0 APAGRA
//https://blogmasterwalkershop.com.br/arduino/como-usar-com-arduino-led-emisso

#include <WiFi.h>
#include <ESPAsyncWebServer.h>
#include <SPIFFS.h>
#include <Wire.h>
#include "DHT.h"
#define DHTPIN1 13

DHT ESP32 DHT11 V1 (DHT11, 21600, Normal, Display em 1080)
```

O CÓDIGO DO ESP32

O código utilizado na programação configura um servidor web assíncrono no ESP32 para monitorar dados de temperatura dos dois sensores DHT11 via uma página web. Uma explicação detalhada de cada parte do código se encontra abaixo.

No início do programa são definidas as bibliotecas. Essas bibliotecas são necessárias para conectar o ESP32 a uma rede Wi-Fi (WiFi.h), criar um servidor web assíncrono (ESPAsyncWebServer.h), manipular o sistema de arquivos SPIFFS para armazenamento de arquivos (SPIFFS.h), realizar comunicação I2C, embora não utilizada neste exemplo (Wire.h), e interagir com os sensores de temperatura DHT11 (DHT.h).

```
// LINK PARA INSTALAR spiffs https://blog.eletrogate.com/spiffs-armazenamento-de-arquivos-do-esp32/
NECESSÁRIO PARA CARREGAR ARQUIVOS EXTRAS.

#include <WiFi.h>
#include <ESPAsyncWebServer.h>
#include <SPIFFS.h>
#include <Wire.h>
#include "DHT.h"
```

O CÓDIGO DO ESP32

Aqui, os pinos do ESP32 aos quais os sensores DHT11 estão conectados são definidos, bem como os tipos de sensores.

```
#define DHTPIN2 14
#define DHTPIN3 15
#define DHTTYPE1 DHT11
#define DHTTYPE2 DHT11

DHT dht1 (DHTPIN3, DHTTYPE1);
DHT dht2 (DHTPIN2, DHTTYPE2);
```

Substitua "NOME DA SUA REDE" e "SENHA" pelas credenciais da sua rede Wi-Fi.

```
const char ssid = "NOME DA SUA REDE";
const char password = "SENHA";
```



O CÓDIGO DO ESP32

O pino 12 é definido para controlar um LED, e o servidor web é inicializado na porta 80. A função dados() coleta a temperatura dos dois sensores DHT11 e retorna uma string formatada contendo o tempo em segundos e as temperaturas.

```
const int led = 12;
AsyncWebServer server(80);
String dados() {
    float vec[2];
    unsigned long tempo_f = millis() / 1000;
    vec[0] = dht1.readTemperature();
    vec[1] = dht2.readTemperature();
    return String(tempo_f) + String(";") + String(vec[0]) + String(";") + String(vec[1]) + String(";")
    + "1";
}
```

O CÓDIGO DO ESP32

No setup, a comunicação serial é inicializada para depuração com Serial.begin(115200), o pino do LED é configurado como saída e aceso com pinMode e digitalWrite, e o sistema de arquivos SPIFFS é montado com SPIFFS.begin(). O SPIFFS permite que o ESP32 armazene e acesse arquivos de forma eficiente, proporcionando uma maneira prática de gerenciar recursos como páginas web, configurações e dados persistentes diretamente na memória flash do dispositivo.

Em seguida, o ESP32 é conectado à rede Wi-Fi com WiFi.begin(ssid, password), e o endereço IP local do ESP32 é exibido com Serial.println(WiFi.localIP()). O servidor web é configurado para servir o arquivo index.html do SPIFFS na rota raiz com server.on("/", HTTP_GET, ...), e para enviar os dados de temperatura em formato texto na rota /dado com server.on("/dado", HTTP_GET, ...). Finalmente, o servidor web é iniciado com server.begin().



O CÓDIGO DO ESP32

```
void setup() {  
  // Porta serial para fins de depuração  
  Serial.begin(115200);  
  pinMode(led, OUTPUT);  
  digitalWrite(led, HIGH);  
  bool status;  
  // Iniciando SPIFFS  
  if (!SPIFFS.begin()) {  
    Serial.println("An Error has occurred while mounting SPIFFS");  
    return;  
  }  
  // Conectando no WiFi  
  WiFi.begin(ssid, password);  
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {  
    delay(1000);  
    Serial.println("Connecting to WiFi..");  
  }  
}
```

O CÓDIGO DO ESP32

```
// Comando para mostrar na tela o endereço do IP do ESP32  
Serial.println(WiFi.localIP());  
server.on("/", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest request) {  
  request->send(SPIFFS, "/index.html");  
});  
server.on("/dado", HTTP_GET, [](AsyncWebServerRequest request) {  
  request->send_P(200, "text/plain", dados().c_str());  
});  
// Inicializa o servidor  
server.begin();  
}  
void loop() {  
}
```



O CÓDIGO DO ESP32

O loop principal está vazio porque a lógica do servidor web assíncrono não necessita de código contínuo no loop. Para que esse código funcione corretamente, é necessário que você tenha o arquivo `index.html` carregado no SPIFFS do ESP32. O link fornecido no início do código leva a um tutorial sobre como configurar e usar o SPIFFS para armazenar arquivos no ESP32. Além disso, o código pressupõe que você tenha as bibliotecas necessárias instaladas em seu ambiente de desenvolvimento (Arduino IDE, por exemplo).

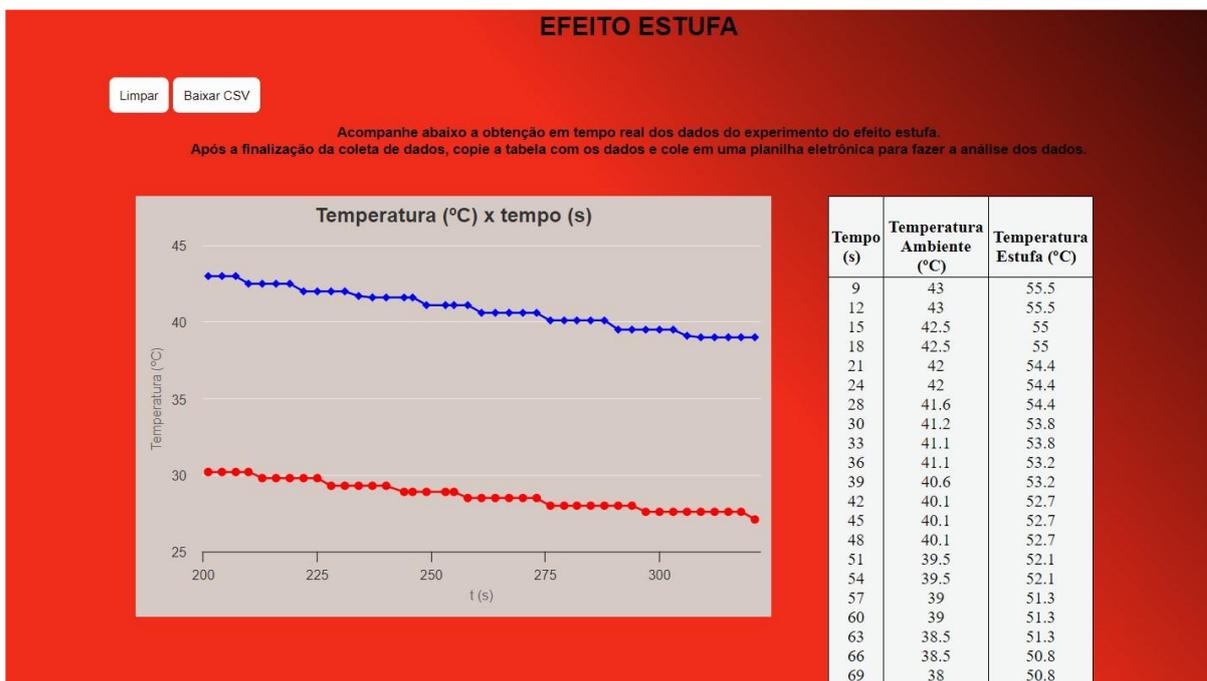
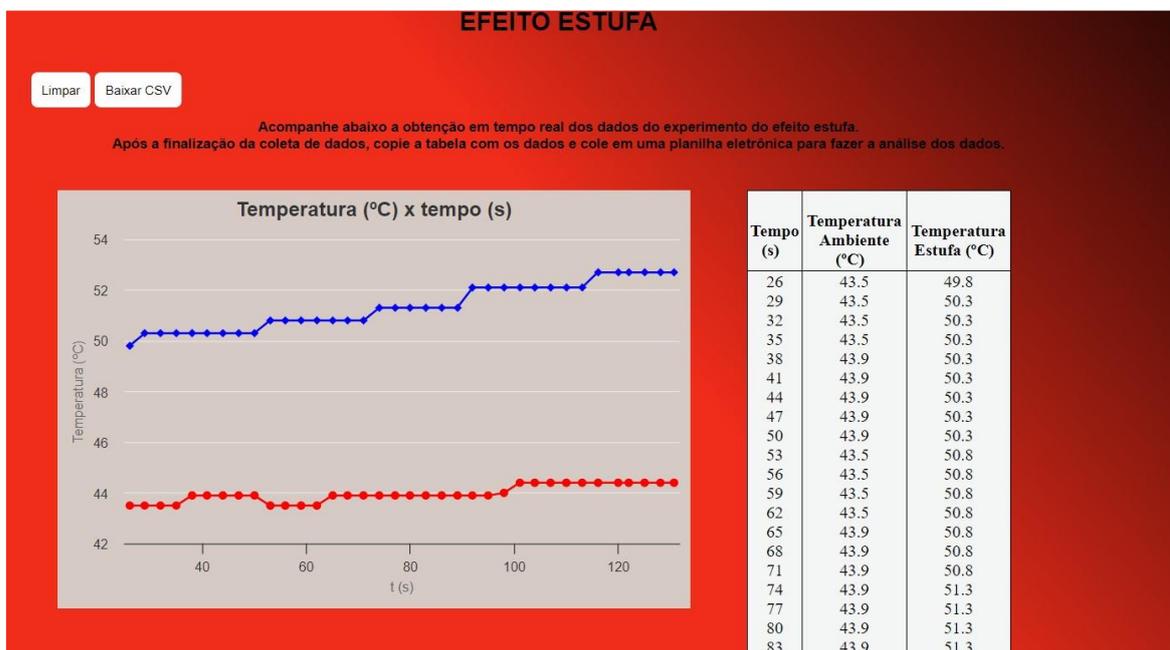
Certifique-se de instalar as bibliotecas DHT sensor library e ESPAsyncWebServer através do gerenciador de bibliotecas da Arduino IDE.

CÓDIGO HTML E COMUNICAÇÃO

O código HTML desenvolvido para esse projeto cria uma página web interativa para monitorar e exibir dados em tempo real de um experimento sobre o efeito estufa. A página utiliza diversos elementos HTML, CSS e JavaScript para apresentar um gráfico dinâmico e uma tabela de dados, bem como botões para limpar os dados e baixar os resultados em formato CSV.

A comunicação entre a página HTML e o ESP32 é feita através de requisições HTTP, especificamente usando a função `requestDataFromSensors` que envia uma solicitação GET para o servidor do ESP32. Os dados são obtidos a cada 3 segundos.





ORGANIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO



Em uma pasta, o programa para o ESP32 deve ser salvo com a extensão `.ino`, por exemplo, "`nome_do_arquivo.ino`".

Já o código HTML e JavaScript como "`index.html`" e deve estar salvo em uma subpasta nomeada de "`data`".

Nome	Data de modificação	Tipo	Tamanho
data	04/12/2023 21:28	Pasta de arquivos	
DHT22_HTML_GRAFICO_CSV2.ino	23/08/2023 10:19	Arquivo INO	3 KB
index.html	21/08/2023 16:48	Chrome HTML Do...	11 KB

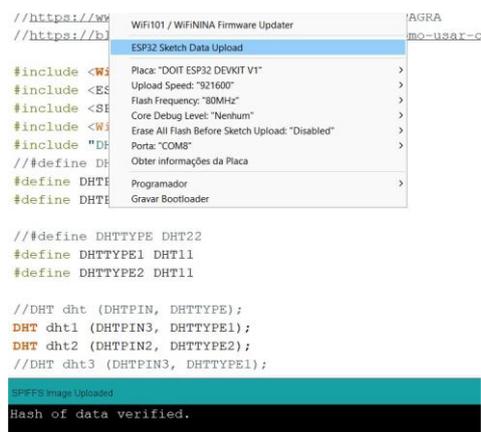
PROCEDIMENTO DA PROGRAMAÇÃO

- 1. Clique no link fornecido : Primeiro, clique no link que foi disponibilizado para você. Este link o levará para uma página onde você pode baixar os arquivos necessários. <https://drive.google.com/drive/folders/1VYZCJMQ5MgjsfZ0u3D5dOLey7f7XF426?usp=sharing>
- 2. Conecte o ESP32 ao computador : Use um cabo USB para conectar o seu dispositivo ESP32 ao computador. Certifique-se de que o ESP32 esteja bem conectado e pronto para receber os arquivos.
- 3. Abra a IDE do Arduino : Na IDE abra o arquivo `.ino`. Certifique-se de ter selecionado uma placa (ESP32 DEVKIT), porta (USB) e que tenha o Serial Monitor fechado. Inclua todas as bibliotecas necessárias.
- 4. Upload da programação . Faça o upload da programação no ESP32.

INICIANDO O EXPERIMENTO

- Ainda com o programa .ino aberto na IDE Arduino, siga os seguintes passos:

- Em ferramentas, clique em “ESP32 Sketch Data Upload”. Isso deve começar a carregar os arquivos no sistema de arquivos SPIFFS do ESP32. Quando terminar o upload, a barra de status do IDE exibirá a mensagem ‘SPIFFS Image Uploaded’. Pode levar alguns segundos.



```
//https://www
//https://b

WIFI101 / WIFININA Firmware Updater |AGRA
ESP32 Sketch Data Upload |MO-USAR-C

#include <WiFi.h>
#include <ESP8266.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <WiFi.h>
#include "DHT.h"
//#define DHTTYPE DHT11
#define DHTTYPE DHT11
#define DHTTYPE1 DHT11
#define DHTTYPE2 DHT11

//DHT dht (DHTPIN, DHTTYPE);
DHT dht1 (DHTPIN3, DHTTYPE1);
DHT dht2 (DHTPIN2, DHTTYPE2);
//DHT dht3 (DHTPIN3, DHTTYPE1);

SPIFFS Image Uploaded
Hash of data verified.
```

INICIANDO O EXPERIMENTO

- O ESP32 e os aparelhos que irão coletar os dados devem estar conectados à mesma rede Wi-Fi.
- No navegador, acesse o endereço IP do ESP32.
- O endereço do IP pode ser encontrado no Monitor Serial da Arduino IDE



INICIANDO O EXPERIMENTO

- O endereço do IP pode ser encontrado no Monitor Serial da Arduino IDE



```
COM3
CONECTANDO WiFi...
Conectando WiFi...
Conectando WiFi...
Conectando WiFi...
192.168.22.75
18.20,19.00
19.00,19.40
19.10,19.40
19.40,19.40
19.40,19.40
19.40,19.40
19.40,19.40
19.40,19.40
19.40,19.40
19.40,19.40
```

OBTENDO AS MEDIDAS

- Para obter as medidas, leve o aparato experimental para um local ensolarado com conexão WiFi.
- Para garantir a validade do experimento, é essencial manter uma incidência solar constante. Em outras palavras, não deve haver nuvens bloqueando a luz solar nem quaisquer outras variáveis que possam criar sombras sobre o experimento.



OBTENDO AS MEDIDAS

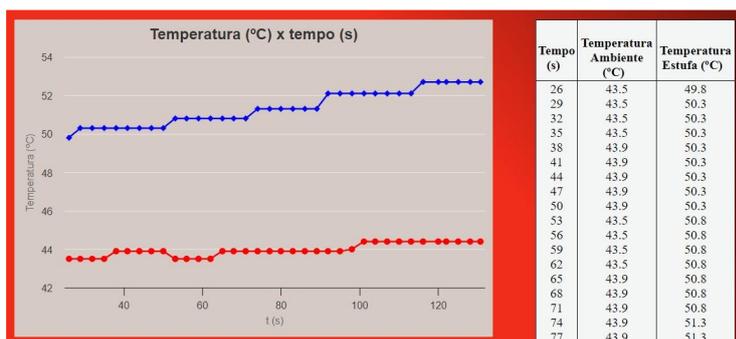
- Aguarde 30 minutos para baixar o arquivo CSV contendo os dados do aquecimento clicando no botão “baixar CSV”.



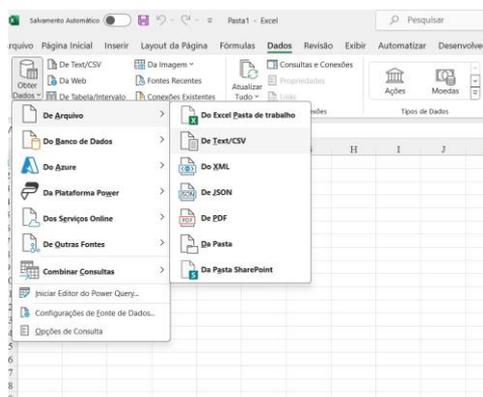
- Em seguida, clique em “limpar” e coloque o aparato na sombra para plotar o gráfico de resfriamento. Depois de mais 30 minutos, você poderá baixar o arquivo de resfriamento. Com os dois arquivos CSV, utilize um software de planilhas eletrônicas para realizar a análise dos dados.

ANÁLISE DO GRÁFICO

Na página HTML, é possível realizar uma primeira análise em tempo real do aquecimento e resfriamento, tanto dentro quanto fora da estufa. No gráfico exibido, a linha vermelha representa o aquecimento fora da estufa, enquanto a linha azul representa o aquecimento dentro da estufa.



ANALISANDO OS DADOS

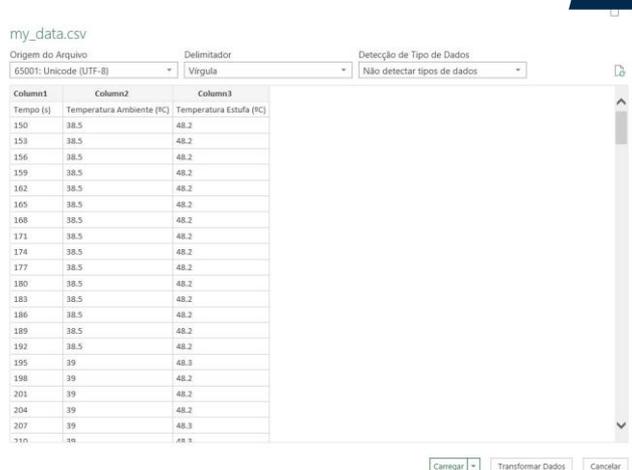


Para uma análise mais aprofundada, recomendamos utilizar o arquivo CSV gerado pela plataforma. Em uma planilha eletrônica, como o Microsoft Excel ou Google Sheets, vá até a aba “dados” e selecione a opção de importar arquivo CSV. Isso permitirá que você carregue os dados do experimento para a planilha, onde poderá realizar análises estatísticas mais detalhadas e visualizações gráficas mais complexas.

ANALISANDO OS DADOS

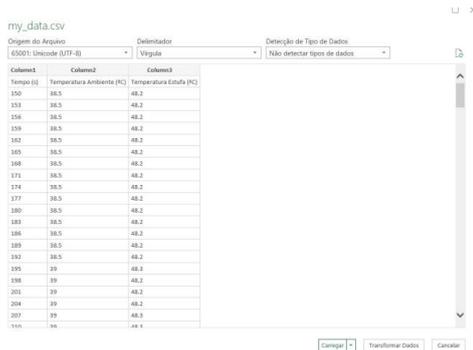
Para garantir uma importação correta dos dados, certifique-se de configurar o delimitador para vírgula e desativar a detecção automática do tipo de dados.

Ao desativar a detecção automática, você tem controle total sobre como os dados serão interpretados, garantindo uma análise mais precisa e confiável.



ANALISANDO OS DADOS

Certifique-se que o delimitador está configurado para vírgula e a detecção do tipo de dados está desativada.



Column1	Column2	Column3
Tempo (s)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Estufa (°C)
150	38.5	48.2
153	38.5	48.2
156	38.5	48.2
159	38.5	48.2
162	38.5	48.2
165	38.5	48.2
168	38.5	48.2
171	38.5	48.2
174	38.5	48.2
177	38.5	48.2
180	38.5	48.2
183	38.5	48.2
186	38.5	48.2
189	38.5	48.2
192	38.5	48.2
195	39	48.3
198	39	48.2
201	39	48.2
204	39	48.2
207	39	48.3
210	39	48.3
213	39	48.7
216	39	48.7

ANALISANDO OS DADOS

Para evitar problemas de sincronização de tempo devido à execução contínua do programa, uma abordagem recomendada é ajustar a coluna do tempo no arquivo CSV. Isso pode ser feito zerando o primeiro tempo e ajustando os tempos subsequentes com base no intervalo de coleta de dados, que é de 3 segundos. Dessa forma, mesmo que os dados não sejam limpos entre as execuções do experimento, os tempos permanecerão consistentes e corretamente espaçados, facilitando uma análise precisa dos dados.

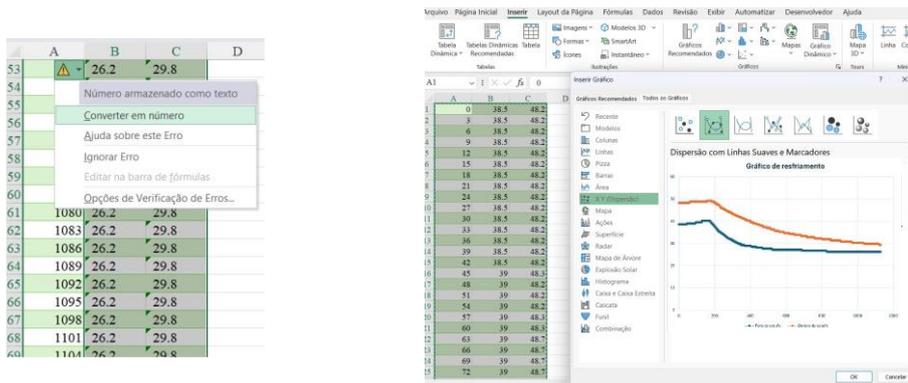
Column1	Column2	Column3
Tempo (s)	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Estufa (°C)
150	38.5	48.2
153	38.5	48.2
156	38.5	48.2
159	38.5	48.2
162	38.5	48.2
165	38.5	48.2
168	38.5	48.2
171	38.5	48.2
174	38.5	48.2
177	38.5	48.2
180	38.5	48.2
183	38.5	48.2
186	38.5	48.2
189	38.5	48.2
192	38.5	48.2
195	39	48.3
198	39	48.2
201	39	48.2
204	39	48.2
207	39	48.3
210	39	48.3
213	39	48.7
216	39	48.7



ANALISANDO OS DADOS

Certifique-se que os dados estão armazenados como número: caso não estejam, selecione e converta para número. Caso fiquem como texto, não será possível plotar o gráfico.

Opte pelo gráfico de dispersão, deixando o tempo no eixo x e as séries de temperatura em y.



QUESTÕES PARA ANÁLISE

Após a obtenção dos dados, é hora de refletir um pouco mais sobre o efeito estufa.

1. O que os dados revelam? Ao analisar os registros de temperatura ao longo do experimento, quais padrões ou variações podem ser identificados? Os valores aumentaram de maneira consistente? Houve diferenças notáveis entre a exposição ao sol e à sombra?
2. Quais os princípios físicos do efeito estufa? Você consegue explicar o processo de aquecimento dentro da estufa? Consegue também relacionar com o efeito estufa no planeta Terra?
3. Quais os benefícios e malefícios do Efeito Estufa? Seu aspecto é totalmente negativo? Quais associações podemos fazer com as mudanças climáticas e o aquecimento global?

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

- Com os alunos divididos em grupo, é possível pedir aos alunos que façam uma apresentação concisa dos resultados experimentais, incluindo as considerações do grupo baseadas nas questões de análise. Todos os membros devem participar ativamente das reflexões, trazendo seus entendimentos sobre o assunto com base nas aulas e na atividade experimental.
- Durante a apresentação, cada grupo deverá exibir o gráfico que elaboraram e discutir as implicações dos dados obtidos. O tempo de apresentação será de 10 minutos por grupo.

SUGESTÃO DE RUBRÍCAS DE AVALIAÇÃO

Critério	Excelente	Bom	Satisfatório	Insuficiente
Fundamentos Físicos do Efeito Estufa	Explicações claras e precisas dos princípios físicos subjacentes ao efeito estufa, com exemplos relevantes.	Explicações adequadas dos princípios físicos, com algumas imprecisões menores.	Explicações incompletas ou confusas dos princípios físicos, com falta de detalhes.	Explicações inadequadas ou incorretas dos princípios físicos, sem clareza.
Análise dos Resultados do Experimento	Análise detalhada e profunda dos resultados experimentais, conectando-os claramente aos princípios físicos.	Análise adequada com conexão razoável aos princípios físicos, mas com algumas lacunas.	Análise superficial com conexão limitada aos princípios físicos e falta de profundidade.	Análise insuficiente ou ausente, sem conexão clara com princípios físicos.
Clareza da Apresentação	Apresentação clara, bem estruturada e fácil de seguir, com uso eficaz de recursos visuais.	Estrutura boa, mas com algumas partes confusas; uso adequado de recursos visuais.	Estrutura compreensível, mas com várias partes confusas; uso limitado de recursos visuais.	Estrutura desorganizada e difícil de seguir; uso inadequado ou ausência de recursos visuais.
Participação do Grupo	Todos os membros participam ativamente e igualmente, contribuindo com reflexões baseadas em física.	Maioria dos membros participa ativamente, com contribuições relevantes sobre física.	Alguns membros participam, mas de forma desigual, com poucas contribuições relevantes.	Participação de poucos membros, sem contribuições relevantes sobre física.
Respostas às Perguntas	Respostas completas e precisas às perguntas, com explicações físicas claras e bem fundamentadas.	Respostas boas, mas não completamente precisas, com explicações físicas adequadas.	Respostas superficiais e imprecisas, com explicações físicas limitadas.	Respostas inadequadas ou não fornecidas, sem explicações físicas.

MÚLTIPLOS OLHARES

- A temática das mudanças climáticas e do efeito estufa pode ser trabalhada como um eixo central interdisciplinar, conectando componentes curriculares de Ciências da Natureza e Ciências Humanas.
- Na Geografia, por exemplo, a abordagem das mudanças climáticas e do efeito estufa pode incluir a análise de mapas climáticos para identificar áreas vulneráveis, a investigação dos impactos socioeconômicos das mudanças climáticas em diferentes regiões e o estudo de casos locais para compreender os efeitos específicos nas comunidades.

MÚLTIPLOS OLHARES

- Já na Química, os gases do efeito estufa podem ser estudados com ênfase em suas propriedades moleculares e mecanismos de ação na atmosfera. Isso inclui investigar os processos químicos que ocorrem na atmosfera e seus efeitos no clima global, como a química dos aerossóis e a fotodecomposição de poluentes, para compreender melhor como esses elementos interagem e influenciam as mudanças climáticas.



Apêndice B

CÓDIGO DO ESP32

Código do ESP32

```
// LINK PARA INSTALAR spiffs https://blog.eletrogate.com/spiffs-  
armazenamento-de-arquivos-do-esp32/ NECESSÁRIO PARA CARREGAR ARQUIVOS  
EXTRAS.  
  
#include <WiFi.h>  
#include <ESPAsyncWebServer.h>  
#include <SPIFFS.h>  
#include <Wire.h>  
#include "DHT.h"  
  
#define DHTPIN2 14  
#define DHTPIN3 15  
  
#define DHTTYPE1 DHT11  
#define DHTTYPE2 DHT11  
  
DHT dht1 (DHTPIN3, DHTTYPE1);  
DHT dht2 (DHTPIN2, DHTTYPE2);  
  
// Substitua "nome da sua rede" e "senha" pelas credenciais da sua  
rede Wi-Fi  
  
const char* ssid = "NOME DA SUA REDE";  
const char* password = "SENHA";  
  
const int led = 12;  
  
AsyncWebServer server(80);  
  
String dados() {  
    float vec[2];  
    unsigned long tempo_f = millis() / 1000;  
    vec[0] = dht1.readTemperature();  
    vec[1] = dht2.readTemperature();  
}
```

```
    return String(tempo_f) + String(";") + String(vec[0]) + String(";") +
String(vec[1]) + String(";") + "1";
}

void setup() {
  // Porta serial para fins de depuração
  Serial.begin(115200);
  pinMode(led, OUTPUT);
  digitalWrite(led, HIGH);
  bool status;

  // Iniciando SPIFFS
  if (!SPIFFS.begin()) {
    Serial.println("An Error has occurred while mounting SPIFFS");
    return;
  }

  // Conectando no WiFi
  WiFi.begin(ssid, password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(1000);
    Serial.println("Connecting to WiFi..");
  }

  // Comando para mostrar na tela o endereço do IP do ESP32
  Serial.println(WiFi.localIP());
  server.on("/", HTTP_GET, [] (AsyncWebServerRequest * request) {
    request->send(SPIFFS, "/index.html");
  });

  server.on("/dado", HTTP_GET, [] (AsyncWebServerRequest * request) {
    request->send_P(200, "text/plain", dados().c_str());
  });

  // Inicializa o servidor
  server.begin();
}

void loop() {
}
```

Apêndice C

CÓDIGO DA PÁGINA HTML



```
<!DOCTYPE html>
```

```
<head>
```

```
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=UTF-8">
```

```
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1" />
```

```
<meta charset="UTF-8" />
```

```
<style>
```

```
body {
```

```
background-image: url("bg.jpg");
```

```
min-width: 1000px;
```

```
max-width: 1000px;
```

```
height: 1000px;
```

```
margin: 0 auto;
```

```
background-color: rgb(0, 0, 0);
```

```
background-image: linear-gradient(
    50deg,
    rgb(240, 44, 26) 60%,
    rgb(0, 0, 0)
);
background-size: contain;
}

h1 {
    font-family: Helvetica;
    font-size: 1.5rem;
    text-align: center;
}

h2 {
    font-family: Arial;
    font-size: 10pt;
    text-align: center;
}

table,
th,
td {
    border: 1px solid black;
    border-collapse: collapse;
    text-align: center;
    background-color: #f3f6f5;
}

.div-lado {
    display: inline-block;
    vertical-align: top;
    text-align: center;
    padding: 25px;
}

.div-g {
    width: 60%;
}

.div-t {
    width: 25%;
}
```

```

        .btn-refresh {
            background: #fdfefe;
            border-radius: 6px;
            padding: 10px;
            cursor: pointer;
            color: rgb(16, 1, 1);
            border: none;
            font-size: 12px;
        }
    </style>
</head>

<body>
    <h1>EFEITO ESTUFA</h1>
    <br />
    <button class="btn-refresh" id="refresh">Limpar</button>
    <button class="btn-refresh" id="download">Baixar CSV</button>
    <h2>
        Acompanhe abaixo a obtenção em tempo real dos dados do experimento do
efeito
        estufa.<br />
        Após a finalização da coleta de dados, copie a tabela com os dados e
cole em
        uma planilha eletrônica para fazer a análise dos dados.
    </h2>

    <div id="t1" class="div-lado dig-g" class="container"></div>

    <div class="div-lado div-t">
        <table>
            <tr>
                <td><b>&nbsp; Tempo (s) &nbsp;</b></td>
                <td><b>&nbsp; Temperatura Ambiente (°C) &nbsp;</b></td>
                <td><b>&nbsp; Temperatura Estufa (°C) &nbsp;</b></td>
            </tr>
            <tr>
                <td>
                    <span id="tdata"></span>
                </td>
                <td>
                    <span id="Tmp1"></span>
                </td>
                <td>
                    <span id="Tmp2"></span>
                </td>
            </tr>
        </table>
    </div>

```

```
        </td>
      </tr>
    </table>
  </div>
</body>

<script>
var highchartsSettings = {
  chart: { backgroundColor: "#d6cac5", renderTo: "t1" },
  title: { text: "Temperatura (°C) x tempo (s)" },
  series: [
    {
      id: "T1",
      name: "T1",
      showInLegend: false,
      data: getLocally("roomTemperature"),
      color: "red",
    },
    {
      id: "T2",
      name: "T2",
      showInLegend: false,
      data: getLocally("anotherTemperature"),
      color: "blue",
    },
  ],
  plotOptions: {
    line: { animation: false, dataLabels: { enabled: false } },
  },
  xAxis: { enabled: true, title: { text: "t (s)" } },
  yAxis: { enabled: true, title: { text: "Temperatura (°C)" } },
  credits: { enabled: false },
};

var chartPT = new Highcharts.Chart(highchartsSettings);

function getAverageFromTemperatura(temperature, chartData) {
  var quantityInputed = chartData.length;
  var told = chartData[quantityInputed - 1];
  var tolder = chartData[quantityInputed - 2];

  var media = (told + tolder) / 2;
  if (Math.abs(media - temperature) > 15 || isNaN(temperature)) {
    return media;
  }
}
```

```
    }

    return temperature;
}

function requestDataFromSensors() {
    let xhttp = new XMLHttpRequest();
    xhttp.onload = function () {
        if (this.readyState !== 4 && this.status !== 200) {
            return;
        }

        transformData(this.responseText);
    };

    xhttp.onerror = function () {
        console.log('XHTTP ERROR!')
    }

    xhttp.open("GET", "/dado", true);
    xhttp.send();
}

function getLocally(key) {
    var itemSaved = window.localStorage.getItem(key);

    if (!itemSaved) {
        itemSaved = `[]`;
    }

    itemSaved = JSON.parse(itemSaved);

    return itemSaved;
}

function saveLocally(key, data) {
    let itemSaved = getLocally(key);

    itemSaved.push(data);

    window.localStorage.setItem(key, JSON.stringify(itemSaved));
}

function removeLocally(key) {
```

```
    window.localStorage.removeItem(key);
}

function transformData(responseText) {
    var valores = responseText.split(";"),
        time = parseFloat(valores[0]),
        roomTemperature = parseFloat(valores[1]),
        anotherTemperature = parseFloat(valores[2]);

    let N = chartPT.series[0].processedYData.length;

    saveLocally("roomTemperature", roomTemperature);
    if (N > 2) {
        roomTemperature = getAverageFromTemperatura(
            roomTemperature,
            chartPT.series[0].processedYData
        );
    }

    N = chartPT.series[1].processedYData.length;
    saveLocally("anotherTemperature", anotherTemperature);

    if (N > 2) {
        anotherTemperature = getAverageFromTemperatura(
            anotherTemperature,
            chartPT.series[1].processedYData
        );
    }

    var isChartBelow40 = chartPT.series[0].data.length > 40;
    chartPT.series[0].addPoint(
        [time, roomTemperature],
        true,
        isChartBelow40,
        true
    );
    chartPT.series[1].addPoint(
        [time, anotherTemperature],
        true,
        isChartBelow40,
        true
    );
};
```

```
        updateTable(time, roomTemperature, anotherTemperature, valores[3] ==
'1');
    }

function updateTable(time, room, another, shouldInsert = false) {
    var tdataContent = document.getElementById("tdata").innerHTML;
    var temp1Content = document.getElementById("Tmp1").innerHTML;
    var temp2Content = document.getElementById("Tmp2").innerHTML;

    if (shouldInsert) {
        tdataContent += time + "<br>";
        temp1Content += room + "<br>";
        temp2Content += another + "<br>";
    }

    document.getElementById("tdata").innerHTML = tdataContent;
    document.getElementById("Tmp1").innerHTML = temp1Content;
    document.getElementById("Tmp2").innerHTML = temp2Content;
}

function getRandomInt(min, max) {
    min = Math.ceil(min);
    max = Math.floor(max);
    return Math.floor(Math.random() * (max - min + 1)) + min;
}

function getFromCache() {
    let roomTemperature = getLocally("roomTemperature");
    let anotherTemperature = getLocally("anotherTemperature");

    for (let index = 0; index < roomTemperature.length; index++) {
        updateTable(index, roomTemperature[index],
anotherTemperature[index], true
    );
    }

    return roomTemperature.length;
}

function refreshData() {
    timeOut = setInterval(() => {
        requestDataFromSensors();
    }, 3000);
}
```

```
function removeAllEntries() {
  if (chartPT.series.length === 0) {
    return;
  }

  let entries = [];
  for (let index = 0; index < chartPT.series.length; index++) {
    const serie = chartPT.series[index];

    for (let dataIndex = 0; dataIndex < serie.data.length;
dataIndex++) {
      const data = serie.data[dataIndex];
      entries.push(data);
    }
  }

  for (let index = 0; index < entries.length; index++) {
    const element = entries[index];
    element.remove();
  }
}

function removeHistory() {
  document.getElementById("tdata").innerHTML = "";
  document.getElementById("Tmp1").innerHTML = "";
  document.getElementById("Tmp2").innerHTML = "";
}

var btn = document.querySelector("#refresh");
btn.addEventListener("click", function () {
  clearInterval(timeOut);

  removeLocally("roomTemperature");
  removeLocally("anotherTemperature");

  removeAllEntries();
  removeHistory();

  console.log("limpando::::");
  refreshData();
});

var btnDownload = document.querySelector("#download");
```

```
btnDownload.addEventListener("click", function () {
    var roomTemperature = getLocally("roomTemperature");
    var anotherTemperature = getLocally("anotherTemperature");

    let rows = [
        ["Tempo (s)", "Temperatura Ambiente (°C)", "Temperatura
Estufa (°C)"],
    ];
    for (let index = 0; index < roomTemperature.length; index++) {
        rows.push([index + 1, roomTemperature[index],
anotherTemperature[index]]);
    }

    var csvContent = "data:text/csv;charset=utf-8,";

    rows = rows.map((item) => item.join(",")).join("\r\n");
    console.log("csvContent+rows:::", csvContent + rows);

    var encodedUri = encodeURI(csvContent + rows);
    var link = document.createElement("a");
    link.setAttribute("href", encodedUri);
    link.setAttribute("download", "my_data.csv");
    document.body.appendChild(link);

    link.click();
});

let timeOut = null;

removeLocally("roomTemperature");
removeLocally("anotherTemperature");

removeAllEntries();
removeHistory();

const length = getFromCache();
refreshData();
</script>
```

Apêndice D

QUESTIONÁRIO

QUESTIONÁRIO – EFEITO ESTUFA

- 1) O que você entende por Efeito Estufa? Como você explica esse fenômeno?
- 2) Na sua concepção, como o efeito estufa se relaciona com as mudanças climáticas?
- 3) Qual é o principal mecanismo responsável pelo efeito estufa? Marque a alternativa correta.
 - a) A reflexão da luz solar pela superfície da Terra para o espaço.
 - b) O aquecimento causado pelo atrito entre a atmosfera e a superfície terrestre
 - c) A absorção da radiação infravermelha emitida pela Terra e pelos gases na atmosfera
 - d) O aumento da quantidade de calor produzida pela atividade humana
 - e) A absorção da radiação ultravioleta pela camada de ozônio
- 4) Entre as opções apresentadas abaixo, qual delas define de forma mais completa a radiação infravermelha
 - a) É o tipo de radiação emitida pelo Sol
 - b) É o tipo de radiação ionizante que causa queimaduras na pele
 - c) É o tipo de radiação ionizante que é absorvida na camada de ozônio

- d) É o tipo de radiação que possui menor energia do que a luz visível, associada ao calor
 - e) Corresponde a uma faixa visível do espectro eletromagnético
- 5) O que é albedo? Marque a alternativa correta.
- a) É a quantidade de radiação ultravioleta absorvida pela atmosfera
 - b) É a quantidade de radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra.
 - c) É a medida da capacidade de um objeto refletir a luz solar.
 - d) É a medida da quantidade de calor retida pelos gases do efeito estufa.
 - e) É o índice de absorção de luz visível na superfície do planeta.
- 6) Como os gases do efeito estufa contribuem para o aquecimento global? Marque a alternativa correta.
- a) Aumentando a quantidade de calor gerada pelo Sol.
 - b) Bloqueando a entrada de radiação solar na atmosfera.
 - c) Absorvendo e retendo a radiação infravermelha emitida pela Terra.
 - d) Refletindo a radiação infravermelha de volta para o espaço.
 - e) Aumentando a densidade atmosférica e, portanto, a troca de calor por condução.
- 7) Quais faixas (ou bandas) do espectro eletromagnético você conhece?
- 8) Um meio de propagação da luz é definido pelos efeitos ópticos que a luz sofre parcial ou totalmente ao atravessá-lo. Existem três tipos principais de meios ópticos, que são:
- a) Opaco, Translúcido e Transparente.
 - b) Opaco, Homogêneo e Isotrópico.
 - c) Isotrópico, Elástico e Refletivos.
 - d) Transparente, Heterogêneo e Gasoso.
 - e) Refrativo, Difractivo e Refletivo

- 9) O que é um meio transparente em relação à radiação eletromagnética? Marque a alternativa correta.
- a) É um meio que absorve completamente a radiação.
 - b) É um meio que reflete a radiação em todas as direções.
 - c) É um meio que não permite a passagem da radiação.
 - d) É um meio que permite a passagem parcial da radiação.
 - e) É um meio que permite a passagem livre da radiação.
- 10) Qual é o papel desempenhado pelo vidro no efeito estufa de uma estufa agrícola que difere do efeito estufa visto na atmosfera da Terra? Marque a alternativa correta.
- a) Não permitir a passagem de luz visível para o interior.
 - b) Impedir a convecção entre o ar exterior, mais frio, e o ar interior mais quente.
 - c) O vidro, diferentemente da atmosfera, não é transparente à radiação infravermelha.
 - d) Impedir a condução do calor entre o ar exterior e o ar interior.
 - e) Impedir a entrada de luz visível no interior.

Anexo A

PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

Achamos prudente anexar o parecer consubstanciado do Comitê de Ética em Pesquisa.

**PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP****DADOS DO PROJETO DE PESQUISA**

Título da Pesquisa: Uma abordagem experimental do efeito estufa no ensino médio utilizando internet das coisas

Pesquisador: RODRIGO FELIPE RAFFA

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 71078223.8.0000.5504

Instituição Proponente: Centro de Ciências e Tecnologias para a Sustentabilidade

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 6.511.940

Apresentação do Projeto:

As informações elencadas nos campos "Apresentação do Projeto", "Objetivo da Pesquisa" e Avaliação dos Riscos e Benefícios" foram extraídas do arquivo Informações Básicas da Pesquisa (PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2172249.pdf, de 02/11/2023) e/ou do Projeto Detalhado (ProjetoCorrigidoV3.pdf , de 02/11/2023): RESUMO, HIPÓTESE (se houver), METODOLOGIA, CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO.

RESUMO:Esta pesquisa tem como objetivo explorar os conceitos de radiação, calor, temperatura e espectro eletromagnético no contexto do efeito estufa, destacando sua relação com as grandezas mencionadas. Além disso, busca-se avaliar o conhecimento prévio dos estudantes sobre o efeito estufa, diferenciando-o das Mudanças Climáticas e do Aquecimento Global.O estudo também visa desenvolver habilidades práticas e técnicas nos estudantes, através da construção de um aparato experimental e do uso de sensores de temperatura, assim como a familiarização com o microcontrolador ESP32. Pretende-se, ainda, abordar as etapas fundamentais da construção do conhecimento científico por meio da experimentação.Um aspecto relevante deste estudo é a utilização das novas tecnologias digitais para aprimorar a coleta de dados experimentais. Essas tecnologias oferecem recursos que facilitam a obtenção e o registro de informações precisas, contribuindo para uma análise mais completa e detalhada do fenômeno do efeito estufa.Ao final da pesquisa, espera-se que os participantes adquiram um entendimento aprofundado sobre o

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235

Bairro: JARDIM GUANABARA

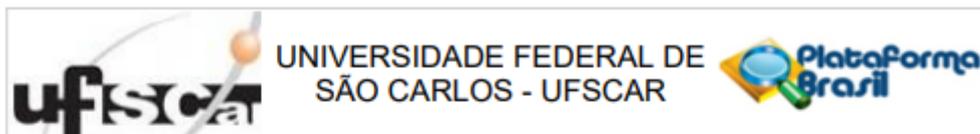
CEP: 13.565-905

UF: SP

Município: SAO CARLOS

Telefone: (16)3351-9685

E-mail: cephumanos@ufscar.br



Continuação do Parecer: 6.511.940

efeito estufa, suas relações com as grandezas estudadas e sua distinção em relação às Mudanças Climáticas e ao Aquecimento Global. Além disso, espera-se que os estudantes desenvolvam habilidades práticas e técnicas, bem como uma compreensão das etapas envolvidas na construção do conhecimento científico, utilizando a experimentação como ferramenta principal.

HIPÓTESE: Propor uma atividade experimental de baixo custo, apoiado na tecnologia da Internet das Coisas (IoT) para abordar o efeito estufa no ensino de Física segundo a BNCC, de forma que contribua significativamente para o aprendizado de conceitos de física.

METODOLOGIA: Com o propósito de testar a proposta de forma qualitativa, serão realizadas seis aulas, distribuídas em duas aulas semanais durante três semanas. Durante a aplicação, serão realizados seis momentos distintos para a coleta e análise dos dados. 1º Momento: Pré-teste: Composto por dez perguntas sobre o Efeito Estufa, o objetivo é avaliar os conhecimentos prévios dos alunos acerca desse tema. A aplicação desse questionário ocorrerá de maneira online, utilizando o formulário da plataforma microsoft office, presencialmente, durante o período de aula na escola. Nesse momento, o interesse é ter noções do entendimento do fenômeno pelos alunos e comparar com um teste posterior, após a atividade proposta neste projeto. 2º Momento: Construção do aparato: Em uma oficina prática, os alunos serão orientados a reproduzir uma versão da estufa com a instrumentação necessária para coleta de dados de temperatura. Serão apresentados também os conceitos de Internet das Coisas (IoT) que são utilizados no projeto, além de uma apresentação da programação utilizada tanto no ESP32 quanto na página HTML. 3º Momento: Com o aparato funcionando corretamente, será feita sua integração com a estufa. Será realizado o posicionamento de dois sensores de temperatura, um dentro e um fora da estufa, garantindo que as medições sejam realizadas em pontos estratégicos. Com o aparato construído e integrado com a estufa, será realizado o experimento de efeito estufa. Serão realizadas medições de temperatura em intervalos regulares de tempo, tanto na área interna quanto externa da estufa, utilizando o aparato construído com o microcontrolador ESP32. 4º Momento: Os dados coletados serão analisados com o auxílio de uma planilha eletrônica para estudar a dinâmica temporal das temperaturas dentro e fora da estufa. Serão comparadas as variações de temperatura entre os dois ambientes, bem como os efeitos de fatores externos, como a incidência de luz solar. Os resultados serão discutidos em grupo, com o auxílio do professor responsável pela atividade. Serão abordados temas relacionados ao efeito estufa, suas implicações para o meio ambiente e a importância de práticas sustentáveis para minimizar seus efeitos. 5º Momento: Os alunos irão

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235
Bairro: JARDIM GUANABARA **CEP:** 13.565-905
UF: SP **Município:** SAO CARLOS
Telefone: (16)3351-9685 **E-mail:** cephumanos@ufscar.br



Continuação do Parecer: 6.511.940

elaborar uma Relatório Experimental para apresentar os resultados obtidos no experimento, considerando não somente o fenômeno físico, mas também a tecnologia utilizada e discussões sobre o tema e a importância de medidas sustentáveis para minimizar o impacto do efeito estufa no meio ambiente. 6º Momento: Pós-teste: O pós-teste será realizado para avaliar conceitos apresentados em aula, tanto na prática quanto nas discussões em aula. Será realizado de forma online em horário de aula na própria escola via formulário da plataforma Office contendo questões com respostas dissertativas de conceitos físicos do fenômeno, além de retomar questões do Pré-Teste para verificação de mudanças de respostas.

CRITÉRIO DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO: não foram descritos.

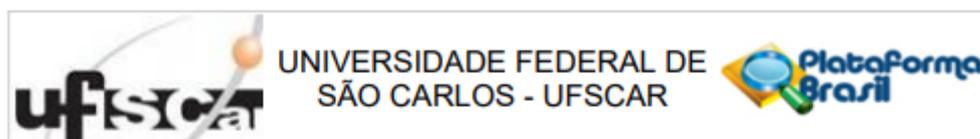
Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário: Propor uma atividade experimental de baixo custo, apoiado na tecnologia da Internet das Coisas (IoT) para abordar o efeito estufa no ensino de Física.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Riscos: Nesse projeto de pesquisa serão coletadas informações através do preenchimento de questionários, garantindo-se a confidencialidade dos dados pessoais de cada participante. Entendemos que mesmo as perguntas tendo um cunho totalmente técnico, voltado para a avaliação dos conhecimentos na disciplina de Física, elas podem causar, devido à vivência de cada participante, ALGUM TIPO DE DESCONFORTO OU ESTRESSE ou algum dano às dimensões física, psíquica, moral, intelectual, social, cultural ou espiritual, ou acarretar na impossibilidade de continuidade da aplicação do questionário conforme previsto pelas resoluções CNS Nº 466/2012 e Nº 510/2016, em seu artigo V. Visando minimizar ou evitar eventuais impactos de ordem não física nos âmbitos emocional, moral ou social, nesta pesquisa: as atividades serão conduzidas durante o horário escolar, nas instalações da própria escola do participante, sem implicação de qualquer custo extra para o mesmo. A todos os participantes serão fornecidos detalhes abrangentes sobre os objetivos da pesquisa, a metodologia a ser empregada, a segurança dos dados coletados e a forma de divulgação dos resultados da pesquisa. Será enviado aos pais e alunos, um Termo de Consentimento Livre Esclarecido, somente os que assinarem participarão da pesquisa. O conteúdo das perguntas no questionário será antecipadamente exposto no Termo de Autorização Livre e Esclarecido (TALE) e no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Os dados serão coletados em um formulário online, tendo suas respostas importadas para um armazenamento físico e não ficando disponível em nuvem ou em acesso compartilhado. A qualquer momento, o participante tem a liberdade de interromper sua participação no

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235
 Bairro: JARDIM GUANABARA CEP: 13.565-905
 UF: SP Município: SAO CARLOS
 Telefone: (16)3351-9685 E-mail: cephumanos@ufscar.br



Continuação do Parecer: 6.511.940

questionário sem sofrer prejuízos de qualquer natureza. Qualquer participante pode retirar o consentimento ou assentimento a qualquer momento sem qualquer prejuízo de qualquer ordem. Em caso de encerramento da aplicação do questionário por qualquer fator descrito acima, o pesquisador irá orientá-lo(a) e encaminhá-lo(a) para o sistema público de saúde (SUS), se necessário, visando o bem-estar de todos os participantes.

Benefícios: O desenvolvimento de um produto educacional alinhado à BNCC (Base Nacional Comum Curricular) para o ensino do efeito estufa na disciplina de Física é o maior benefício dessa pesquisa. Além disso, com os questionários, podemos verificar o grau de aprendizagem e o impacto de uma atividade prática no ensino de Física com viés da sustentabilidade. A experimentação no ensino de Física é uma metodologia fundamental que traz diversos benefícios para os estudantes. Ela ajuda a compreender conceitos teóricos de forma mais clara e concreta, desenvolve habilidades de pensamento crítico, investigação e resolução de problemas, além de motivar e estimular a curiosidade científica dos estudantes.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

Trata-se de uma pesquisa que deve seguir os preceitos éticos estabelecidos pela Resolução CNS nº 510 de 2016 e suas complementares.

Estudo qualitativo e com etapas de intervenção (quase-experimental), nacional, unicêntrico, em que os participantes menores de 18 anos serão convidados a participarem da atividade de aula modo de recrutamento, caráter de pós-graduação, com previsão de 34 participantes, com aplicação de questionário online pré-teste e pós-teste, e após aplicação de produto educacional, previsão de início e término de coleta de dados, 20/11/2023 a 15/12/23, respectivamente.

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

Vide campo "Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações"

Recomendações:

Vide campo "Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações"

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

Agradecemos as providências e os cuidados tomados pelos pesquisadores ao apresentarem a 3ª versão do protocolo de pesquisa ao CEP da UFSCar. Trata-se de análise de resposta ao parecer pendente n. 6.479.585 emitido pelo CEP em 31/10/2023.

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235
Bairro: JARDIM GUANABARA **CEP:** 13.565-905
UF: SP **Município:** SAO CARLOS
Telefone: (16)3351-9685 **E-mail:** cephumanos@ufscar.br



Continuação do Parecer: 6.511.940

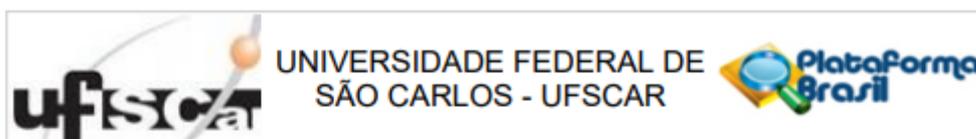
Seguem abaixo as pendências listadas no parecer anterior do CEP e seu status (atendida, não atendida, parcialmente atendida).

PENDÊNCIA 3: Inserção das informações referentes sobre: i) a forma de acompanhamento e assistência a que terão direito os participantes; ii) o acesso aos resultados da pesquisa; iii) a explicitação da garantia de ressarcimento e descrição das formas de cobertura das despesas. Tais informações devem estar presentes, tal como apresentada na Resolução 510/2016 em seu Capítulo III - DO PROCESSO DE CONSENTIMENTO E DO ASSENTIMENTOLIVRE E ESCLARECIDO, Artigo 17 e itens V, VI e VII. Tais informações devem estar presentes no TCLE e no TALE; **RESPOSTA:** : i) Inserimos nas páginas 2 do TALE e TCLE e na seção 1.2.1 do projeto "Em caso de encerramento da aplicação do questionário por qualquer fator descrito acima, o pesquisador irá orientá-lo(a) e encaminhá-lo(a) para o sistema público de saúde (SUS)" ii) O acesso aos resultados da pesquisa está garantido a partir da publicação da dissertação no repositório de dissertações da UFSCar disponível em <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/8240>. Essa informação foi inserida nos documentos, na seção 1.4 do Projeto; página 2 do TCLE e página 3 do TALE. iii) Inserimos nos respectivos documentos a resolução para conhecimento, com a garantia explícita de que: "Não haverá nenhum custo financeiro direto ou indireto para os participantes, incluindo, mas não se limitando a, despesas com alimentação, transporte ou qualquer outra forma de pagamento" e "Todas as atividades ocorrerão nas instalações da escola do participante durante o horário escolar, eliminando a necessidade de deslocamento e, portanto, de despesas com transporte." No projeto, está descrito na seção 1.2.1, no TALE página 2 e no TCLE página 3. **ANÁLISE:** Pendência parcialmente atendida. Solicita-se alterar na frase "Não haverá nenhum custo financeiro direto ou indireto para os participantes, incluindo, mas não se limitando a, despesas com alimentação, transporte ou qualquer outra forma de pagamento", a frase "outra forma de pagamento" para "outra forma de ressarcimento", conforme Resolução CNS n. 510/16, art.9º, item VII e art. 17º, item VII.

RESPOSTA: A palavra pagamento foi substituída por ressarcimento conforme orientado. Além disso, o cronograma foi alterado no projeto, na seção 1.4.

ANÁLISE: Pendência atendida.

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235	
Bairro: JARDIM GUANABARA	CEP: 13.565-905
UF: SP	Município: SAO CARLOS
Telefone: (16)3351-9685	E-mail: cephumanos@ufscar.br



Continuação do Parecer: 6.511.940

OBS: CONSIDERANDO A PENDÊNCIA, SOLICITA-SE ATUALIZAR O CRONOGRAMA DA ELABORAÇÃO DA PESQUISA, DE MODO QUE SE INICIE APÓS APROVAÇÃO DESTE CEP, CONFORME RESOLUÇÃO CNS N.510/16, ART. 28, ITEM I.

RESPOSTA: Além disso, o cronograma foi alterado no projeto, na seção 1.4.

ANÁLISE: Pendência atendida.

Considerações Finais a critério do CEP:

Diante do exposto, o Comitê de ética em pesquisa - CEP, de acordo com as atribuições definidas na Resolução CNS nº 510 de 2016, manifesta-se por considerar "Aprovado" o projeto. Conforme dispõe o Capítulo VI, Artigo 28, da Resolução Nº 510 de 07 de abril de 2016, a responsabilidade do pesquisador é indelegável e indeclinável e compreende os aspectos éticos e legais, cabendo-lhe, após aprovação deste Comitê de Ética em Pesquisa: II - conduzir o processo de Consentimento e de Assentimento Livre e Esclarecido; III - apresentar dados solicitados pelo CEP ou pela CONEP a qualquer momento; IV - manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período mínimo de 5 (cinco) anos após o término da pesquisa; V - apresentar no relatório final que o projeto foi desenvolvido conforme delineado, justificando, quando ocorridas, a sua mudança ou interrupção. Este relatório final deverá ser protocolado via notificação na Plataforma Brasil. OBSERVAÇÃO: Nos documentos encaminhados por Notificação NÃO DEVE constar alteração no conteúdo do projeto. Caso o projeto tenha sofrido alterações, o pesquisador deverá submeter uma "EMENDA".

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_2172249.pdf	02/11/2023 14:01:59		Aceito
Outros	Carta_Resposta_Versao2.pdf	02/11/2023 13:58:28	RODRIGO FELIPE RAFFA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TALECorrigidoV3.pdf	02/11/2023 13:53:54	RODRIGO FELIPE RAFFA	Aceito

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235
 Bairro: JARDIM GUANABARA CEP: 13.585-905
 UF: SP Município: SAO CARLOS
 Telefone: (16)3351-9685 E-mail: cephumanos@ufscar.br



Continuação do Parecer: 6.511.940

TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLECorrigidoV3.pdf	02/11/2023 13:53:44	RODRIGO FELIPE RAFFA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetoCorrigidoV3.pdf	02/11/2023 13:53:28	RODRIGO FELIPE RAFFA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TALECorrigidoV2.pdf	13/10/2023 17:50:38	RODRIGO FELIPE RAFFA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLECorrigidoV2.pdf	13/10/2023 17:50:23	RODRIGO FELIPE RAFFA	Aceito
Outros	Questionario_V2.pdf	13/10/2023 17:50:04	RODRIGO FELIPE RAFFA	Aceito
Outros	Carta_Resposta_versao1.pdf	13/10/2023 17:47:53	RODRIGO FELIPE RAFFA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	ProjetoCorrigidoV2.pdf	13/10/2023 17:46:45	RODRIGO FELIPE RAFFA	Aceito
Folha de Rosto	FolhadeRostoV3.pdf	13/10/2023 17:41:57	RODRIGO FELIPE RAFFA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	carta_autorizacao.pdf	29/06/2023 23:31:09	RODRIGO FELIPE RAFFA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TALE.pdf	29/06/2023 23:17:23	RODRIGO FELIPE RAFFA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE.pdf	29/06/2023 23:13:02	RODRIGO FELIPE RAFFA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto.pdf	29/06/2023 23:12:52	RODRIGO FELIPE RAFFA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235
 Bairro: JARDIM GUANABARA CEP: 13.565-905
 UF: SP Município: SAO CARLOS
 Telefone: (16)3351-9685 E-mail: cephumanos@ufscar.br



Continuação do Parecer: 6.511.940

SAO CARLOS, 18 de Novembro de 2023

Assinado por:
Sonia Regina Zerbetto
(Coordenador(a))

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235
Bairro: JARDIM GUANABARA **CEP:** 13.565-905
UF: SP **Município:** SAO CARLOS
Telefone: (16)3351-9685 **E-mail:** cephumanos@ufscar.br