



**GISSELI LOVISON COSTA**

**CALOR E EFEITO ESTUFA: UMA PROPOSTA DIDÁTICA  
FUNDAMENTADA NA TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

Maringá – PR  
Janeiro - 2023



**GISSELI LOVISON COSTA**

**CALOR E EFEITO ESTUFA: UMA PROPOSTA DIDÁTICA  
FUNDAMENTADA NA TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

Maringá – PR  
Janeiro - 2023

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá - PR, Brasil)

C837c

Costa, Gisseli Lovison

Calor e efeito estufa : uma proposta didática fundamentada na teoria de aprendizagem significativa / Gisseli Lovison Costa. -- Maringá, PR, 2023.  
154 f.: il., figs., tabs.

Acompanha produto educacional: Calor e efeito estufa : uma aprendizagem multidisciplinar. 53 f.

Orientadora: Profa. Dra. Hercília Alves Pereira de Carvalho.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Departamento de Física, Programa em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), 2023.

1. Ensino de física. 2. Energia. 3. Mudanças climáticas. I. Carvalho, Hercília Alves Pereira de , orient. II. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Exatas. Departamento de Física. Programa em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). III. Título.

CDD 23.ed. 530.07

# **CALOR E EFEITO ESTUFA: UMA PROPOSTA DIDÁTICA FUNDAMENTADA NA TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

GISSELI LOVISON COSTA

Orientadora: Prof. Dra. Hercília Alves Pereira de Carvalho

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM (MNPEF/UEM), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

---

Profa. Dra. Hercília Alves Pereira de Carvalho  
UFPR/Jandaia do Sul

---

Profa. Dra. Hatsumi Mukai  
DFI/UEM

---

Profa. Dra. Shalimar Calegari Zanatta  
UNESPAR/ Paranaíba

Maringá – PR  
Janeiro - 2023

***“Quem ensina aprende ao ensinar. E quem aprende ensina ao aprender”.***

***Paulo Freire***

## **AGRADECIMENTOS**

À Professora Doutora Hercília Alves Pereira de Carvalho que com seu imenso conhecimento me orientou durante esse período.

À Diretora do estabelecimento que permitiu e aos alunos que participaram do Produto Educacional.

À professora Doutora Hatsumi Mukai, pelas sugestões didáticas e ensinamentos durante as aulas e nas reuniões particulares que realizamos.

Aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física do Polo UEM que lecionaram no curso, contribuindo para meu conhecimento profissional e pessoal.

Ao professor Doutor Paulo Ricardo Garcia Fernandes, coordenador do Curso do MNPEF do polo da Universidade Estadual de Maringá.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF) que oportunizou a oferta deste Mestrado na UEM – Universidade Estadual de Maringá (Polo 20).

O presente Trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (Capes) – Código de Financiamento 001.

## RESUMO

### CALOR E EFEITO ESTUFA: UMA PROPOSTA DIDÁTICA FUNDAMENTADA NA TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

Gisseli Lovison Costa

Orientadora: Profa. Dra. Hercília Alves Pereira de Carvalho

Resumo de dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM (MNPEF/UEM) como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

O aquecimento Global é um tema multidisciplinar e a abordagem completa requer a contribuição de diversas disciplinas para a discussão tanto dos aspectos políticos, como dos científicos. Dessa forma, no estudo da temática “Aquecimento Global”, propomos o estudo da Física envolvida no fenômeno do efeito estufa e sua importância na regulação da temperatura do planeta. Assim, neste trabalho abordamos de forma simplificada, o efeito estufa e suas consequências, envolvendo o conceito de calor e sua propagação. O Produto Educacional foi planejado como uma sequência didática constituída por sete aulas, fundamentado nos estudos de Antoni Zabala e aplicado em uma turma de primeiro ano do Ensino Médio de um Colégio Estadual no estado do Paraná. O uso de experimentos e simuladores permitiram aos estudantes analisarem, observarem, discutirem e construir novos conceitos sobre os fenômenos observados. Os simuladores computacionais foram usados para explicar conceitos que ocorreram nos experimentos, envolvendo a propagação de calor e como a presença de gases de efeito estufa influenciam no aumento da temperatura da Terra. O aparato experimental desenvolvido utilizando o Arduíno Uno para observar que o dióxido de carbono absorve as ondas de infravermelho alterando a temperatura terrestre foi adaptado da referência: JUNGES, *et. al*, 2020. O trabalho pode auxiliar no processo de ensino-aprendizagem a um docente com formação em Ciências e em Física, pois além dos conceitos básicos houve a necessidade de explorar os conceitos envolvidos em Física Moderna como a Lei de Stefan-Boltzmann e Lei de Wien. Esta proposta utilizou a Teoria de Aprendizagem Significativa criada por David Ausubel, aplicando questionários inicial e final para comparação entre os conhecimentos prévios e os conhecimentos novos, após a aplicação da sequência didática. Concluímos que o PE e sua aplicação apresentou indicativos de aprendizagem significativa aos discentes e de muito valia para a formação do docente em ministrar aulas de Física.

**Palavras-chave:** Ensino de Física; Energia; Mudanças Climáticas.

Maringá – PR  
Janeiro/2023

## ABSTRACT

### HEAT AND GREENHOUSE EFFECT: A DIDACTIC PROPOSAL BASED ON LEARNING SIGNIFICANT THEORY

Gisseli Lovison Costa

Advisor: Prof. Dra. Hercília Alves Pereira de Carvalho

Abstract of the Master's thesis submitted to the Graduate Program of the National Professional Master's Degree in Physics Teaching – UEM Field (MNPEF/UEM) as part of the necessary requirements to obtain the Master's degree in Physics Teaching.

Global warming is a multidisciplinary topic and the complete approach requires the contribution of several disciplines to the discussion of both political and scientific aspects. Thus, in the study of the theme "Global Warming", we propose the study of the physics involved in the phenomenon of the greenhouse effect and its importance in regulating the temperature of the planet. Therefore, in this thesis, we approach in a simplified way, the greenhouse effect and its consequences, involving the concept of heat and its propagation. The Educational Product was planned as a didactic sequence consisting of seven classes, based on Antoni Zabala's studies and applied in a first-year high school class at a public school in the state of Paraná. The use of experiments and simulations allowed students to analyze, observe, discuss and build new concepts about the observed phenomena. The computational simulators were used to explain concepts that occurred in the experiments, involving the propagation of heat and how the presence of greenhouse gases influence the increase in the temperature of the Earth. The experimental apparatus developed using the Arduino Uno to observe that cyoxide of carbon absorbs the infrared waves altering the terrestrial temperature was adapted from the reference: JUNGES *et. al.*, 2020. The work can help in the teaching-learning process of a teacher with a background in Science and Physics, because besides the basic concepts there was a need to explore the concepts involved in Modern Physics such as Le de Stefan-Boltzmann and Le de Wien. This proposal used the Meaningful Learning Theory created by David Ausubel, applying initial and final questionnaires to compare prior knowledge and new knowledge after applying the didactic sequence. We conclude that the PE and its application presented indicative of significant learning for students and of great value for the teacher training in teaching Physics classes.

**Keywords:** Physics Teaching, Energy, Climate changes.

Maringá – PR  
January/2023



## LISTA DE ABREVIATURA / SIGLAS E ACRÔNIMOS

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

DFI – Departamento de Física

EM – Ensino Médio

MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

PE – Produto Educacional

SBF – Sociedade Brasileira de Física

SD – Sequência Didática

SEED – Secretaria da Educação e do Esporte do Paraná

SI - Sistema Internacional de Unidades (*The International System of Units*)

UEM – Universidade Estadual de Maringá

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Representação esquemática para explicar a Lei zero da termodinâmica.....	22
Figura 2.2 - Ilustração de um gás confinado em um cilindro com êmbolo móvel. Indicando que o sistema (a) ao ser aquecido o êmbolo desloca para cima e ao (b) receber trabalho o êmbolo se desloca para baixo.....	26
Figura 2.3 – Comportamento de um processo Isotérmico ( $T = cte$ ) em que a pressão diminui e o volume aumenta, indicando a realização de trabalho positivo ( $w>0$ ).....	27
Figura 2.4 – Diagrama de um processo termodinâmico que ocorre em duas etapas: a pressão constante ( $i \rightarrow a$ ) e depois a volume constante ( $a \rightarrow f$ ).....	28
Figura 2.5 – Diagrama Pressão versus Volume para um processo termodinâmico em que de i até a ocorre em volume constante e de a até f ocorre a pressão constante, resultando na realização de um trabalho menor do que apresentado na Figura 2.3 e 2.4.....	28
Figura 2.6 - Diagrama Pressão versus Volume para um processo termodinâmico apresentando a realização de um trabalho negativo.....	29
Figura 2.7 – Diagrama Pressão versus Volume de um ciclo termodinâmico, em que o trabalho líquido é maior que zero, ou seja, positivo.....	29
Figura 2.8 – Ilustração de um sistema com êmbolo indicando um processo adiabático, não há troca de calor entre o recipiente e o ambiente a sua volta.....	31
Figura 2.9 - Intensidade relativa da radiação emitida versus comprimento de onda ( $\lambda=10^{-9}m$ ) para um corpo.....	34
Figura 2.10 – Imagem ilustrativa do espectro eletromagnético.....	38
Figura 2.11 – Gráfico da intensidade de luz emitida versus o comprimento de onda apresentando o espectro de emissão do Sol e da Terra.....	39
Figura 2.12 – Gráfico da Radiação transmitida versus comprimento de onda apresentando as bandas de absorção de dióxido de carbono.....	40
Figura 2.13 – Ilustração (fora de escala) da intensidade de energia solar que atinge os planetas: Vênus, Terra e Marte.....	41
Figura 2.14 – Ilustração do efeito estufa na Terra.....	43
Figura 2.15 - Representação dos modos normais de vibração de $CO_2$ .....	45
Figura 3.1 - Cópia da tela do registro de um momento da Aula 01.....	51
Figura 3.2 - Cópia da tela da aula 02: Trabalhando com o simulador para a explicação do conceito de propagação do calor por condução.....	56
Figura 3.3 - Registro da aula, transmitida de forma remota sobre parte da Aula 03.....	58
Figura 3.4 - Cópia da tela do experimento Propagação de calor por meio da condução apresentado na Aula 03.....	59
Figura 3.5 - Cópia da tela do experimento Propagação de calor por meio da radiação apresentado na Aula 03.....	60
Figura 3.6 - Cópia da tela do experimento Propagação de calor por meio da convecção apresentado na Aula 03.....	61
Figura 3.7 - Cópia da Tela da aula 04: explicação do conteúdo sobre efeito estufa na Terra.....	63

Figura 3.8 - Cópia da Tela Simulação do Efeito Estufa (a) durante a era do gelo, e (b) nos dias atuais, e (c) nos dias atuais, com a existência de nuvens.....	69
Figura 3.9 - Cópia de tela da aula registrada por meio de vídeo gravado da aula do experimento 04 sobre a absorção da radiação infravermelha pelo dióxido de carbono simulando o efeito estufa utilizando o Arduino.....	72
Figura 3.10 - Imagem fotográfica do (a) sensor de temperatura de infravermelho; (b) Arduino Uno, (c) lâmpada infravermelho; (d) Válvula de bloqueio de engate rápido pneumático, e (e) conector e engate. Imagens fora de dimensão.....	73
Figura 3.11 – Montagem do Experimento sobre Efeito Estufa.....	73
Figura 3.12 – Gráfico da Temperatura em função do Tempo coletados no experimento por meio do Arduino.....	75
Figura 3.13 - Cópia da Tela da Aula 07: revisão dos conteúdos.....	76
Figura 4.1 – Gráfico representando (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da Questão 01.....	77
Figura 4.2 – Gráfico representando (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da Questão 02.....	79
Figura 4.3 – Gráfico representando (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da Questão 03.....	81
Figura 4.4 – Gráfico representando (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da Questão 04.....	83
Figura 4.5 – Gráfico representando (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da Questão 05.....	85
Figura 4.6 – Gráfico representando (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da Questão 06.....	87
Figura 4.7 – Gráfico representando (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da Questão 07.....	89
Figura 4.8 – Gráfico representando (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da Questão 08.....	91
Figura 4.9 – Gráfico representando (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da Questão 09.....	93

## LISTA DE QUADROS e TABELA

Tabela 2.1 – Tabela de Condutividade térmica de materiais a 27°C.....	34
Quadro 3.1 – Sequência didática constando das atividades a serem desenvolvidas em cada aula.....	49
Quadro 4.1 - Transcrição das respostas iniciais fornecidas pelos alunos referente a Questão 02.....	79
Quadro 4.2 - Transcrição das respostas finais fornecidas pelos alunos referente a Questão 02.....	79
Quadro 4.3 - Transcrição das respostas iniciais fornecidas pelos alunos referente a Questão 03.....	81
Quadro 4.4 - Transcrição das respostas finais fornecidas pelos alunos referente a Questão 03.....	81
Quadro 4.5 - Transcrição das respostas iniciais fornecidas pelos alunos referente a Questão 04.....	83
Quadro 4.6 - Transcrição das respostas finais fornecidas pelos alunos referente a Questão 04.....	83
Quadro 4.7 - Transcrição das respostas iniciais fornecidas pelos alunos referente a Questão 05.....	85
Quadro 4.8 - Transcrição das respostas finais fornecidas pelos alunos referente a Questão 05.....	85
Quadro 4.9 - Transcrição das respostas iniciais fornecidas pelos alunos referente a Questão 06.....	87
Quadro 4.10 - Transcrição das respostas finais fornecidas pelos alunos referente a Questão 06.....	87
Quadro 4.11 - Transcrição das respostas iniciais fornecidas pelos alunos referente a Questão 07.....	89
Quadro 4.12 - Transcrição das respostas finais fornecidas pelos alunos referente a Questão 07.....	89
Quadro 4.13 - Transcrição das respostas iniciais fornecidas pelos alunos referente a Questão 08.....	91
Quadro 4.14 - Transcrição das respostas finais fornecidas pelos alunos referente a Questão 08.....	91
Quadro 4.15 - Transcrição das respostas iniciais fornecidas pelos alunos referente a Questão 09.....	93
Quadro 4.16 - Transcrição das respostas finais fornecidas pelos alunos referente a Questão 09.....	93

## Sumário

INTRODUÇÃO .....	15
CAPÍTULO 1 - TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	17
1.1 - TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	17
1.2 - SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....	19
CAPÍTULO 2 - CALOR E EFEITO ESTUFA .....	22
2.1 - LEI ZERO DA TERMODINÂMICA.....	22
2.3 - CALOR ESPECÍFICO .....	24
2.4 - CAPACIDADE TÉRMICA.....	24
2.5 - CALOR LATENTE .....	25
2.6 - CALOR E TRABALHO .....	25
2.7 - PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA .....	30
2.8 - MECANISMOS DE PROPAGAÇÃO DE CALOR .....	31
2.8.1 - CONDUÇÃO DE CALOR .....	31
2.8.2 - CONVECÇÃO DE CALOR.....	33
2.8.3 - RADIAÇÃO TÉRMICA.....	33
2.8.4 - ABSORÇÃO E EMISSÃO DE RADIAÇÃO .....	34
2.9 - EFEITO ESTUFA.....	41
CAPÍTULO 3 – PRODUTO EDUCACIONAL e SUA APLICAÇÃO.....	48
3.1 - JUSTIFICATIVA .....	48
3.2 - OBJETIVO GERAL .....	48
3.3 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	48
3.4 - SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....	49
3.5 - RELATO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	50
3.5.1 - AULA 01: INVESTIGAÇÃO INICIAL.....	50
3.5.2 - AULA 02: LEITURA DE TEXTO: “O CALOR COMO ENERGIA” E SIMULAÇÃO TRANSFERÊNCIA DE CALOR.....	52
3.5.3 - AULA 03: EXPERIMENTO PROPAGAÇÃO DE CALOR E LEITURA DO TEXTO: “CALOR E GARRAFA TÉRMICA”.....	57
3.5.4 - AULA 04: LEITURA DO TEXTO: “EFEITO ESTUFA” E EXPOSIÇÃO DE CONTEÚDOS.....	63
3.5.5 - AULA 05: LEITURA DO TEXTO “EFEITO ESTUFA: CONCEITOS BÁSICOS”, EXPOSIÇÃO DE CONTEÚDO E SIMULAÇÃO EFEITO ESTUFA.....	66
3.5.6 - AULA 06: LEITURA DO TEXTO: “EFEITO ESTUFA E AQUECIMENTO GLOBAL”, EXPOSIÇÃO DE CONTEÚDO E EXPERIMENTO COM ARDUINO .....	71
3.5.7 - AULA 07: QUESTIONÁRIO FINAL .....	76
CAPITULO 4 - RESULTADOS E ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	78
4.1 – QUESTÃO 01 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL .....	78

4.2 - QUESTÃO 02 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL.....	79
4.3 - QUESTÃO 03 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL.....	81
4.4 - QUESTÃO 04 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL.....	83
4.5 - QUESTÃO 05 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL.....	85
4.6 - QUESTÃO 06 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL.....	86
4.7 - QUESTÃO 07 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL.....	89
4.8 - QUESTÃO 08 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL.....	91
4.9 - QUESTÃO 09 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL.....	93
4.10 - ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS .....	95
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	96
REFERÊNCIAS.....	97
APÊNDICE I - QUESTIONÁRIO INICIAL E FINAL .....	99
APÊNDICE II – PRODUTO EDUCACIONAL.....	101

## INTRODUÇÃO

Uma parcela de estudantes do ensino médio encontra dificuldades e considera a aprendizagem da disciplina de Física uma tarefa difícil, sem significados, que valoriza apenas equações matemáticas.

Com a preocupação de minimizar essa situação, propomos trabalhar o conceito de calor, suas formas de propagação e a física envolvida no efeito estufa por meio de uma sequência didática que contempla diversas atividades, visando a Teoria da Aprendizagem Significativa proposta por David Ausubel. A proposta contempla experimentos, simulações, leitura de textos conectando a física envolvida no fenômeno do efeito estufa e os conteúdos específicos da disciplina.

Entre os principais temas da educação ambiental (Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental – Brasil, 2012) para o século XXI está a temática das mudanças climáticas o aquecimento global.

O aquecimento global é um tema multidisciplinar, cuja abordagem completa requer contribuições de diversas disciplinas para a discussão tanto dos aspectos políticos, sociais, econômicos e éticos, como os científicos (JUNGES *et. al*, 2018).

A BNCC (Base Nacional Comum Curricular) da Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias apresenta como competência específica: 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 (BRASIL, 2018).

Dessa forma, neste trabalho o entendimento da causa do aquecimento global tem como foco a compreensão da física envolvida no fenômeno do efeito estufa, de forma que o estudante entenda os conteúdos específicos da disciplina, o efeito estufa como um mecanismo natural importante na regulação da temperatura do planeta e os processos que alteram essa temperatura.

O primeiro e o segundo capítulos apresentam os referenciais teóricos que embasam o Produto Educacional: a Teoria da Aprendizagem Significativa, e a Sequência Didática, seguidos de “Calor e Efeito Estufa”, que inicia com a Lei Zero da Termodinâmica para explorar o conceito de calor, suas formas de propagação, intensidade de energia solar, temperatura de equilíbrio, temperatura média da

superfície terrestre e a composição química da atmosfera. Na sequência, há o estudo sobre o espectro visível da luz e a absorção da radiação na faixa do comprimento de onda do infravermelho.

O terceiro capítulo apresenta o Produto Educacional (PE) constando da sequência didática e da sua aplicação em uma instituição da rede de ensino no qual a mestrandia é docente efetiva e de forma híbrida (parte dos alunos presenciais e parte de forma remota). Foram utilizados simuladores e experimentos com o propósito de facilitar a compreensão dos conceitos envolvendo calor e suas formas de propagação. Para a comprovação de que gases de efeito estufa efetivamente aumentam a capacidade da atmosfera em absorver radiação infravermelha, foi realizado uma simulação e um experimento em que os dados foram coletados utilizando o Arduino Uno.

O quarto capítulo apresenta os resultados coletados dos questionários aplicados antes e após a aplicação do PE, sendo esses iguais, constando de nove questões sendo 8 delas abertas e uma fechada. A análise foi feita questão a questão e por meio de gráfico para comparar a evolução dos alunos no final das 6 aulas. Finalizando com as Considerações Finais, as Referências em ordem alfabética e dois apêndices. Sendo o primeiro o Questionário aplicado com as respostas esperadas e o segundo com o Produto Educacional em separado para ser aplicado de forma independente da presente dissertação.



# **CAPÍTULO 1 - TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E ASPECTOS METODOLÓGICOS**

Neste capítulo estão apresentadas duas seções. A primeira sobre a Teoria de Aprendizagem Significativa proposta em 1968 por David Ausubel (MOREIRA e MASINI, 1982), seguida por uma seção que trata da parte metodológica embasada na Sequência Didática seguindo a abordagem de Antoni Zabala (ZABALA, 1998).

## **1.1 - TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

A Teoria da Aprendizagem proposta por Ausubel é um processo de armazenamento de informação, condensação em classes mais genéricas de conhecimento, que são incorporados a uma estrutura no cérebro do indivíduo, de modo que possa ser manipulada no futuro. Aprendizagem significa organização e interação do material na estrutura cognitiva. (MOREIRA e MASINI, 1982).

O conceito mais importante na teoria proposta por Ausubel é o de Aprendizagem Significativa, em que a aprendizagem ocorre por meio da interação entre conhecimentos prévios e novos conhecimentos.

A existência do conhecimento prévio ancora as novas informações, sem eles a aprendizagem poderá ser mecânica, que é exatamente o oposto da aprendizagem significativa proposta por Ausubel. Os conhecimentos prévios relevantes para a aquisição de novas informações são chamados de subsunçores, conforme citado por Moreira:

Subsunçor ou ideia âncora é o conhecimento específico já existente na estrutura cognitiva do indivíduo. Na aprendizagem significativa há interação entre conhecimentos prévios e novos. A atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles (MOREIRA, 2012, p. 2).

Progressivamente, o subsunçor ficará mais rico em significados, mais elaborados, facilitando novas aprendizagens e servindo de “âncora” para novos conhecimentos. A forma de aprendizagem significativa, em que um conceito passa a subordinar conhecimentos prévios, um subsunçor passa a incorporar outro, é chamada de aprendizagem significativa superordenada. A aprendizagem significativa mais comum é a chamada aprendizagem significativa subordenada, na qual um novo conhecimento adquire significado na ancoragem significativa com algum conhecimento prévio especificamente relevante (MOREIRA, 2012).

Ausubel define como aprendizagem mecânica a aprendizagem de novas informações com pouca ou nenhuma associação com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva armazenada de forma arbitrária, sem interação entre a nova informação e a informação armazenada. Em relação à aprendizagem mecânica, Moreira a define da seguinte forma:

Aprendizagem mecânica é constituída por armazenamento literal, arbitrário, sem significado, não requer compreensão, resulta em aplicação mecânica e situações conhecidas. Enquanto na aprendizagem significativa há incorporação substantiva, não arbitrária, com significado, implica compreensão, transferência, capacidade de explicar, descrever e enfrentar novas situações (MOREIRA, 2012, p. 12).

Para Ausubel o mais importante na aquisição da aprendizagem significativa é conhecer o que o aluno já sabe. Moreira acrescenta outros pontos a serem considerados: a disposição do aluno para aprender, não somente memorizar, e que o material seja potencialmente significativo, que em sua concepção é:

Para um material ser potencialmente significativo necessita de duas condições: a natureza do material e a natureza da estrutura cognitiva do aprendiz. Quanto à natureza do material, deve ser “logicamente significativo”, isto é, ser suficientemente não arbitrário e não aleatório, de modo que possa ser relacionado, de forma substantiva e não arbitrária, a ideias correspondentemente relevantes, que se situem no domínio da capacidade humana de aprender. No que se refere à estrutura cognitiva do aprendiz, nela devem estar disponíveis os conceitos de subsunçores específicos, com o qual o novo material é relacionável (MOREIRA, 2006, p. 19).

Se o conhecimento é adquirido de forma significativa, este é retido e lembrado por mais tempo, a capacidade de aprender novos conteúdos se dá de maneira organizada e diferenciada. Quando o aluno não possui os subsunçores, é possível recorrer aos organizadores prévios, conforme definido por Moreira e Masini:

Organizadores prévios são materiais apresentados anteriormente ao material a ser aprendido, podendo ser uma pergunta, uma leitura ou uma simulação, servindo de “ponte” entre o que o aprendiz já sabe e o que deve aprender. A principal função dos organizadores é, então, superar limites entre o que o aluno já sabe e aquilo que ele precisa saber, antes de aprender a tarefa apresentada (MOREIRA e MASINI, 1982, p. 11-12).

Organizadores prévios servem para facilitar a aprendizagem na medida em que funcionam como “pontes cognitivas” (MOREIRA, 2006, p. 23).

Na aprendizagem significativa o professor é um mediador do conhecimento, devendo identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino, identificar os subsunçores, diagnosticar o que os alunos já sabem e ensinar usando recursos que facilitem a aquisição de novos conceitos. Para facilitar a identificação de subsunçores e trabalhar com materiais potencialmente significativos, recorreremos ao estudo de uma sequência didática proposta por Antoni Zabala apresentada na próxima seção.

## **1.2 - SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

A sequência didática que elaboramos é composta por uma diversidade de atividades que se articulam para oportunizar aos alunos uma aprendizagem significativa.

Segundo Zabala (1998) sequência didática é um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que tem um princípio e um fim conhecidos tanto pelo professor como pelos alunos.

No entanto, somente as atividades não são suficientes para garantir a aprendizagem, o professor deve organizá-las de forma significativa, intervindo pedagogicamente, ou seja, percebendo a realidade da aula, o planejamento, a aplicação e avaliação.

Zabala (1998) afirma que além das sequências didáticas, também contribuem para a análise da prática educativa: a comunicação e vínculos existentes na sala de aula, a organização social da aula, a utilização dos espaços e do tempo, a maneira de organizar os conteúdos, os materiais curriculares, os recursos didáticos e a avaliação.

Desse modo, cabe ao professor organizar estratégias que permitam e favoreçam a aprendizagem, considerando que o conteúdo proposto seja alcançado pelos estudantes. Podendo desafiar, dirigir, propor e comparar situações que favoreçam diferentes aprendizagens, considerando os diversos conhecimentos prévios existentes em cada aluno.

Cada estudante tem sua construção pessoal relacionada ao conhecimento e aprendizagem de diferentes conteúdos. O professor pode intervir no processo de aprendizagem e nas dificuldades manifestadas pelo aluno, diminuindo o conflito entre o que se sabe e o que se deve saber.

Zabala (1998) aponta que em uma sequência didática devem existir atividades:

- Que permitam detectar os conhecimentos prévios;
- Os conteúdos devem ser propostos de forma que sejam significativos e funcionais;
- Adequadas ao nível de desenvolvimento de cada aluno;
- Promovam um conflito cognitivo e promovam a atividade mental do aluno para que se estabeleçam relações entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios;
- Que sejam motivadoras em relação à aprendizagem dos novos conhecimentos;
  - Que estimulem a autoestima e o autoconhecimento em relação às aprendizagens que se propõem;
- Que permita ao aluno ser cada vez mais autônomo.

Zabala (1998) reconhece a existência de diferentes sequências didáticas afirmando que não há uma melhor que a outra, mas que se faz necessário reconhecer as possibilidades e as carências de cada uma, dependendo do tipo de conteúdo a ser desenvolvido, que pode ser factual, conceitual, procedimental ou atitudinal.

Conteúdos factuais seriam os conhecimentos de fatos, acontecimentos, situações, dados e fenômenos concretos. Esses conteúdos, no entanto, devem dispor de conceitos associados que permitem interpretá-los ou se converteriam em conhecimentos mecânicos.

Os conceitos se referem ao conjunto de fatos, objetos ou símbolos que tem características comuns. Trata-se de atividades que favoreçam a compreensão do conceito afim de utilizá-lo para a interpretação ou o conhecimento de situações, ou para a construção de outras ideias (ZABALA, 1998).

Os conteúdos procedimentais incluem habilidades técnicas, mas admitem também estratégias de raciocínio e habilidades. É um conjunto de ações ordenadas e com uma finalidade, dirigidas para a realização de um objetivo.

Considerando as diferentes culturas dos estudantes, conteúdos atitudinais englobam uma série de conteúdos que agrupam valores, atitudes e normas. Para Zabala (1998) valores são os princípios ou ideias éticas que permitem às pessoas emitirem um juízo sobre as condutas e sentido. Atitudes são a forma como cada pessoa realiza sua conduta de acordo com valores determinados. Normas são

padrões de comportamento que devem ser seguidos em determinadas situações que obrigam a todos os membros de um grupo social.

Oliveira (2013) considera alguns passos para a elaboração de uma sequência didática: a escolha do tema, a problematização do tema a ser desenvolvido, planejamento dos conteúdos, objetivos a serem alcançados, determinação da sequência de atividades, considerando o cronograma, o material didático, a integração entre cada atividade e avaliação dos resultados.

Assim, Zabala (1998) e Oliveira (2013) defendem que a sequência didática contribui para a prática do cotidiano em sala de aula, sendo desenvolvida considerando a perspectiva do ensino de conteúdos por meio de atividades sequenciadas, organizadas, com objetivos explicados para os alunos, motivadoras em relação à aprendizagem, permitindo a autonomia e a construção de novos saberes e conhecimentos.

O diferencial na proposta de Zabala e Oliveira não são as atividades, mas a maneira de articular as atividades, quanto mais abrangente, maior a interação e autonomia do aluno. Para Moreira (2010), a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e novos conhecimentos, nesse processo os conhecimentos novos adquirem significado para o sujeito e os novos conhecimentos adquirem novos significados.

Dessa forma, é possível, por meio de uma Sequência Didática, descobrir quais os conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva do aluno, organizar o tempo, atividades e materiais que interagem conhecimentos prévios e novos, promovendo a aprendizagem significativa.

## CAPÍTULO 2 - CALOR E EFEITO ESTUFA

A apresentação do conteúdo inicia com a Lei Zero da Termodinâmica, para explorar o conceito de temperatura, calor, as formas de propagação de calor e a realização de trabalho. Na sequência, há o estudo sobre o espectro visível da luz e a absorção da radiação na faixa do comprimento de onda do infravermelho. Seguido de estudos sobre o aquecimento global, efeito estufa, intensidade de energia solar, temperatura de equilíbrio, temperatura média de superfície terrestre e a composição química da atmosfera.

### 2.1 - LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

A lei zero, foi formulada na década de 1930, depois de a primeira e segunda leis da termodinâmica terem sido descobertas. Como o conceito de temperatura é fundamental para as duas leis (primeira e segunda), a lei que estabelece temperatura como um conceito válido teve a numeração menor: zero (HALLIDAY *et. al.*, 2020).

As propriedades de alguns objetos mudam quando são submetidos à variação de temperatura. Por exemplo, considerando uma barra de metal ou um líquido (exceto a água que possui uma anomalia, pois contrai entre 0°C e 4°C), quando a temperatura aumenta seu volume aumenta, quando a temperatura diminui o seu volume diminui. Essas mudanças podem ser usadas como base de um instrumento que ajude a compreender o conceito de temperatura.

A lei zero da termodinâmica (Figura 2.1) explica que, em um sistema isolado termicamente, se o corpo A e o corpo T (termoscópio) estão em equilíbrio térmico, o corpo B e o corpo T estão em equilíbrio térmico, logo, os corpos A e B também estão em equilíbrio térmico (HALLIDAY *et. al.*, 2020).

**Figura 2.1-** Representação esquemática para explicar a Lei zero da termodinâmica.



Fonte: HALLIDAY *et. al.*, 2020.

Portanto, a Lei Zero da Termodinâmica informa que “Todo corpo possui uma propriedade chamada temperatura. Quando dois corpos estão em equilíbrio térmico, suas temperaturas são iguais, e vice-versa” (HALLIDAY *et. al.*, 2020, p. 189).

## 2.2 - TEMPERATURA E CALOR

No final do século XVIII haviam duas hipóteses sobre a natureza do calor. A primeira considerava o calor uma substância fluida indestrutível que “preencheria os poros” dos corpos e escoaria do corpo mais quente para o mais frio, chamada por Lavoisier de Calórico (NUSSENZVEIG, 2002, p.167). Nessa hipótese consideravam que o calor poderia ser transferido de um corpo para o outro, conservando a quantidade de calórico, podendo existir uma lei da conservação para o calor.

A hipótese rival, endossada por Francis Bacon e Robert Hooke, foi assim expressa por Newton em 1704: “O calor consiste num minúsculo movimento de vibração das partículas dos corpos”. Essas ideias podem ter surgido observando a geração de calor por meio de atritos entre os materiais e a teoria do calórico explicava esse efeito dizendo que o atrito “espreme” o calórico para fora do material. (NUSSENZVEIG, 2002, p.167). Nesse caso, acreditavam que o aumento da temperatura dependia apenas do atrito mecânico.

Benjamin Thomson foi um dos primeiros a apontar as dificuldades com a teoria do calórico. Uma das dificuldades era que experimentos bastante precisos realizados por ele não detectavam variação da massa de um corpo, acompanhando a absorção ou eliminação de grandes quantidades de calor. Entretanto, o calórico poderia ser um fluido imponderável (NUSSENVEIG, 2002).

A principal dificuldade apontada por Thomson estava na “lei de conservação do calórico”, pois a quantidade de calórico que podia ser “espremida para fora” de um corpo por atrito era ilimitada. Após supervisionar a perfuração de canhões e observar o elevado grau de aquecimento durante o processo de perfuração, escreveu a teoria de que “o calor não passa de um movimento vibratório que tem lugar entre as partículas do corpo” (NUSSENZVEIG, 2002, p.167).

Em 1842 Julius Robert Mayer escreveu:

“As energias são entidades conversíveis, mas indestrutíveis ... Em inúmeros casos, vemos que um movimento cessa sem ter produzido outro movimento” (energia cinética) “quer o levantamento de um peso” (energia potencial), “mas

a energia, uma vez que existe, não pode ser aniquilada, pode somente mudar de forma” (NUSSENZVEIG, 2002, p.168).

A energia interna que consiste na energia cinética e na energia potencial associadas aos movimentos de átomos e moléculas é chamada de energia térmica. Quando ocorre uma troca de energia entre um sistema e o ambiente, há uma mudança de energia térmica do sistema, ocorrendo uma variação de temperatura. Essa transferência de energia devido a uma diferença de temperatura é chamada de Calor.

### 2.3 - CALOR ESPECÍFICO

Calor específico é a quantidade de calor necessário para elevar de uma unidade a temperatura de um grama de uma substância qualquer e é medida em cal/g°C ou no SI em  $kJ/kg K$ .

Assim, o calor específico de uma substância é proporcional à sua massa e varia com a temperatura:

$$dQ = c m dT . \quad (2.1)$$

Integrando a equação (2.1) para massa e calor específico constantes, obtém-se:

$$Q = mc\Delta T . \quad (2.2)$$

### 2.4 - CAPACIDADE TÉRMICA

A Capacidade Térmica  $C$  é a quantidade de calor necessária para elevar de uma unidade a temperatura de um corpo. Desse modo, pode ser escrita como:

$$C = \frac{dQ}{dT} . \quad (2.3)$$

A capacidade térmica  $C$  de um objeto é a constante de proporcionalidade entre o calor  $Q$  recebido ou cedido pelo objeto e a variação de temperatura  $dT$  desse objeto, assim:

$$dQ = C \Delta T . \quad (2.4)$$

A unidade da temperatura no SI é dada em Kelvin (K). Outras unidades são utilizadas como a representada em graus Celsius (°C), ou em graus Fahrenheit (°F). E calor no SI é dado em Joule ( $J$ ), no sistema gaussiano em *ergs*, mas também se utiliza o *cal* de calorias, devido ao calórico citado anteriormente. Portanto, a capacidade térmica  $C$  é a medida em unidades de energia por grau (cal/°C), ou no SI  $J/K$ .

Se a variação de temperatura é suficientemente grande para que seja preciso considerar a variação do calor específico com a temperatura, teremos:



$$dQ = m \int_{T_i}^{T_f} c(T) dT \equiv m\bar{c}(T_f - T_i), \quad (2.5)$$

em que  $\bar{c}$  é o calor específico médio entre as temperaturas  $T_f$  e  $T_i$ .

A relação entre calor específico  $c$  para sólidos e líquidos e a capacidade térmica  $C$  é dada por:

$$c = \frac{C}{m}, \quad (2.6)$$

e este depende do material/substância de massa  $m$ .

## 2.5 - CALOR LATENTE

Uma substância pode sofrer variação de temperatura quando a energia é transferida entre ela e sua vizinhança. No entanto, em algumas situações a transferência de energia não resulta em variação na temperatura (SERWAY, 2014). Assim, as características físicas dessas substâncias mudam de uma forma para outra. Essa mudança é chamada de mudança de fase.

Substâncias diferentes respondem de forma diferente ao acréscimo ou retirada de energia conforme mudam de fase e a quantidade de energia transferida durante a mudança de fase depende da quantidade de substância.

Assim, o calor latente  $L$  pode ser definido como a energia necessária para mudar a fase de uma substância:

$$L = \frac{Q}{m}. \quad (2.7)$$

O calor latente depende do processo em que ocorre a mudança de fase. Como por exemplo, durante a transformação da fase líquida para a gasosa o calor latente de vaporização da água é igual a  $540 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$ .

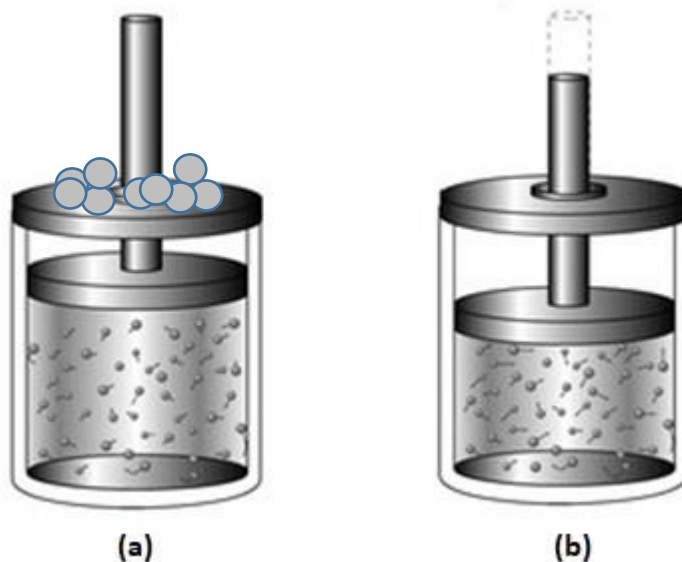
## 2.6 - CALOR E TRABALHO

Como apresentado na seção 2.2 o calor é a energia transferida entre um sistema e o ambiente devido a uma diferença de temperatura. Essa energia pode ser transferida, na forma de calor e por meio de trabalho realizado por uma força que atua sobre ou pelo sistema.

Suponha um gás confinado em um cilindro com um êmbolo móvel e com paredes construídas de um material isolante que não permite a transferência de

energia na forma de calor (Figura 2.2 (a)). Considerando que sob o êmbolo há esferas de chumbo.

**Figura 2.2** - Ilustração de um gás confinado em um cilindro com êmbolo móvel. Indicando que o sistema (a) ao ser aquecido o êmbolo desloca para cima e (b) ao receber trabalho o êmbolo se desloca para baixo.



Fonte: adaptado de <http://educacao.globo.com/fisica/assunto/termica/termodinamica.html>

A força para cima a que o êmbolo é submetido pela pressão do gás confinado é igual a força peso das massas das esferas de chumbo colocadas sobre o êmbolo mais a massa do êmbolo (HALLIDAY *et. al.*, 2020).

O sistema parte de um estado inicial  $i$ , descrito por uma pressão  $P_i$ , um volume  $V_i$  e uma temperatura  $T_i$ . O processo de levar o sistema inicial ao sistema final descrito por pressão  $P_f$ , volume  $V_f$  e temperatura  $T_f$ , é chamado de processo termodinâmico. Durante esse processo a energia pode ser transferida do reservatório térmico para o sistema (calor positivo), ou vice-versa (calor negativo) (HALLIDAY *et. al.*, 2020).

Assim, no caso do exemplo da Figura 2.2 (a) o sistema realiza trabalho sobre o êmbolo mais as esferas de chumbo ou recebe trabalho do êmbolo mais as esferas. No primeiro caso o trabalho será positivo, levantando o êmbolo, e no segundo caso, negativo, quando o êmbolo será empurrado.

Se algumas esferas de chumbo forem removidas (Figura 2.2 (b)), o êmbolo e o restante das esferas serão empurrados pelo gás para cima com uma força  $\vec{F}$ , produzindo um deslocamento infinitesimal  $d\vec{s}$ .

Como o deslocamento é pequeno, a força  $\vec{F}$  é constante durante todo o deslocamento e o módulo de  $\vec{F}$  é igual a  $pA$ , em que  $p$  é a pressão do gás e  $A$  é a área do êmbolo. O trabalho infinitesimal  $dW$  realizado pelo gás durante o deslocamento infinitesimal  $d\vec{s}$  é dado por:

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = (pA)(ds) = p(Ads) = p dV, \quad (2.8)$$

em que  $dV$  é a variação infinitesimal do volume do gás no sistema.

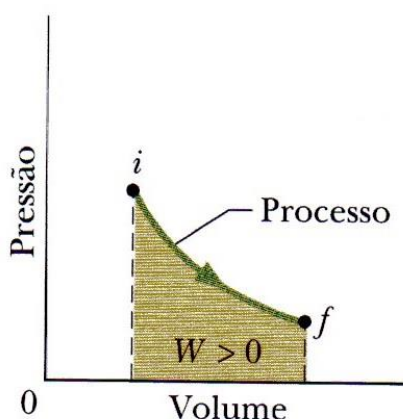
Se forem removidas muitas esferas, a ponto que o volume do gás varie de  $V_i$  para  $V_f$ , o trabalho realizado pelo gás será:

$$W = \int dW = \int_{V_i}^{V_f} p dV. \quad (2.9)$$

Durante a variação de volume a pressão e a temperatura do gás podem variar. A pressão varia com o volume no processo pelo qual passa do estado inicial para o estado final.

Na Figura 2.3 o gás passa do estado inicial para o estado final, realizando um trabalho positivo. A área destacada representa o trabalho  $W$  realizado por um sistema ao passar de um estado inicial para um estado final. O sistema empurra o êmbolo para cima, diminuindo a pressão e aumentando o volume do sistema e o trabalho é positivo.

**Figura 2.3** – Comportamento de um processo Isotérmico ( $T = cte$ ) em que a pressão diminui e o volume aumenta, indicando a realização de trabalho positivo ( $w > 0$ ).

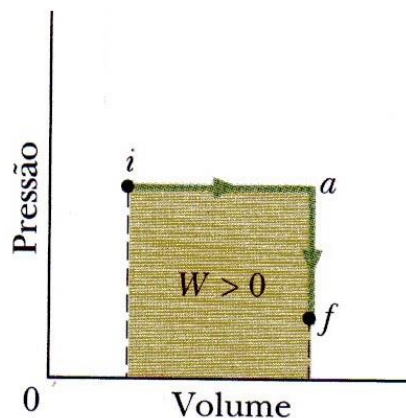


**Fonte:** [https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fisicaequimica/relacaodedocentes973/ezequielcostasiqueira/notas\\_aula\\_prova3.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fisicaequimica/relacaodedocentes973/ezequielcostasiqueira/notas_aula_prova3.pdf)

O gás também pode passar do estado inicial para o estado final como mostra a Figura 2.4, em duas etapas. De ( $i \rightarrow a$ ) o processo ocorre a pressão constante, aumentando o volume, portanto o trabalho é positivo. Na mudança de ( $a \rightarrow f$ ) o

processo ocorre a volume constante, diminuindo a pressão, não ocorrendo a realização de trabalho. A temperatura do reservatório térmico é reduzida lentamente e a pressão do gás diminui, o sistema então cede calor para o reservatório térmico.

**Figura 2.4** – Diagrama de um processo termodinâmico que ocorre em duas etapas: a pressão constante ( $i \rightarrow a$ ) e depois a volume constante ( $a \rightarrow f$ ).

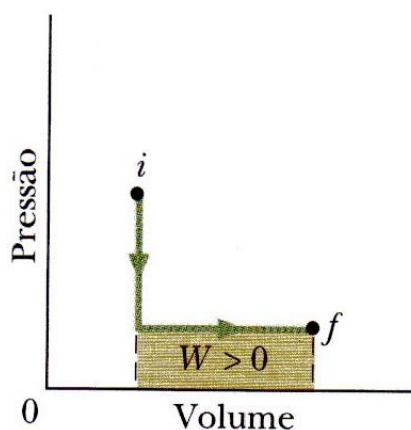


**Fonte:**

[https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fisicaequimica/relacaodocentes973/ezequielcostasiqueira/notas\\_aula\\_prova3.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fisicaequimica/relacaodocentes973/ezequielcostasiqueira/notas_aula_prova3.pdf)

O gás pode passar do estado inicial para o estado final, Figura 2.5, realizando um trabalho menor e positivo.

**Figura 2.5** – Diagrama Pressão versus Volume para um processo termodinâmico em que de  $i$  até  $a$  ocorre em volume constante e de  $a$  até  $f$  ocorre a pressão constante, resultando na realização de um trabalho menor do que apresentado na Figura 2.3 e 2.4.



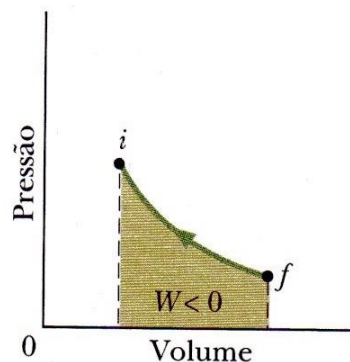
**Fonte:**

[https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fisicaequimica/relacaodocentes973/ezequielcostasiqueira/notas\\_aula\\_prova3.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fisicaequimica/relacaodocentes973/ezequielcostasiqueira/notas_aula_prova3.pdf)

O gás também pode realizar um trabalho negativo ao passar do estado final  $f$  para o estado inicial  $i$ . A Figura 2.6 mostra o gás sendo comprimido por uma força

externa, diminuindo o volume e aumentando a pressão. O trabalho, realizado sobre o sistema é negativo.

**Figura 2.6** - Diagrama Pressão versus Volume para um processo termodinâmico apresentando a realização de um trabalho negativo.

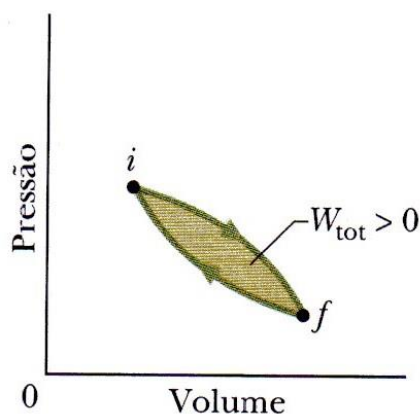


**Fonte:**

[https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fisicaequimica/relacaodocentes973/ezequielcostasiqueira/notas\\_aula\\_prova3.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fisicaequimica/relacaodocentes973/ezequielcostasiqueira/notas_aula_prova3.pdf)

A Figura 2.7 mostra um ciclo termodinâmico. O sistema é levado de um estado inicial  $i$  para um estado final  $f$  e depois levado, novamente, para o estado inicial  $i$ . O trabalho total realizado pelo sistema durante um ciclo completo é a soma do trabalho positivo realizado durante a expansão com o trabalho negativo realizado durante a compressão.

**Figura 2.7** – Diagrama Pressão versus Volume de um ciclo termodinâmico, em que o trabalho líquido é maior que zero, ou seja, positivo.



**Fonte: Fonte:**

[https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fisicaequimica/relacaodocentes973/ezequielcostasiqueira/notas\\_aula\\_prova3.pdf](https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/fisicaequimica/relacaodocentes973/ezequielcostasiqueira/notas_aula_prova3.pdf)

## 2.7 - PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Quando um sistema passa de um estado inicial para um estado final, tanto o trabalho  $W$  realizado como o calor  $Q$  transferido, dependem do modo como a mudança ocorre. Mas a diferença entre calor transferido e trabalho realizado ( $Q - W$ ) dependem dos estados inicial e final e não da forma como o sistema passou de um estado para outro. (HALLIDAY *et. al.*, 2020). Esse fato cujo sistema independe da forma como passou de um estado para outro sugere que a grandeza ( $Q - W$ ) é uma medida da variação de uma propriedade intrínseca do sistema, chamada de energia interna  $E_{int}$

$$\Delta E_{int} = E_{int,final} - E_{int,inicial} = Q - W. \quad (2.10)$$

A equação (2.10) é a expressão da primeira lei da termodinâmica. Se o sistema sofre apenas uma variação infinitesimal, a primeira lei pode ser escrita na forma

$$dE_{int} = dQ - dW. \quad (2.11)$$

A energia interna  $E_{int}$  de um sistema tende a aumentar se for acrescentada energia na forma de calor  $Q$ , e a diminuir se for removida energia na forma de trabalho  $W$  realizado pelo sistema (HALLIDAY *et. al.*, 2020).

A primeira lei da termodinâmica pode ser aplicada a diferentes processos termodinâmicos:

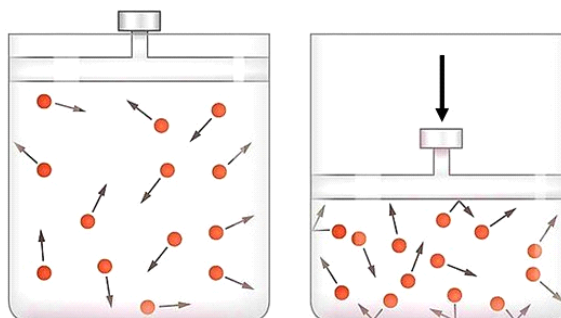
**Processos adiabáticos:** ocorrem em sistemas totalmente isolados termicamente, ou seja, em que não há possibilidade de trocas de calor entre o sistema e o ambiente. Sendo  $Q = 0$  na primeira lei da termodinâmica (Eq. 2.10), obtemos

$$\Delta E_{int} = -W. \quad (2.12)$$

De acordo com a eq. (2.12), se o sistema realiza trabalho sobre o ambiente,  $W$  é positivo. Se o ambiente realiza trabalho sobre o sistema,  $W$  será negativo.

A Figura 2.8 mostra um processo adiabático. Como o sistema está isolado, não pode receber ou ceder calor, a única troca de energia entre o sistema e o ambiente é por meio de trabalho. Se o êmbolo subir, o gás ficará expandido e o trabalho realizado pelo sistema será positivo enquanto a energia interna diminuir. Se o êmbolo for pressionado, o gás será comprimido, o trabalho realizado pelo sistema será negativo e a energia interna do gás aumentará.

**Figura 2.8** – Ilustração de um sistema com êmbolo indicando um processo adiabático, não há troca de calor entre o recipiente e o ambiente a sua volta.



Fonte: <https://www.todamateria.com.br/transformacao-adiabatica/>

**Processos a volume constante (isovolumétrico):** se o volume de um sistema permanece constante durante um processo termodinâmico, o sistema não realiza trabalho, se  $W = 0$ . De acordo com a primeira lei da termodinâmica (Eq. 2.10)

$$\Delta E_{int} = Q . \quad (2.13)$$

Se o sistema recebe calor ( $Q$  positivo), a energia interna do sistema aumenta. Se o sistema cede calor ( $Q$  negativo), a energia interna do sistema diminui.

**Processos cíclicos:** são processos, nos quais, após a troca de calor e de trabalho, o sistema volta ao estado inicial, não ocorrendo variação de energia interna,  $\Delta E_{int} = 0$ . De acordo com a primeira lei da termodinâmica (eq. (2.10))

$$Q = W . \quad (2.14)$$

O trabalho realizado durante o processo é exatamente igual à quantidade de energia transferida em forma de calor. Assim, a energia interna do sistema não altera.

**Expansões livres:** são processos em que não há trocas de calor com o ambiente e nenhum trabalho é realizado. Assim,  $Q = W = 0$ . Conforme a primeira lei da termodinâmica (Eq. 2.10)

$$\Delta E_{int} = 0 . \quad (2.15)$$

Logo, não há variação de energia interna. A energia interna  $E_{int}$  de um sistema aumenta, se for acrescentado energia na forma de calor  $Q$  e, diminui se for removida energia na forma de trabalho  $W$  realizado pelo sistema.

## 2.8 - MECANISMOS DE PROPAGAÇÃO DE CALOR

A propagação de calor ocorre por três processos: Condução, Convecção e Irradiação.

### 2.8.1 - CONDUÇÃO DE CALOR

A condução de calor ocorre somente de um meio material para outro, tanto em fluidos como em sólidos, desde que exista diferença de temperatura entre o meio material.

Por exemplo, quando colocamos uma panela com água sobre uma chama, o calor é transmitido da chama à água através da parede metálica da panela por condução. Antes de inserir a base da panela na chama do fogão, os átomos estão vibrando em torno de suas posições de equilíbrio. À medida que a chama fornece energia térmica ao metal (base da panela), os átomos próximos à chama vibram com amplitudes cada vez maiores, colidindo com seus vizinhos e transferindo parte de sua energia nas colisões para os demais átomos, e o processo de colisão continua atingindo todos os átomos, quanto mais distante da fonte (chama) menor a colisão.

O calor flui sempre de um ponto onde a temperatura é mais alta para um ponto de temperatura mais baixa. A quantidade de calor  $\Delta Q$  transportada durante um intervalo de tempo  $\Delta t$  é proporcional a área  $A$  e a diferença de temperatura e inversamente proporcional à espessura  $\Delta x$  da chapa metálica de que é constituída a panela. Dessa forma, o gradiente de temperatura é dado por:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} \propto A \frac{\Delta T}{\Delta x}. \quad (2.16)$$

Assim, a água ferve mais rápido se a temperatura da chama é mais alta, e quanto mais espessa a chapa metálica da panela, mais tempo demora para a água ferver.

Para a condução de calor através de uma espessura infinitésima  $dx$  de um meio durante um tempo  $dt$ , temos:

$$\frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx}. \quad (2.17)$$

Em que  $k$  é uma constante de proporcionalidade característica do meio condutor, chamada de condutividade térmica do material ( $k > 0$ ). Na Tabela 2.1 estão apresentados os valores da condutividade térmica de alguns materiais a 27°C. Sua unidade no SI é  $\frac{J}{smK}$ .



**Tabela 2.1** – Tabela de Condutividade térmica de materiais a 27°C.

Materiais	Condutividade Térmica ( $J/(s\ m\ k)$ )
Prata	426
Cobre	398
Alumínio	237
Tungstênio	178
Ferro	80,3
Vidro	0,72 a 0,86
Água	0,61

Fonte <http://polemicascomm.blogspot.com/2012/08/condutibilidade-termica.html>

Quanto maior a condutividade térmica de um material  $k$ , mais condutora de calor é o material/substância, maior a corrente térmica por unidade de área para um dado gradiente de temperatura (NUSSENZVEIG, 2002).

### 2.8.2 - CONVECÇÃO DE CALOR

A convecção de calor ocorre em fluidos e se caracteriza pelo fato de que o calor é transferido pelo movimento do próprio fluido, que constitui uma corrente de convecção (NUSSENZVEIG, 2002).

Esse tipo de transferência de energia ocorre quando um fluido entra em contato com um objeto de temperatura maior. Esse contato permite que uma parte do fluido aumente sua temperatura, com os átomos e moléculas vibrando o fluido se expande, ficando menos denso. Um fluido aquecido diminui sua densidade e tende a subir sob o efeito gravitacional, sendo substituído por um fluido mais frio e mais denso, gerando correntes de convecção (NUSSENZVEIG, 2002).

O transporte de calor por convecção tem o papel de resfriar a temperatura terrestre. O ar quente próximo à superfície da Terra se eleva transportando calor para as regiões mais altas da atmosfera, nesse processo há expansão e resfriamento do ar (JUNGES *et. al.*, 2018).

### 2.8.3 - RADIAÇÃO TÉRMICA

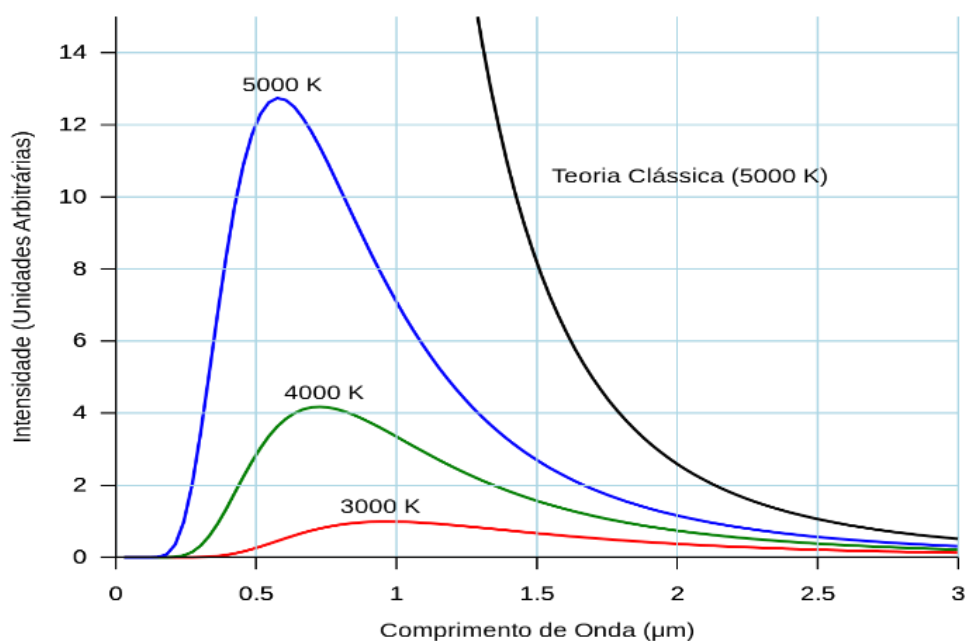
Quando nos aproximamos de uma fogueira somos aquecidos pela radiação térmica proveniente do fogo, a energia térmica do fogo é emitida e ao mesmo tempo somos aquecidos pelo fogo, por estarmos a uma temperatura menor absorvemos essa energia (HALLIDAY *et. al.*, 2020). Nesse processo não há necessidade de um meio material para que ocorra a transferência de calor.

O processo de transferência de calor de um ponto para outro ocorre por meio da radiação eletromagnética e que se propaga no vácuo. É dessa forma que o calor do Sol chega à Terra. Todos os corpos irradiam energia na forma de ondas eletromagnéticas e quando transferem calor são chamadas de radiação térmica.

#### 2.8.4 - ABSORÇÃO E EMISSÃO DE RADIAÇÃO

Todo corpo aquecido emite energia sob a forma de radiação eletromagnética. Se a temperatura for suficientemente alta, essa emissão pode ser identificada sob a forma de luz visível (GUIMARÃES, 1999). Ou seja, dependendo da temperatura que se encontra um corpo existe uma função que descreve o comportamento da intensidade de radiação e o comprimento de onda emitido por esse corpo. Quando um corpo emite radiação em todos os comprimentos de onda ele é denominado de corpo negro, conforme ilustrado na Figura 2.9.

**Figura 2.9** - Intensidade relativa da radiação emitida versus comprimento de onda ( $\mu m = 10^{-6} m$ ) para um corpo negro.



Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Corpo\\_negro](https://pt.wikipedia.org/wiki/Corpo_negro)

O Sol e a Terra emitem radiação semelhante a um corpo negro, quando se considera uma temperatura efetiva, que seria a energia emitida com a mesma temperatura do corpo negro por unidade de área e por unidade de tempo. Sendo então esse o fluxo de energia na superfície da estrela.

A Figura 2.9 apresenta a intensidade da radiação versus o comprimento de onda, e a curva a direita é a prevista classicamente e as demais curvas é denominada de Curva de Planck, pois teoricamente a equação de Planck é que se ajusta a essas curvas como será apresentado mais adiante.

Analisando classicamente os resultados da temperatura de um corpo, a intensidade da radiação emitida e o comprimento de onda,  $\lambda$ , para esse corpo, Jožef Stefan em 1879 descobriu empiricamente que a intensidade de radiação total emitida por um corpo aquecido é proporcional a temperatura a quarta potência:  $I \propto T^4$  e essa radiação é dada por:

$$I(\lambda, T) = \int_0^{\infty} u(\lambda, T) d\lambda \quad (2.18)$$

dependendo apenas da temperatura  $T$  em que se encontra esse corpo:

$$I = \sigma T^4. \quad (2.19)$$

A quantidade  $u(\lambda, T)$  na equação (2.18) é denominada de energia espectral. E o  $\sigma$  na equação (2.19) é a constante de proporcionalidade. Ludwig Boltzmann obteve a mesma lei que Stefan, mas de forma teórica em 1884, conforme citado por Bassalo (1994):

[...] o físico austríaco Ludwig Boltzmann (1844-1906) demonstrou matematicamente a lei de Stefan, ao considerar como um gás a radiação eletromagnética no interior de um corpo negro, e aplicando a esse gás as leis da Termodinâmica. Desse modo, Boltzmann encontrou o coeficiente de proporcionalidade ( $\sigma$ ) entre  $R$  e  $T^4$ . (Bassalo, 1994, p.1)

Portanto, na equação (2.19) obtida tanto por Stefan quanto por Boltzmann, a constante de proporcionalidade é dada por  $\sigma = 5,6696 \times 10^{-8} W/(m^2 K^4)$  e é conhecida como constante de Stefan-Boltzmann.

Com o sucesso de Boltzmann o físico alemão Wilhelm Wien estudou de forma clássica a função  $u(\lambda, T)$ , e obteve em 1896 a expressão (BASSALO, 1994):

$$u(\lambda, T) = C_1 \lambda^{-5} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}}$$

e nesse mesmo ano Louis Carl Pachen obteve a mesma relação de forma empírica, válidos para alta frequência ou pequenos comprimentos de onda. E em 1990, John

---

<sup>1</sup> No artigo a radiação é anotada pela letra R do termo radiância, no presente trabalho por I de intensidade de radiação espectral.

Struth Rayleigh considerou essa intensidade de radiação proporcional aos modos normais de vibração dos osciladores moleculares obteve que:

$$u(\lambda, T) = C_1 T \lambda^{-4} e^{-\frac{C_2}{\lambda T}}.$$

Em 1900, Planck apresentou uma interpolação entre essas duas equações chegou a expressão

$$u(\lambda, T) = C_1 \lambda^{-5} \frac{1}{e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1}$$

que para  $\lambda T \ll 1$  recai na proposta de Wien e se  $\lambda T \gg 1$  na proposta de Rayleigh. Conhecida como lei de Planck, sendo  $C_1 = 8\pi hc$  e  $C_2 = hc/k_B$ , com  $h = 6,67 \times 10^{-34} \frac{J}{s}$  a constante de Planck e  $k_B = 1,380649 \times 10^{-23} m^2 Kg / s^2 K$  a constante de Boltzmann e  $c = 29979458 m/s$  a velocidade da luz. Obtendo para a função distribuição da densidade de energia como (GUIMARÃES, 1999):

$$u(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}. \quad (2.20(a))$$

Cujo comportamento ajustam as curvas apresentadas na Figura 2.9 por isso são denominadas de curvas de Planck. A equação  $u(\lambda, T)$  em termos da frequência ( $\nu$ ), considerando  $\lambda = \frac{c}{\nu}$ , é escrita como,

$$u(\nu, T) = -\frac{d\lambda}{d\nu} u(\lambda, T) = -\left(-\frac{c}{\nu^2}\right) u(\lambda, T) = \frac{8\pi h \nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}. \quad (2.20 (b))$$

De forma que a lei de Planck em termos da frequência é escrita como,

$$I(\nu, T) = \frac{c}{4\pi} u(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1}.$$

Observando que na lei obtida por Planck, equação (2.20(a)) ele fez duas principais modificações na mecânica clássica: a primeira foi que a energia dos osciladores de origem eletromagnética assume somente valores que respeitem a equação

$$E_n = nh\nu,$$

em que Planck introduziu a constante  $h = 6,67 \times 10^{-34} \frac{J}{s}$  que leva o seu nome, sendo  $n$  números inteiros e  $\nu$  a frequência de oscilação. E, a segunda que esses osciladores podem absorver ou emitir energia em múltiplos discretos de um quantum fundamental representado por

$$\Delta E = h\nu.$$

Para encontrar o comprimento de onda máximo para a equação (2.20(a)), podemos derivar o seu denominador em relação a  $\lambda$  e igualar a zero (pois minimizar o denominador implica em maximizar o numerador) e terá uma equação transcendental, após resolver pelo método numérico obtém-se a lei de deslocamento de Wien,

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}. \quad (2.21)$$

sendo  $b = 2,8976 \times 10^{-3} \text{ m K}$  é a constante de proporcionalidade denominada de constante de dispersão de Wien.

Ela informa que, quanto maior a temperatura de um corpo menor o comprimento de onda em que ocorre a emissão de máxima intensidade. Portanto, a lei de deslocamento de Wien fornece uma relação entre a temperatura absoluta e o comprimento de onda de máxima intensidade que um corpo emite:

Tem-se ainda que, a Lei de Stefan-Boltzmann informa que a taxa com que um corpo emite energia por radiação térmica a partir de sua superfície é proporcional à quarta potência de sua temperatura superficial. Essa energia é emitida/irradiada com uma potência total dada por:

$$P = \sigma A \varepsilon T^4. \quad (2.22)$$

Sendo:  $P$  = Intensidade de energia irradiada pelo corpo em Watts ( $W = J/s$ );  $\sigma$  a constante de Stefan-Boltzmann, igual a  $5,6696 \times 10^{-8} W/(m^2 K^4)$ ,  $A$  é a área da superfície do corpo em metros quadrados. A letra  $\varepsilon$  é a constante chamada emissividade adimensional da superfície de um objeto, com valor entre 0 e 1, dependendo da composição de sua superfície (HALLIDAY et. al., 2020).  $E$ ,  $T$  é a temperatura da superfície do corpo em Kelvin. A temperatura deve estar em Kelvin para que a temperatura de zero absoluto corresponda à ausência de radiação. Assim, todo objeto com temperatura acima de zero Kelvin emite radiação.

Ao mesmo tempo que irradia, o corpo também absorve radiação eletromagnética do ambiente. A taxa  $P_{abs}$  com a qual um corpo absorve energia de radiação térmica do ambiente com temperatura uniforme  $T_{amb}$  é dada por:

$$P_{abs} = \sigma \varepsilon A T_{amb}^4. \quad (2.23)$$

A taxa líquida  $P_{líq}$  de troca de energia irradiada, equação (2.22), e a absorvida, equação (2.23) pelo ambiente é dada por:

$$P_{líq} = P_{abs} - P = \sigma \varepsilon A (T_{amb}^4 - T^4). \quad (2.24)$$

$P_{líq}$  é positiva se o corpo absorve energia e negativa se o corpo perde energia por radiação (PAULO, 2021).

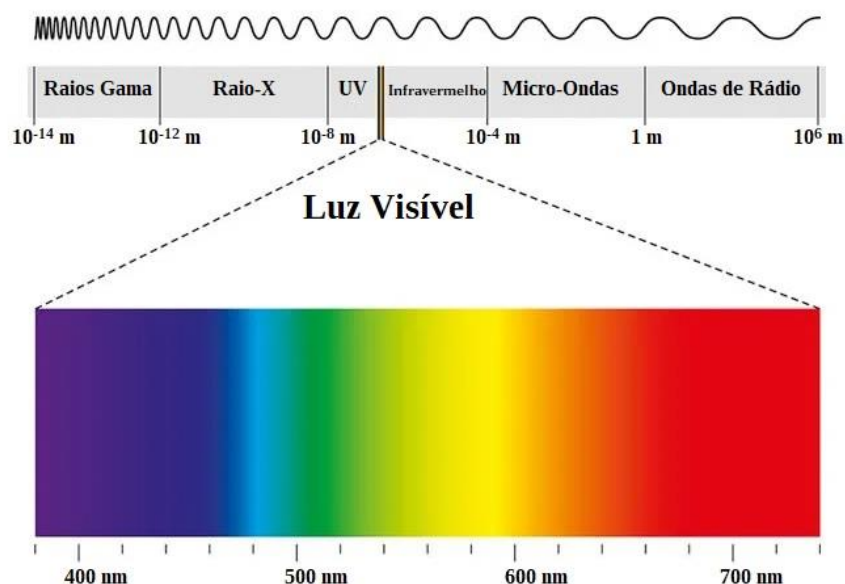
Na próxima seção apresenta-se o espectro eletromagnético focada na luz do Sol.

### 2.8.5 – ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

A radiação eletromagnética que é um conjunto de ondas elétricas e magnéticas que oscilam perpendiculares entre si e ambas perpendicular a sua velocidade de propagação dada pela velocidade da luz  $c$ .

A luz do Sol chega à Terra em uma ampla gama de radiação eletromagnética, desde ondas de rádio extremamente longas até ondas infravermelhas muito mais curtas. Essa gama de radiação compõem o espectro eletromagnético como apresentado na Figura 2.10. Neste intervalo há o intervalo do espectro da luz visível, em que o comprimento de onda varia de  $380 \text{ nm}$  a  $740 \text{ nm}$ . (BOTKIN e KELLER, 2018).

**Figura 2.10** – Imagem ilustrativa do espectro eletromagnético.



**Fonte:** <https://roberto-furnari.blogspot.com/2020/08/espectro-eletromagnetico.html>

Em um processo de emissão de calor por radiação a lei de deslocamento de Wien no caso da fotosfera do Sol, em que a temperatura é de  $5.780K$  o pico de emissão se produz quando  $\lambda_{max} = 501,32nm = 501,32 \times 10^{-9}m$ . E a Terra com temperatura de  $288K$  o pico ocorre em  $\lambda_{max} = 10,06 \times 10^{-6}m$ . O que significa que a radiação solar está concentrada na faixa da luz visível próximo ao infravermelho, e da Terra e sua atmosfera no infravermelho. Essa lei explica também o motivo de um objeto de metal, como uma barra de ferro, quando aquecido, primeiro adquire uma cor vermelha, depois esbranquiçada e por fim azulada.

Na próxima seção apresenta-se a aplicação da teoria apresentada nas seções anteriores no processo de aquecimento global, seguida da seção de efeito estufa baseados no artigo de JUNGES *et. al.* (2018).

#### 2.8.6 – AQUECIMENTO GLOBAL

A partir da segunda metade do século XX dados de estações meteorológicas e dados de satélites tem indicado que de fato está ocorrendo um aumento da temperatura média global, registrando quase  $1^{\circ}C$  desde o período pré industrial (JUNGES *et. al.*, 2018).

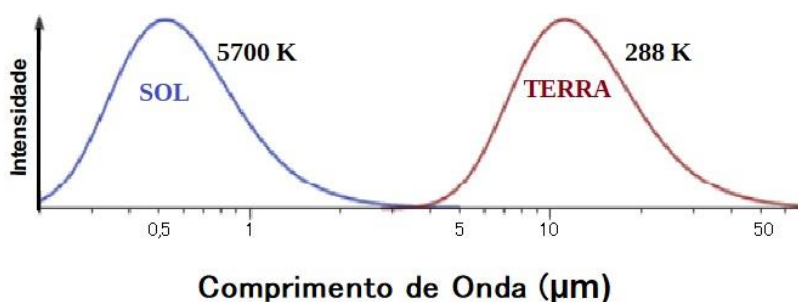
Esse aquecimento do planeta, está relacionado à intensificação do fenômeno do efeito estufa, que ocorre devido à presença do vapor d'água, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso CFC<sub>s</sub> e ozônio.

Esses gases são ativos radioativamente na faixa de comprimento de ondas longas, ao mesmo tempo, que são transparentes à radiação de comprimentos de ondas curtos como a radiação visível (JUNGES *et. al.*, 2018).

Todo corpo acima da temperatura de  $0 K$  (temperatura absoluta) emite radiação na forma de ondas eletromagnéticas. De acordo com a Lei de Wien e a Lei de Stefan-Boltzmann, equações (2.18) e (2.20) respectivamente, a intensidade da radiação e o comprimento de onda da radiação dependem da temperatura em que se encontra o corpo. Assim, o Sol com temperatura de superfície de  $5.780 K$  e a Terra com temperatura média de superfície de  $288 K$  emitem ondas de diferentes comprimentos. O Sol emite a maior parte de sua energia, pico máximo conforme apresentado na seção 2.8.4 obtida por meio da Lei de Wien,  $501,3 nm \sim 0,5\mu m$ , que é faixa de comprimento de onda da luz visível (Figura 2.10), e a Terra tem seu pico de emissão  $\frac{2,8976 \times 10^3}{288} \sim 10 \mu m$ , na faixa de comprimento de onda do infravermelho. (JUNGES *et.*

al., 2018). Na Figura 2.11 apresenta-se a posição dos dois espectros em um gráfico da intensidade versus comprimento de onda para o processo de emissão da luz do Sol e o da Terra.

**Figura 2.11** – Gráfico da intensidade de luz emitida versus o comprimento de onda apresentando o espectro de emissão do Sol e da Terra.

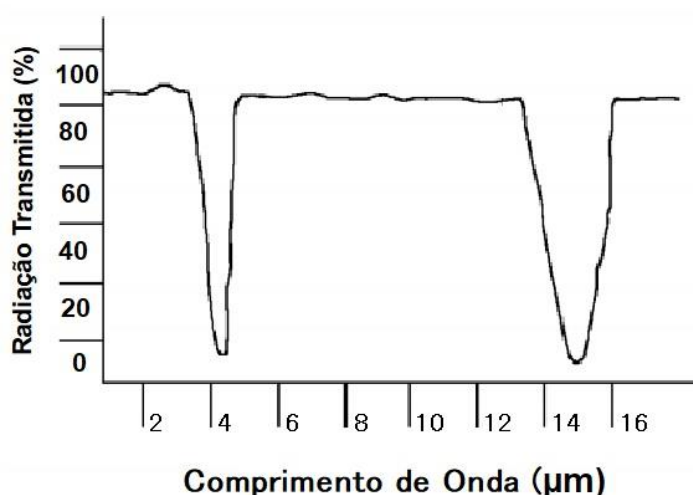


Fonte: JUNGES *et. al.*, 2018

Nesse contexto, Junges e co-autores (2018) explicam que para compreender porque o dióxido de carbono é um gás de efeito estufa, deve-se voltar para o estudo da espectroscopia do infravermelho.

Conforme citado no artigo, a espectroscopia vibracional trata da espectroscopia do infravermelho na faixa entre  $1\mu m$  a  $100\mu m$ . A Figura 2.12 representa o espectro do infravermelho para uma molécula de dióxido de carbono.

**Figura 2.12** – Gráfico da Radiação transmitida versus comprimento de onda apresentando as bandas de absorção de dióxido de carbono.



Fonte: JUNGES *et. al.*, 2018

Na Figura 2.12 há duas bandas de absorção, localizadas a  $4,2\mu m$  e  $15\mu m$ , pontos onde a intensidade da radiação transmitida diminui drasticamente



apresentando um mínimo. Quando a radiação infravermelha incide sobre uma amostra de gás de dióxido de carbono, os comprimentos da radiação de  $4,2\mu m$  e  $15\mu m$  são absorvidos pelo gás.

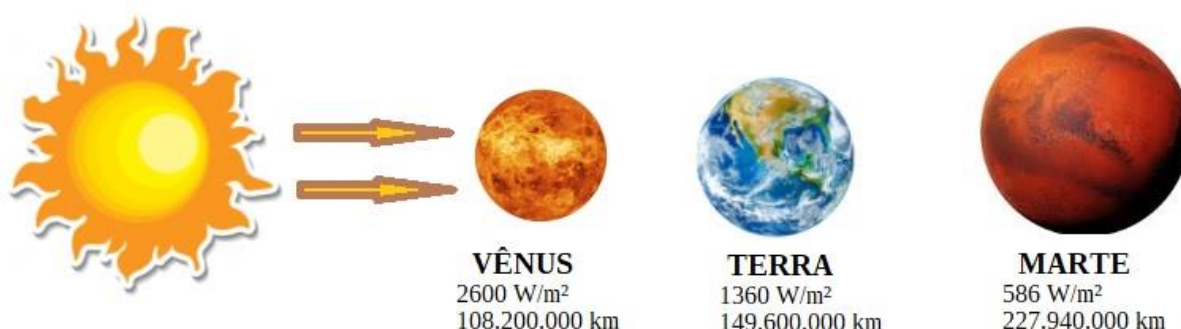
Essas bandas de absorção ( $4,2\mu m$  e  $15\mu m$ ) estão na faixa de comprimento de onda do infravermelho que a Terra emite radiação de volta para o espaço (Figura 2.14 apresentado na seção 2.9). Ou seja, as bandas de absorção dificultam a passagem de ondas de infravermelho, emitida pela Terra, para o espaço, intensificando o fenômeno do efeito estufa e conseqüentemente o aquecimento global.

## 2.9 - EFEITO ESTUFA

O cientista francês Jean Baptiste Fourier (1768-1830) possivelmente foi o primeiro a tomar o conceito de temperatura planetária, um objeto de estudo da ciência. Assumindo que o Sol é a principal fonte de energia da Terra, raciocinou que se a Terra recebe energia do Sol, também deve reemitir energia de volta para o espaço, de outro modo se tornaria cada vez mais quente (JUNGES *et. al.*, 2018).

A Figura 2.9 ilustra que como a intensidade de energia solar (a energia que atinge cada metro quadrado da superfície, na parte superior da Terra, a cada segundo) que chega ao planeta depende da luminosidade do Sol e da distância entre o Sol e o planeta.

**Figura 2.13** – Ilustração (fora de escala) da intensidade de energia solar que atinge os planetas: Vênus, Terra e Marte.



**Fonte:** adaptado de JUNGES *et. al.*, 2018.

A intensidade de energia solar que atinge o planeta Terra é de  $1.360 W/m^2$ , também conhecida como constante solar. Mas nem toda energia solar incidente sobre

o planeta é absorvida. Parte dessa energia é refletida para o espaço pela atmosfera e pela superfície do planeta. Essa quantidade de energia refletida pela superfície da Terra e pela atmosfera planetária é conhecida como albedo do planeta, representado pela letra grega Alfa ( $\alpha$ ).

O planeta esférico apresenta um disco circular, de raio  $R$ , sendo sua área,  $A$ , calculada por meio da equação

$$A = \pi R^2. \quad (2.25)$$

A taxa de energia absorvida pelo planeta é obtida multiplicando a intensidade de energia solar ( $I$ ) pela área do disco com o raio do planeta, subtraindo o valor da energia refletida, assim:

$$\text{Taxa de Energia Absorvida} = \pi R^2 I (1 - \alpha). \quad (2.26)$$

Se o planeta absorve energia ele deve reemitir-la de volta ao espaço na mesma taxa. Para determinar a taxa que os planetas reemitem energia para o espaço, utiliza-se a lei de Stefan-Boltzmann, Equação (2.20). Assim, para obter a taxa total de energia emitida por um planeta é preciso multiplicar a intensidade ( $I$ ) pela área da superfície do planeta:

$$\text{Taxa de Energia Emitida} = 4\pi R^2 T_e^4. \quad (2.27)$$

Para encontrarmos a temperatura de equilíbrio, basta aplicar a condição de equilíbrio térmico igualando as equações (2.26) e (2.27):

$$\text{Taxa de Energia Absorvida} = \text{Taxa de Energia Emitida}$$

$$\pi R^2 I (1 - \alpha) = 4\pi R^2 \sigma T_e^4$$

simplificando os termos iguais e isolando o termo que representa a temperatura  $T_e^4$ ,

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{I(1 - \alpha)}{4\sigma}}. \quad (2.28)$$

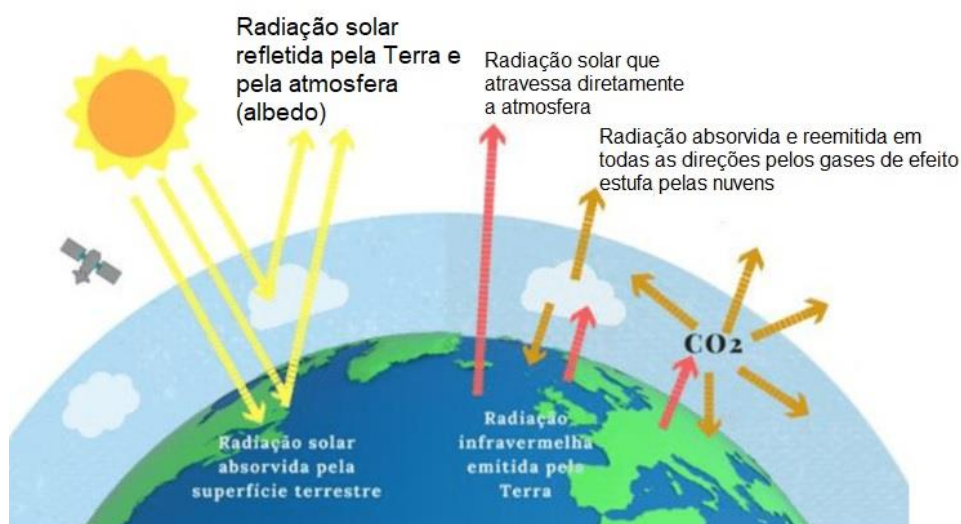
Ao substituir os valores de cada grandeza física na equação (2.28), Sendo a intensidade de energia do planeta Terra  $1.360 \text{ W/m}^2$ , sendo o albedo do planeta de aproximadamente  $30\% = 0,30$ , e a constante de Stefan-Boltzmann  $5,6696 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \text{K}^4)$ , obtém-se:

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{1360(1 - 0,30)}{4(5,67 \times 10^{-8})}} \approx 255K . \quad (2.29)$$

Porém, a temperatura média de superfície da Terra é de 288 K (ou de, aproximadamente, 15°C, na região da biosfera) e temperatura de equilíbrio e de superfície de um planeta são temperaturas diferentes. Por isso existe vida no planeta. De forma que se o planeta Terra tivesse uma temperatura média igual a obtida na equação (2.29), 255K (18,15°C), a vida como a conhecemos não existiria, o solo do planeta estaria coberto por camadas de gelo. Pois 70% do planeta é água e esse tem o ponto de fusão a 0°C para a água pura, e um mol de água salgada tem o ponto de fusão de -1,86°C, e de que 97% da água do planeta é do mar ou de oceanos.

Em um planeta que possui uma atmosfera substancial consideravelmente espessa e que contém gases de efeito estufa, a radiação emitida pela superfície é absorvida por sua atmosfera antes que ela alcance o espaço exterior, com ilustrado na Figura 2.14. A maior parte da radiação visível do Sol atinge a Terra com facilidade, cerca de 70%, os outros 30% dessa radiação compõem o albedo do planeta. Quando aquecida, a Terra reemite para o espaço novamente a radiação infravermelha em todas as direções (JUNGES *et. al.*, 2018)

**Figura 2.14 – Ilustração do efeito estufa na Terra.**



**Fonte:** JUNGES *et. al.*, 2018. [https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Desenho-esquematico-do-efeito-estufa-da-Terra-0\\_fig3\\_333609522](https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Desenho-esquematico-do-efeito-estufa-da-Terra-0_fig3_333609522)

O planeta Terra possui uma concentração de gases atmosféricos dominada por nitrogênio (78%) e oxigênio (21%). Entre os demais gases estão o argônio (0,9%) e

gases do efeito estufa como o dióxido de carbono (0,037%) (JUNGES *et. al.*, 2018), o vapor d'água, metano, alguns dióxidos de nitrogênio e clorofluorcarbonos (CFCs) (BOTKIN e KELLER, 2018).

O dióxido de carbono juntamente com os demais gases de efeito estufa são responsáveis por elevar a temperatura da Terra em cerca de 30°C acima da temperatura de equilíbrio (JUNGES *et. al.*, 2018).

Assim, a temperatura de superfície planetária é de aproximadamente 15°C na superfície, devido à presença desses gases. O efeito estufa é um processo natural que ocorre numa atmosfera planetária devido à presença de gases de efeito estufa.

Cada gás na atmosfera tem seu próprio espectro de absorção. Ondas infravermelhas consistem em radiação de calor, ondas essas que, para a maior parte dos processos na Terra, transferem energia térmica de um material para outro. (BOTKIN e KELLER, 2018). Alguns gases atmosféricos absorvem a radiação emitida pela superfície aquecida da Terra e aquecem, reemitindo essa radiação. Uma parte dessa radiação retorna à superfície, deixando-a mais quente.

Os gases de efeito estufa dificultam a perda da radiação infravermelha para o espaço, tornando a baixa atmosfera mais quente do que estaria na ausência desses gases. A maior parte da radiação do Sol que chega à Terra está nos comprimentos de onda visível e infravermelho, enquanto a Terra mais fria irradia energia no infravermelho (BOTKIN e KELLER, 2018).

A potência da radiação e o comprimento da onda da radiação dependem da temperatura em que se encontra o corpo e podem ser determinados por meio de duas leis físicas: a lei de Stefan-Boltzmann e a lei de Wien (JUNGES *et. al.*, 2018), apresentadas na seção 2.8.4.

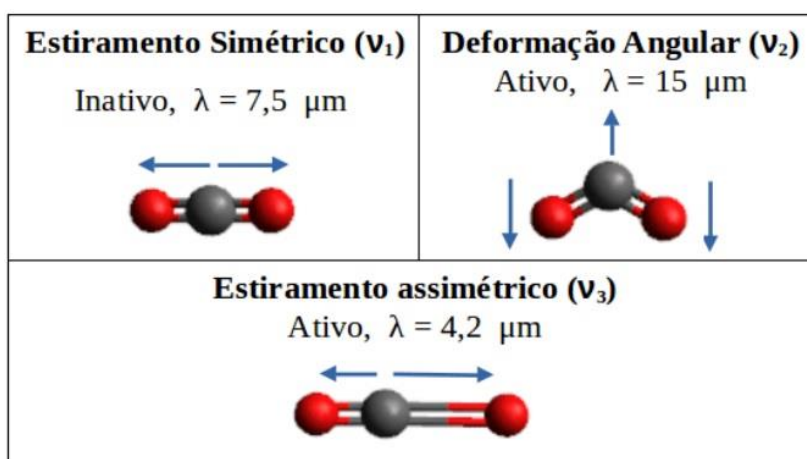
Assim, conforme calculado na sessão 2.8.4 pela Lei de Wien e citado na Sessão 2.8.6, o Sol está a uma temperatura de superfície de cerca de 5.700 K, emite a maior parte de sua energia na faixa de comprimento de onda da luz visível ( $0,5\mu m$ ). A Terra possui temperatura média de superfície de 288 K e tem seu pico de emissão na faixa de comprimento de onda do infravermelho ( $10\mu m$ ) (JUNGES *et. al.*, 2018), cujos espectros foram ilustrados na Figura 2.12.

Entre os diversos gases de efeito estufa existentes na atmosfera Terrestre, analisaremos o mecanismo do efeito estufa a partir da molécula de dióxido de carbono.

O dióxido de carbono é uma molécula poliatômica que não necessita de um momento dipolar permanente para exibir um espectro vibracional no infravermelho, mas qualquer vibração que emita ou absorva radiação deve causar uma mudança no momento dipolar (MOORE,1976).

Quando uma molécula de dióxido de carbono interage com a radiação, as suas ligações químicas podem variar de acordo com diferentes orientações e frequências (JUNGES *et. al.*, 2018). A Figura 2.15 apresenta os quatro modos normais de vibração para a molécula de dióxido de carbono: estiramento simétrico ( $\nu_1$ ), estiramento assimétrico ( $\nu_3$ ) e dois modos de deformação angular ( $\nu_2$ ) (LEITE, 2010).

**Figura 2.15** - Representação dos modos normais de vibração de CO<sub>2</sub>.



**Fonte:** JUNGES *et. al.*, 2018 [https://www.researchgate.net/figure/Figura-8-Os-modos-normais-de-vibracao-do-CO2\\_fig6\\_333609522](https://www.researchgate.net/figure/Figura-8-Os-modos-normais-de-vibracao-do-CO2_fig6_333609522)

A seguir, apresenta-se o que implica o momento de dipolo em cada modo de vibração no dióxido de carbono:

- **Estiramento Simétrico:** os átomos da molécula vibram ao longo do eixo internuclear de uma maneira simétrica (LEITE, 2010), o momento de dipolo permanece nulo, não causando mudança no momento dipolar e, portanto, essa frequência é inativa no infravermelho (MOORE,1976). Ou seja, durante o movimento de vibração o distanciamento entre os átomos de carbono (C) e oxigênio (O) estendem-se e encurtam-se de modo sincronizado, não ocorrendo diferença alguma na posição entre os centros de cargas positivas e negativas (MOORE,1976). Desse modo, a molécula não pode absorver radiação infravermelha.

- **Deformação Angular:** a deformação duplamente degenerada de deformação angular causa uma mudança de momento dipolar, sendo ativa no infravermelho, dando origem a uma banda de absorção (MOORE,1976).
- **Estiramento Assimétrico:** a contração de uma das ligações entre carbono e oxigênio ocorre quando a outra se expande, ou vice-versa, de modo que durante o movimento os centros de carga não coincidem necessariamente, portanto ativa no infravermelho (MOORE,1976).

Os dois modos de vibração da molécula de dióxido de carbono (estiramento assimétrico e deformação angular) que são ativos e absorvem radiação tem comprimento de ondas de  $4,2\mu m$  e  $15\mu m$  respectivamente, como apresentado na Figura 2.12. (JUNGES *et. al.*, 2018).

De acordo com a Figura 2.11, nota-se que as bandas de absorção de  $4,2\mu m$  e  $15\mu m$  estão na faixa de comprimento de onda do infravermelho em que a Terra emite radiação de volta para o espaço, estando o pico de emissão da Terra em  $10\mu m$ , o que faz com que a absorção de radiação de dióxido de carbono no comprimento de onda seja intensa (JUNGES *et. al.*, 2018).

Assim, o dióxido de carbono absorve e reemite a radiação infravermelha emitida pela superfície da Terra, e as bandas de absorção permitem a existência do efeito estufa. Como já mencionado, o efeito estufa da Terra é um processo natural e essencial para a vida no planeta. No entanto, não é um processo imutável e mudanças na composição química da atmosfera implicam em mudanças no próprio efeito estufa.

Dessa forma, a preocupação não é o efeito estufa e sim a mudança dos gases de efeito estufa, que há anos vêm aumentando sua concentração na atmosfera terrestre.

A partir da revolução industrial houve uma modificação na composição química da atmosfera terrestre, especialmente em relação à concentração de gases de efeito estufa (Junges, *et. al.*, 2018), como citado no início da seção 2.8.6 o registro do aumento de temperatura global.

No início da revolução industrial a concentração atmosférica de dióxido de carbono era de aproximadamente  $280\text{ ppmv}$  ( $1\text{ ppmv} = 1$  parte por milhão por volume, ou seja, 1 mililitro de gás por metro cúbico de ar). Atualmente essa concentração gira em torno de  $380\text{ ppmv}$ , e é previsto que até 2050 esse nível seja elevado para cerca de  $450\text{ ppmv}$  (BOTKIN E KELLER, 2018).

A concentração de metano na atmosfera mais que dobrou nos últimos 200 anos. Certas bactérias, que só vivem em ambientes sem oxigênio, produzem e liberam metano. Estas bactérias vivem nos intestinos de cupins e ruminantes (que produzem metano à medida que digerem alimento). O metano também é liberado pela infiltração dos campos de petróleo (BOTKIN E KELLER, 2018). Ações humanas como aterros sanitários, queima de biocombustíveis, produção de carvão e gás natural, por exemplo, contribuem para o aumento do metano na atmosfera.

Os clorofluorcarbonos (CFCs) são compostos utilizados em latas de *spray* como propelente de aerossóis e cada molécula de CFC pode absorver centenas e vezes mais radiação infravermelha proveniente da Terra do que é absorvido por uma molécula de dióxido de carbono (BOTKIN E KELLER, 2018). No ano de 1987, 24 países assinaram o protocolo de Montreal para reduzir e eliminar a produção de CFCs até o ano de 2000.

A concentração de óxido nitroso está crescendo na atmosfera e pode corresponder por 5% do efeito estufa antropogênico. Como fontes antropogênicas (causadas pela ação humana) de óxido nitroso incluem a aplicação de fertilizantes na agricultura e a queima de combustíveis fósseis (BOTKIN E KELLER, 2018).

Aumentando a concentração de gases do efeito estufa, aumentará a capacidade da atmosfera em absorver radiação infravermelha. Dessa forma, o aumento da concentração dos gases de efeito estufa dificultará a saída de radiação no topo da atmosfera, produzindo um desequilíbrio entre o fluxo de entrada e saída da radiação.

Para reestabelecer o equilíbrio entre a entrada e saída de radiação a temperatura do planeta aumentará, tendo como resultado o aquecimento global.

Esse aquecimento leva a mudanças nos padrões climáticos e na frequência e intensidade das tempestades, ao aumento do nível do mar, derretimento das geleiras, mudanças na diversidade biológica e mudanças na biosfera.

## **CAPÍTULO 3 – PRODUTO EDUCACIONAL e SUA APLICAÇÃO**

Neste capítulo está apresentado o produto educacional estruturado em uma sequência didática para o ensino de conceitos de termologia como calor e as formas de propagação, e o Efeito estufa.

### **3.1 - JUSTIFICATIVA**

Os conteúdos abordados na disciplina de Física são vistos por grande parte dos alunos como algo difícil, pois muitas vezes são apresentados por meio de cálculos e equações sem interação com o cotidiano do estudante. Desse modo acreditamos que para despertar o interesse pela disciplina faz-se necessário contemplar assuntos mais próximos do cotidiano deles. O Efeito Estufa é um tema multidisciplinar e sua abordagem completa requer a contribuição de diversas disciplinas para a discussão tanto dos aspectos políticos, como dos científicos. Assim, a sequência didática apresentada permite a compreensão científica básica do fenômeno. De acordo com as competências específicas citadas na BNCC:

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoam processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global. (BRASIL, 2018, p.540).

Dessa forma, no estudo da temática “Aquecimento Global”, propomos o estudo da Física envolvida no efeito estufa, entendendo o fenômeno como um mecanismo importante na regulação da temperatura do planeta e os processos que alteram essa temperatura.

### **3.2 - OBJETIVO GERAL**

Por meio da Aprendizagem Significativa trabalhar os conceitos de calor e a Física envolvida no fenômeno do efeito estufa direcionada ao aquecimento global aos alunos do Ensino Médio.

### **3.3 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS**



- Que o aluno entenda o conceito de calor e suas formas de propagação, comparando os conteúdos da disciplina e os fenômenos cotidianos;
- Entenda sobre o fenômeno Efeito Estufa e o Aquecimento Global;
- Entenda a Física envolvida no fenômeno do Efeito Estufa, a importância na regulação da temperatura do planeta e os processos que causam alteração nesta temperatura;

### 3.4 - SEQUÊNCIA DIDÁTICA

O Produto Educacional foi desenvolvido em uma sequência didática de sete aulas síncronas de cem minutos, para ser aplicado no 1º ano do ensino médio, podendo também ser aplicado no 3º ano como uma revisão de conteúdos e abordagem da Física Moderna. Devido à pandemia do Covid-19, foi aplicado de forma híbrida, com alunos presentes em sala de aula e em vídeo chamada.

No momento da aplicação do Produto Educacional, os alunos estavam retornando para as aulas presenciais, no entanto, alguns não se sentiam confortáveis ao retorno presencial e participaram das aulas por meio de vídeo chamada.

As atividades a serem desenvolvidas em cada aula aplicadas no Produto Educacional apresentam-se no Quadro 3.1:

**Quadro 3.1** – Sequência didática constando das atividades a serem desenvolvidas em cada aula.

<b>Cronograma</b>	<b>Desenvolvimento</b>
Aula 01 (100 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicação do questionário prévio.</li> </ul>
Aula 02 (100 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitura de texto 01: “O calor como Energia”;</li> <li>• Simulação: Transferência de Calor:            Propagação de Calor por Condução: Energy2D. V3.03:examples/conduction1.e2D            Propagação de Calor por Convecção: Energy2D. V3.03:examples/natural-convection-temperature.e 2D            Propagação de Calor por Radiação: Energy2D. V3.03:examples/concovie.e2D</li> </ul>
Aula 03 (100 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Experimentos sobre as formas de propagação de calor e discussão sobre as observações;</li> <li>• Leitura do texto 02: Calor e Garrafa Térmica com ampola.</li> </ul>
Aula 04 (100 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitura do texto 03: Efeito Estufa;</li> <li>• Exposição de conteúdo: Intensidade de Energia Solar; Energia Refletida (albedo); Taxa de Energia Absorvida; Taxa de Energia Emitida; Temperatura de Equilíbrio; Temperatura Média de Superfície; Lei de Stefan-Boltzmann</li> <li>• Dedução da equação;</li> <li>• Atividade.</li> </ul>

Aula 05 (100 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitura do texto 04: Efeito Estufa: Conceitos Básicos</li> <li>• Exposição de conteúdo: Gases de Efeito Estufa; Radiação na faixa de comprimento do infravermelho; Lei de Wien; Espectroscopia do infravermelho; Espectroscopia do infravermelho na molécula de dióxido de carbono.</li> <li>• Pesquisa sobre o comprimento e frequência de ondas eletromagnéticas;</li> <li>• Simulação do efeito estufa, disponível no site PHET: <a href="https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse">https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse</a> HYPERLINK  <a href="https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&amp;locale=pt_BR">"https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&amp;locale=pt_BR"&amp;</a> HYPERLINK  <a href="https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&amp;locale=pt_BR">"https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&amp;locale=pt_BR"</a> locale=pt_BR.</li> </ul>
Aula 06 (100 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Leitura do texto 05: Efeito Estufa e Aquecimento Global;</li> <li>• Retomada dos conteúdos abordados;</li> <li>• Experimento utilizando o programa Arduino IDE, análise e conclusão do experimento.</li> </ul>
Aula 07 (100 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retomada dos conteúdos;</li> <li>• Aplicação do questionário final.</li> </ul>

Fonte: a autora (2021).

### 3.5 - RELATO DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O PE foi desenvolvido com alunos do primeiro ano do Ensino Médio da escola pública no segundo semestre de 2021. Devido à pandemia do Covid-19, foi aplicado de forma híbrida.

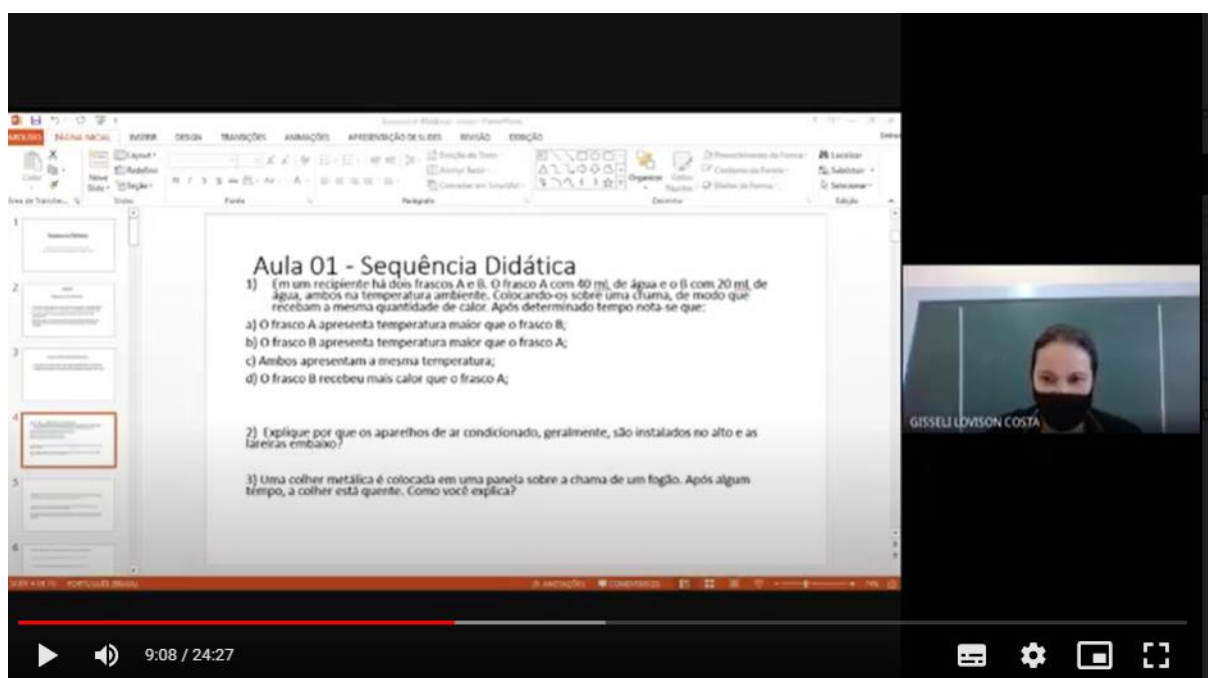
A seguir, serão apresentados o relato da aplicação de cada aula.

#### 3.5.1 - AULA 01: INVESTIGAÇÃO INICIAL

Na primeira aula, realizada no dia 03 de agosto de 2021, haviam 27 alunos matriculados. Esta foi desenvolvida de forma híbrida, com a participação de 12 alunos, sendo 2 alunos participando presencialmente e 10 alunos participando por vídeo chamada. Os demais, estavam com materiais impressos (7 alunos) e 8 alunos ausentes.

Na ocasião, foi explicado sobre o Programa de Mestrado Nacional do Ensino de Física, com o intuito de expor o objetivo do Produto Educacional, assim como, a importância da participação e o comprometimento de todos os estudantes durante o desenvolvimento do trabalho. O questionário inicial foi aplicado na plataforma *classroom* para os alunos que estavam participando da vídeo chamada. Para os alunos do presencial, o questionário foi entregue e recolhido no final da aula.

Figura 3.1 - Cópia da tela do registro de um momento da Aula 01.



Fonte: arquivos da autora (2021).

As questões foram lidas uma a uma pela docente com os alunos, explicando por exemplo, que na Questão 1 o termo “determinado tempo” é durante a transição de temperatura, ou seja, antes de atingir o equilíbrio térmico.

A seguir apresenta-se o questionário e as respostas de todas as questões estão apresentadas no Apêndice I.

### Questionário

- 1) Em um recipiente há dois frascos A e B. O frasco A com 40 mL de água e o B com 20 mL de água, ambos na temperatura ambiente. Colocando-os sobre uma chama, de modo que recebam a mesma quantidade de calor, após determinado tempo nota-se que:
  - a) A frasco A apresenta temperatura maior que o frasco B;
  - b) A frasco B apresenta temperatura maior que o frasco A;
  - c) Ambos apresentam a mesma temperatura;
  - d) O frasco B recebeu mais calor que o frasco A;
  
- 2) Explique por que os aparelhos de ar condicionado, geralmente, são instalados no alto e as lareiras embaixo?
  
- 3) Uma colher metálica é colocada em uma panela sobre a chama de um fogão. Após algum tempo, a colher está quente. Como você explica?

- 4) Imagine a situação: Você está saindo de casa, em um dia de verão, com uma roupa preta. Sua avó, ao te ver, fala: “Hoje está muito quente, coloca uma camiseta clara”. Você sabe explicar o porquê desta recomendação?
- 5) Em dias de frio intenso é possível nos aquecermos em uma fogueira, qual o processo de propagação de calor envolvido?
- 6) A temperatura do café se mantém aproximadamente constante no interior de uma garrafa térmica perfeitamente vedada. Como você explica esse isolamento?
- 7) Sobre o Aquecimento Global, o que causa esse fenômeno?
- 8) Sobre o efeito estufa, você sabe descrever o que é esse fenômeno?
- 9) O fenômeno Efeito Estufa é prejudicial para a vida na Terra?

Em seguida, foi feito um estudo sobre as respostas do questionário, identificando os conhecimentos prévios dos estudantes para a necessidade de utilizar organizadores prévios nas futuras aulas.

### 3.5.2 - AULA 02: LEITURA DE TEXTO: “O CALOR COMO ENERGIA” E SIMULAÇÃO TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A segunda aula, com duração de 100 minutos, foi realizada no dia 04 de agosto de 2021 com a participação de 14 alunos. Nesta data haviam matriculados 26 alunos, desses, 2, estavam participando presencialmente e 12 participando por vídeo chamada, 6 ausentes e 6 no material impresso.

Por meio da leitura compartilhada do texto “O Calor como Energia” a professora expôs o conteúdo sobre a Teoria do Calórico, Equilíbrio Térmico e as formas de propagação de calor.

#### **Texto 01 – Calor como energia - A Teoria do Calórico**

Quando analisamos o conceito de equilíbrio térmico, observamos que, se dois objetos a temperaturas diferentes são colocados em contato, eles atingem, após um certo tempo, a mesma temperatura. Até o início do século XIX os cientistas explicavam esse fato supondo que todos os objetos continham, em seu interior, uma substância fluida, invisível, de massa desprezível, denominada

calórico. Quanto maior fosse a temperatura de um objeto, maior seria a quantidade de calórico em seu interior.

De acordo com esse modelo, quando dois objetos, a temperaturas diferentes, eram colocados em contato, haveria passagem de calórico do objeto mais quente para o mais frio, acarretando diminuição de temperatura do primeiro e aumento na temperatura do segundo. Quando os objetos atingiam a mesma temperatura, o fluxo de calórico era interrompido eles permaneceriam, a partir daquele instante, em equilíbrio térmico.

Apesar de esta teoria explicar satisfatoriamente muitos fenômenos, alguns físicos mostravam-se insatisfeitos com certos aspectos fundamentais da ideia do calórico, o que levou à sua substituição por outra, mais adequada, na qual o calor é considerado uma forma de energia.

A ideia de que o calor é energia foi introduzida por Rumford, em engenheiro militar que, em 1798, trabalhava na perfuração de canos de canhão. Observando o aquecimento das peças ao serem perfuradas, Rumford percebeu que era possível atribuir esse aquecimento ao trabalho que era realizado contra o atrito, na perfuração. Em outras palavras, a energia empregada na realização daquele trabalho era transferida para as peças, provocando a elevação de suas temperaturas. Portanto, a antiga ideia de que os objetos mais aquecidos possuíam maior quantidade de calórico começava a ser substituída pela concepção de que esses objetos possuem, realmente, maior quantidade de energia.

A divulgação dessa hipótese provocou muitas discussões entre os cientistas do século XIX. Alguns deles realizaram experiências que vieram a confirmar as suposições de Rumford. Entre eles, devemos destacar James P. Joule (1818-1889), pois foram experiências realizadas por ele que acabaram estabelecendo, definitivamente, que o calor é uma energia.

Atualmente, considera-se que, quando a temperatura de um objeto é aumentada, a energia que ele possui em seu interior, denominada energia interna, também aumenta. Se esse objeto é colocado próximo ou em contato com outro, de temperatura mais baixa, haverá transferência de energia do primeiro para o segundo. Essa energia é denominada calor. Portanto, o conceito de calor passou a ser o seguinte: Calor é a energia transferida de um objeto para outro em virtude, unicamente, de uma diferença de temperatura entre eles.

Existem três mecanismos de transferência de energia na forma de calor: condução, convecção e radiação.

Se deixarmos uma panela com cabo no fogo, por algum tempo, o cabo fica tão quente quanto a região que está próxima ao fogo. A energia é transferida da panela para o cabo por condução. Os elétrons dos átomos da panela vibram intensamente por causa da temperatura a que estão expostos. Essas vibrações e a energia associada, são transferidas para o cabo por colisões entre os átomos.

Convecção é um tipo de transferência de energia que ocorre quando um fluido entra em contato com um objeto cuja temperatura é maior que a do fluido. A temperatura da parte do fluido que está em contato com o objeto quente aumenta e, parte desse fluido se expande, ficando menos densa. Como o fluido expandido é mais leve do que o fluido que o cerca, que está mais frio, a força de empuxo o faz subir. O fluido mais frio escoia para tomar o lugar do fluido mais quente que sobe, e processo pode continuar indefinidamente.

Um sistema e um ambiente podem trocar energia através de ondas eletromagnéticas. As ondas eletromagnéticas que transferem calor são chamadas de radiação térmica. Quando nos aproximamos de uma fogueira, há um aquecimento por meio da radiação térmica proveniente do fogo, ou seja, nossa energia térmica aumenta ao mesmo tempo em que a energia térmica do fogo diminui. Não sendo necessário um meio material para que o calor transferido por radiação se propague. O calor do Sol chega até a Terra através do vácuo.

A radiação emitida por um corpo devido a sua temperatura também é chamada de radiação térmica. Todo corpo emite esse tipo de radiação para o meio, e dele a absorve. Se um copo está mais quente que o meio, irá se esfriar, porque sua taxa de emissão de energia excede a taxa de absorção. Quando o equilíbrio térmico é atingido essas taxas ficam iguais.

REFERÊNCIAS:

LUZ, A.M.R.; ÁLVARES, B.A.; GUIMARÃES, C.C. Física: contexto e aplicações: ensino médio. Página 57. 2. Ed. São Paulo: Scipione, 2016.

HALLIDAY, D. Fundamentos de física, volume2: gravitação, ondas e termodinâmica. 10. Ed. Rio de Janeiro, LTC: 2020.

Na sequência, foram realizadas simulações sobre as formas de propagação de calor por meio do programa *Energy2D1 – Interactive Heat Transfer Simulations for Everyone* ((Simulações interativas de transferência de calor para todos) do *National Science Foundation – The Concord Consortium (EUA)*).

Devido à pandemia, os alunos não compartilhavam objetos e não trabalhavam em grupos. Não havendo computador para todos, a simulação foi realizada pela professora (autora da presente dissertação). Os alunos que estavam presentes em sala de aula, observaram essas simulações por meio de um televisor acoplado ao computador da professora. Os que estavam na vídeo chamada, acompanharam por meio da mesma.

Com o auxílio do texto “O Calor como Energia”, cuja leitura foi realizada pelos alunos, foi visto sobre a Teoria do Calórico e sua substituição pela ideia de que calor é uma energia. Em seguida, exposto o conteúdo sobre Equilíbrio Térmico e a denominação atual de que calor é uma energia transferida de um objeto para outro em virtude, unicamente, da diferença de temperaturas entre eles.

Explanando o conteúdo sobre calor, foi perguntado aos alunos se saberiam dizer o que era temperatura. Um aluno respondeu que: “Temperatura é frio”. Depois completou que “Temperatura é a medida do clima”. Assim explicou-se, então que, a temperatura mede a agitação das moléculas e o calor é a energia transferida de um objeto a outro por causa de suas diferentes temperaturas.

Continuando a leitura do texto, de que a propagação de calor pode ocorrer de três maneiras: Condução, convecção e radiação, foi perguntado, se alguém saberia comentar sobre o assunto. Um aluno disse que, sabia o que era condução, mas somente conseguiria explicar sobre radiação: “Radiação estava relacionado a energia do Sol e ao lixo químico”. E completou que: “Condução são os ferrinhos que conduzem energia”. Foi explicado ao aluno, que a condução que estudaríamos seria a condução de energia em forma de calor, que a explicação dele estava correta, porém, iríamos complementar e aprofundar o estudo.

Foi exposto o conteúdo sobre as formas de transmissão de energia, iniciando com a condução. Usando como exemplo uma panela com cabo, ambos compostos de metal, nota-se que, ao aquecer o fundo desse objeto, após determinado tempo, tanto o cabo como a panela inteira atingem a mesma temperatura. Nesse caso, o calor é conduzido por meio do metal, que é considerado um bom condutor de calor.

Perguntando aos alunos: se você colocasse uma colher dentro de uma panela e a panela colocada sobre o fogo, após determinado tempo, o que aconteceria com a colher? Responderam que ficaria quente. Entendeu-se então, que após algum tempo, as moléculas do material que estão em contato com o fogo, vibrariam e conduziriam calor até o cabo.

Em seguida, chegou-se a conclusão, que os metais, em geral, são bons condutores de energia térmica enquanto que o tecido, a lã, são maus condutores de energia térmica, chamados de isolantes. Indagando aos alunos por que eles estavam usando roupa de frio (neste dia, a temperatura ambiente estava em torno de 12°C), disseram que era para proteger-se, aquecer-se, tornando os mais elegantes. Neste momento, deu-se a entender que a roupa não aquece, ela é apenas um isolante térmico, dificultando que o corpo humano, com temperatura de aproximadamente 36°C, entre em equilíbrio térmico com o meio, neste caso, com temperatura de 12°C, e que para entrar em equilíbrio o calor seria transferido do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura. Sendo assim, a roupa de frio não deixa que a energia do seu corpo seja transferida para o meio. Um aluno perguntou “o que era o meio”. Foi explicado que o meio a que nos referíamos era o meio externo, o ambiente. Ele disse que entendeu.

Para a explicação da transferência de calor por convecção, foi perguntado se sabiam o que era fluido. Um aluno respondeu que “fluido era líquido”. Foi esclarecido

que fluidos são líquidos e gases e que na transferência de calor por convecção, esses fluidos, quando se dilatam, ficam menos densos. Perguntando, o que era densidade, um aluno respondeu que era “energia”. Neste momento foi explicado sobre densidade usando exemplos de objetos que afundam ou flutuam, quando colocados em um recipiente contendo água.

Usando como exemplo um aparelho de ar condicionado, que fica, geralmente, instalado na parte superior de um cômodo, foi explicado sobre as correntes de convecção, onde o ar resfriado, de maior densidade, desce e, o ar de menor densidade ocupa a parte superior do cômodo até ser resfriado e descer, formando correntes de convecção. Deu-se a entender que esse tipo de transferência de calor só ocorre em fluidos. Um aluno disse que compreendeu perfeitamente o conceito e perguntou sobre o aquecedor. Outro aluno disse que “a mesma coisa é com a lareira, tem que ficar na parte inferior do cômodo”.

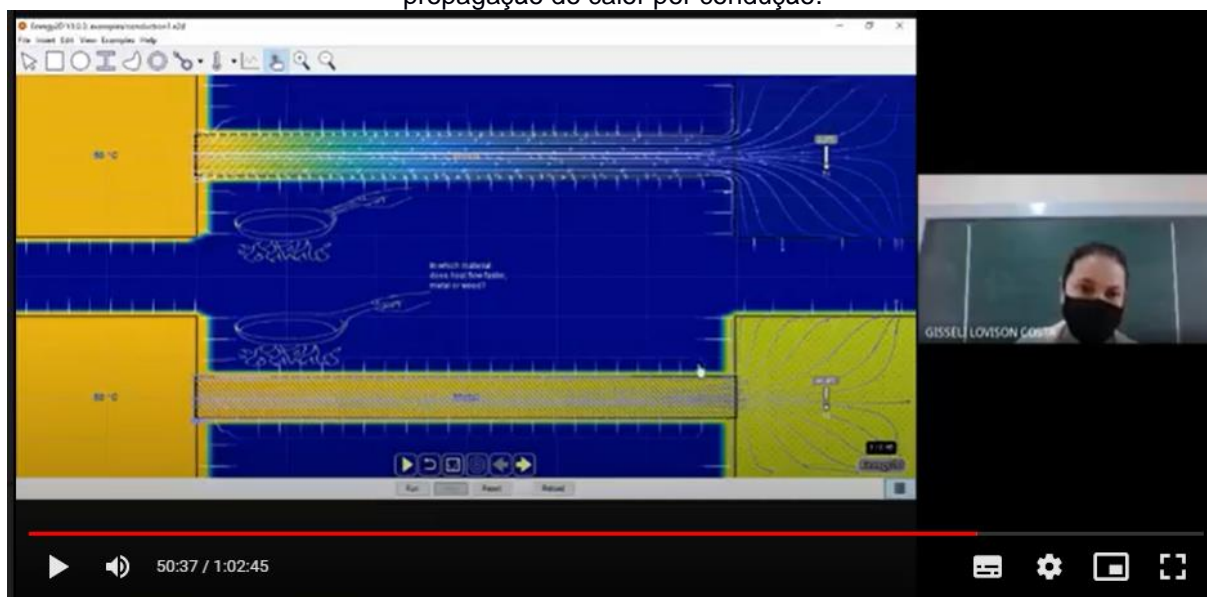
Prosseguindo a leitura do texto, a professora explicou que as ondas eletromagnéticas, não necessitam de um meio material para se propagarem. Que entre o Sol e Terra há o vácuo, e mesmo assim, essas ondas chegam até a Terra. Outro exemplo usado, foi de uma fogueira acesa e alguém próximo a ela, recebendo calor por meio de ondas eletromagnéticas. Foi explicado também, sobre a taxa de emissão e absorção de energia e que um corpo pode receber e emitir radiação ao mesmo tempo.

Na sequência, foi exposto que os objetos de cores claras refletem energia e que os objetos de cores escuras, absorvem mais energia, sendo que o objeto que absorve mais energia apresenta maior temperatura.

Continuando a aula, foi utilizado o simulador Energy-2D (disponível para *download* em <https://energy.concord.org/energy2d/download.html>). Na barra de menu superior em *examples* (exemplos) pode-se escolher o que se deseja simular, como sobre a propagação de calor por meio da condução, convecção e radiação. Na Figura 3. apresenta-se o registro da docente trabalhando com os alunos sobre condução no item *Conduction* e depois selecionado *Comparing thermal conductors* (comparando condutores térmicos). No simulador há duas painéis, uma com cabo de madeira e outra com cabo de metal. Inicialmente as chamas estão a 50°C. Após colocar para rodar (*run*) explicou-se o processo de condução de calor que ocorria em ambos os cabos.



**Figura 3.2** - Cópia da tela da aula 02: Trabalhando com o simulador para a explicação do conceito de propagação do calor por condução.



Fonte: arquivos da autora (2021).

O fechamento da aula ocorreu com uma revisão do conteúdo ministrado na aula.

### 3.5.3 - AULA 03: EXPERIMENTO PROPAGAÇÃO DE CALOR E LEITURA DO TEXTO: “CALOR E GARRAFA TÉRMICA”.

Aula realizada no dia 10 de agosto de 2021, com 26 matriculados, estando 4 participando presencialmente, 12 por vídeo chamada, 5 no material impresso e 5 ausentes.

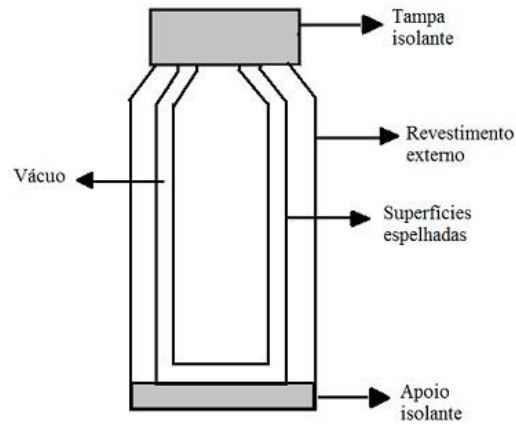
A aula iniciou com uma rápida revisão sobre os conteúdos de Calor e Propagação de Calor. Com o apoio do texto: “Calor e Garrafa Térmica” (Texto 02, foi explicado as formas de propagação de calor, que dificultam o equilíbrio térmico entre o líquido no interior de uma garrafa térmica e o meio externo.

#### **Texto 02 - Calor e Garrafa Térmica**

A garrafa térmica é construída de tal forma que evita a ocorrência desses processos de trocas de calor. Veja<sup>2</sup> a Figura 01:

<sup>2</sup> A numeração das Figuras seguirá da forma entregue aos alunos.

Figura 01 - Desenho ilustrativo da Garrafa térmica e suas partes.



Fonte: <https://www.preparaenem.com/fisica/garrafa-termica.htm>

A garrafa térmica é construída de forma a evitar trocas de calor por convecção, irradiação e condução

Como podemos ver na Figura 01, a garrafa térmica é constituída por duas camadas, como se uma garrafa estivesse dentro da outra e ambas utilizassem o mesmo gargalo. Essas camadas são feitas de um material isolante térmico, normalmente o vidro. Cada uma de suas partes tem uma função:

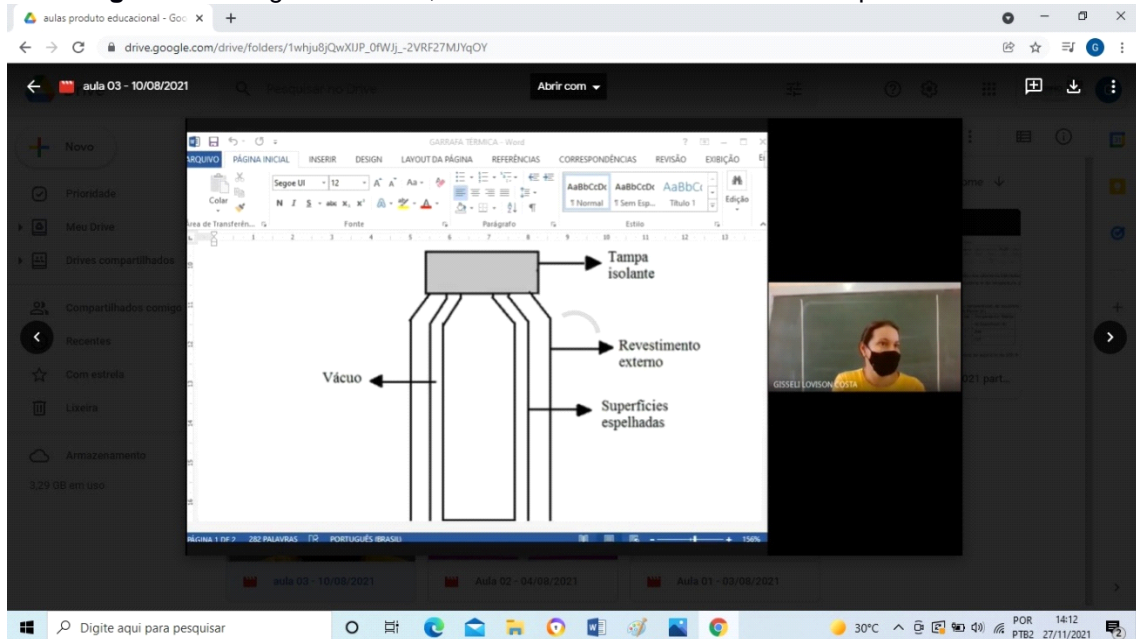
- O vácuo entre as duas camadas tem o objetivo de evitar que ocorra a condução, pois esse processo de troca de calor necessita de um meio material para acontecer;
- As superfícies espelhadas das camadas internas evitam que aconteça troca de calor por irradiação térmica, pois elas “refletem” as ondas de calor novamente para que a temperatura seja mantida;
- A tampa feita por material isolante evita que haja contato entre o ar e o líquido no interior da garrafa, assim, não ocorre a convecção. Caso houvesse contato do ar com o líquido quente ou frio de dentro da garrafa, o movimento do ar faria com que ocorresse a convecção.

Fonte: <https://www.preparaenem.com/fisica/garrafa-termica.htm> - acesso em maio/2021

Portanto, nesta aula, explorou-se os processos de radiação, condução, e convecção conforme a teoria apresentada no Capítulo 2, em uma garrafa térmica. A docente levou uma garrafa térmica de ampola para que os alunos visualizassem a garrafa citada no texto

A Figura 3.3 apresenta o registro de um momento da aula.

**Figura 3.3** - Registro da aula, transmitida de forma remota sobre parte da Aula 03.



Fonte: arquivos da autora (2021).

Realizou-se na sequência um experimento sobre cada um desses processos conforme exposto a seguir.

### **Experimento 01 - Forma de propagação de calor por meio da Condução**

#### **• Materiais utilizados**

- ❖ Suportes (2 canecas de cerâmica);
- ❖ Haste de metal (1 régua de aço inox de 30cm);
- ❖ Parafina (da própria vela);
- ❖ 2 Pregos (ou parafusos com cabeça);
- ❖ 2 Velas.
- ❖ 1 caixa de fósforo ou 1 isqueiro

#### **• Procedimento**

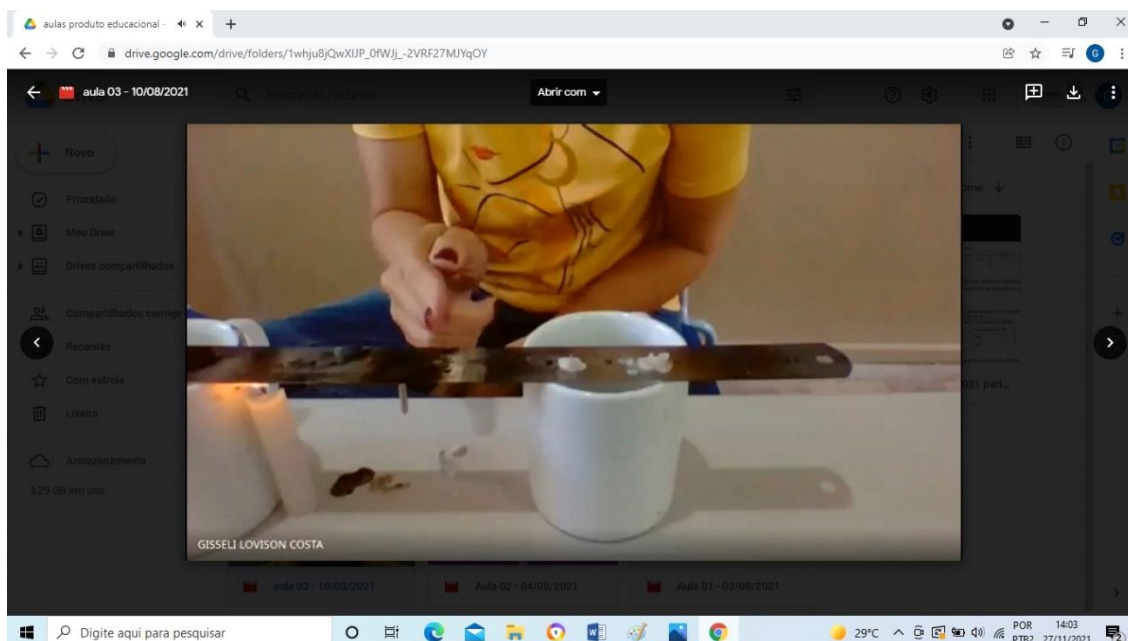
Os pregos são presos pela “cabeça” na haste de metal com parafina e as extremidades da haste apoiada sobre um suporte (em cada caneca) com os pregos apontados para a mesa. Em seguida, uma das extremidades do metal é colocada em contato com a chama de uma vela, posicionando na sua parte inferior. Figura 3.4.

Observa-se que os pregos soltaram da haste de metal, primeiro o que estava mais próximo da chama.

**Fonte:** experimento adaptado de SPACHI, P. Condução de calor. 2009 Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=dazOL4t9uFQ>.

Na imagem da Figura 3.4 apresenta-se a docente realizando o experimento na sala de aula e transmitindo pelo *google meet* aos alunos, em que uma régua de metal têm suas extremidades apoiadas em duas canecas uma de cada lado. A vela acesa encontra-se embaixo da régua em uma de suas extremidades e observa-se o que ocorre com os pregos grudados na parte inferior da régua com parafina.

**Figura 3.4** - Cópia da tela do experimento Propagação de calor por meio da condução apresentado na Aula 03.



**Fonte:** arquivos da autora (2021).

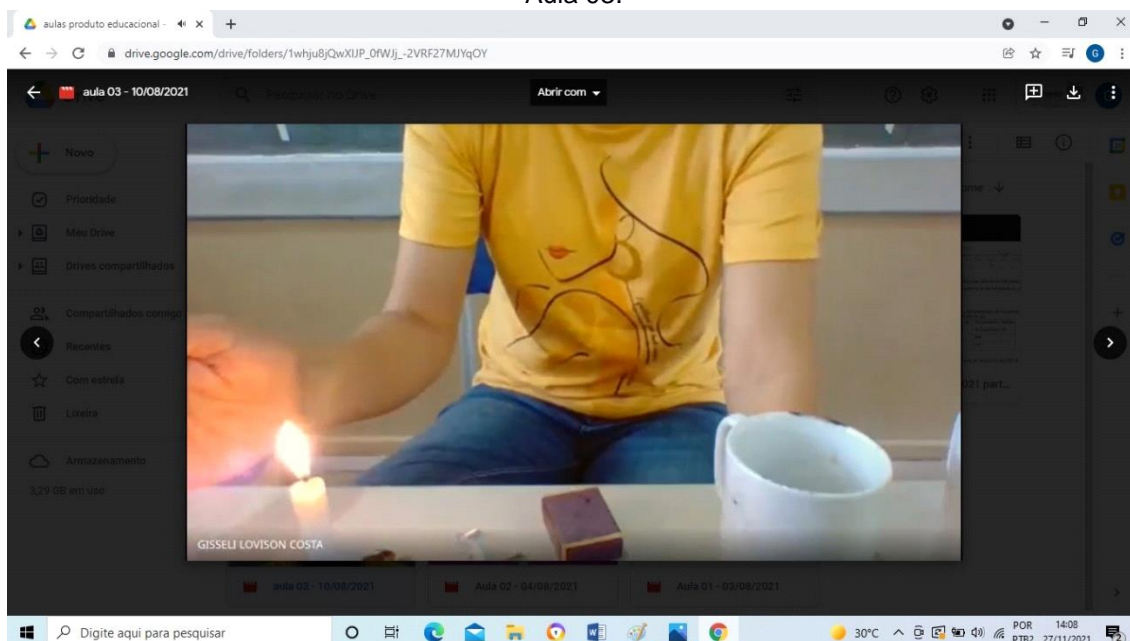
- **Conclusão**

A propagação de calor foi conduzida pelo metal da extremidade de maior temperatura para a de menor temperatura.

### **Experimento 02 - Forma de propagação de calor por meio da radiação**

O segundo experimento realizado explicou sobre a propagação de calor por meio da Radiação (Figura 3.5).

**Figura 3.5** - Cópia da tela do experimento Propagação de calor por meio da radiação apresentado na Aula 03.



Fonte: arquivos da autora (2021).

- **Materiais utilizados**
  - ❖ Vela;
  - ❖ 1 caixa de Fósforo.
  - ❖ 1 base para fixar a vela
- **Procedimento**

Acenda a vela e vire de lado deixando pingar um pouco de parafina, fixe a base da vela nessa parafina. Com a vela acesa, coloca-se a mão próxima às chamas.

Fonte: adaptado de Lopes, H. Experimento – propagação de calor -irradiação. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=cHuCEJkZRgA>

- **Conclusão**

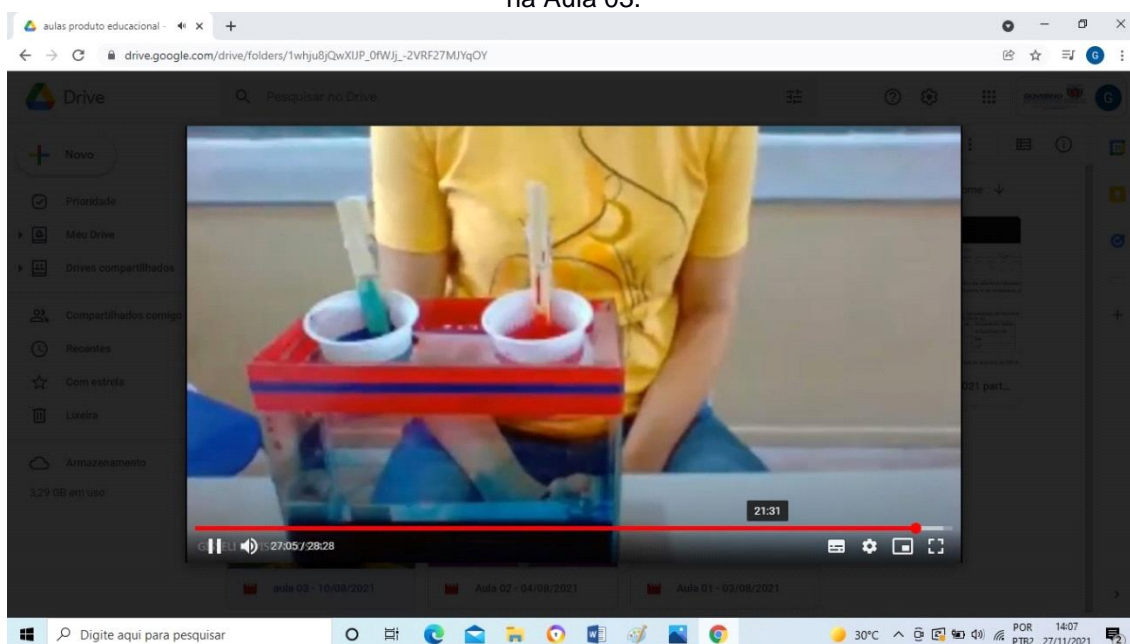
A transferência de calor entre a chama da vela e a mão ocorre por meio da propagação de calor pelo processo de radiação.

Como esse processo os alunos que acompanhavam de forma remota não podem sentir a transmissão de calor a docente explicou o que ocorria com exemplos como uma chama acesa no fogão, ou em uma churrasqueira.

### **Experimento 03 - Propagação de calor por meio da convecção**

O terceiro experimento (Figura 3.6) foi realizado para explicar a propagação de calor por convecção.

**Figura 3.6** - Cópia da tela do experimento Propagação de calor por meio da convecção apresentado na Aula 03.



Fonte: arquivos da autora (2021).

- **Materiais utilizados**

- ❖ Recipiente de vidro transparente;
- ❖ 2 copos descartáveis pequenos;
- ❖ 2 pregadores de madeira;
- ❖ Corante azul;
- ❖ Corante vermelho;
- ❖ Água na temperatura ambiente;
- ❖ Água quente (a docente levou na garrafa térmica utilizada na explicação do texto 02);
- ❖ Água fria;

❖ Agulha de costura.

- **Procedimento**

Coloca-se em um reservatório água limpa e em temperatura ambiente. Na parte superior desse reservatório, dois copos descartáveis com pequenos orifícios feitos com agulha de costura, fixos por pregadores de madeira. Em um desses copos coloca-se água fria e corante azul e no outro água quente e corante vermelho.

**Fonte:** Adaptado de De Carli, E. (2014) Correntes de convecção na água. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4Ms4ww2qZv0>

- **Conclusão**

A água quente (colorida de vermelho) ocupa a parte inferior do recipiente e a água fria (colorida de azul) a parte superior, sem misturar, concluindo que a densidade das águas quente e fria são diferentes, ocorrendo uma corrente de convecção.

O fechamento da aula ocorreu com a discussão dos experimentos apresentados.

### 3.5.4 - AULA 04: LEITURA DO TEXTO: “EFEITO ESTUFA” E EXPOSIÇÃO DE CONTEÚDOS

Aula realizada no dia 11 de agosto de 2021, com 3 alunos participando no presencial, 12 por vídeo chamada, 5 por meio de material impresso e 6 ausentes.

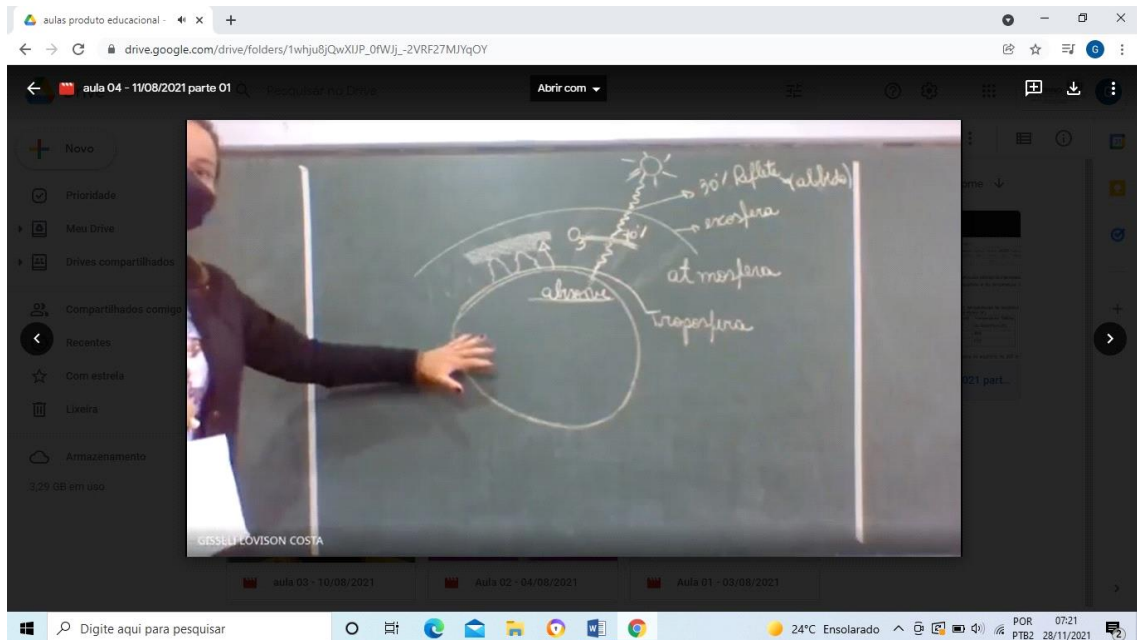
A aula iniciou perguntando aos alunos quais são as formas de propagação de calor estudadas anteriormente. Um dos alunos presentes esclareceu sobre o assunto da aula anterior.

De imediato, foi explicado sobre a diferença entre temperatura e calor, perguntando, se naquele momento, o corpo humano estava recebendo ou cedendo calor. A temperatura ambiente, neste dia, estava baixa, um aluno aproveitou para dizer, ironicamente, que estava recebendo calor.

Com o auxílio do texto: “Efeito Estufa”, Texto 03, foi exposto, na lousa (Figura 3.7), o conteúdo sobre Intensidade de energia solar, energia refletida, taxa de energia absorvida e emitida. Quando explicado sobre a porcentagem de energia absorvida

pelo planeta Terra (aproximadamente 70%), um aluno afirmou que a energia refletida seria aproximadamente 30%.

**Figura 3.7** - Cópia da Tela da aula 04: explicação do conteúdo sobre efeito estufa na Terra.



Fonte: arquivos da autora (2021).

### **Texto 03 - Efeito Estufa**

A Terra recebe energia do Sol e deve reemitir energia de volta para o espaço, de outro modo, se tornaria cada vez mais quente. Assim, deve existir uma temperatura de equilíbrio para a qual a taxa de energia absorvida é igual à taxa de energia emitida. A única forma de transferência de energia entre o Sol e a Terra é na forma de ondas eletromagnéticas.

A quantidade de energia refletida pelo planeta é conhecida como albedo do planeta.

Assim, a taxa de energia absorvida pelo planeta é obtida multiplicado a intensidade de energia solar ( $I$ ) pela área do disco com o raio do planeta, descontando o valor do albedo ( $\alpha$ ) do planeta:

$$\text{Taxa de energia absorvida} = \pi R^2 \times \text{Intensidade de energia solar} \times (1 - \text{albedo})$$

$$\text{Taxa de energia absorvida} = \pi R^2(1 - \alpha)$$

Se o planeta absorve energia ele deve reemitir-la de volta para o espaço na mesma taxa. Para determinar a taxa que os planetas emitem energia de volta para o espaço, recorre-se à lei de Stefan-Boltzmann: a intensidade ( $I$ ) de energia emitida por um corpo é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta desse corpo:

$I = \sigma T_e^4$  (em que  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2$  é conhecida como constante de Boltzmann e  $T_e$  é a temperatura de equilíbrio do planeta dada em Kelvin).



Assim, para obter a taxa total de energia emitida por um planeta é preciso multiplicar a intensidade (I) pela área da superfície do planeta:

$$\text{Taxa de energia emitida} = 4\pi R^2 T_e^4$$

A Temperatura de equilíbrio ( $T_e$ ) do planeta, pode ser calculada pela expressão matemática:

Taxa de Energia Absorvida = Taxa de energia Emitida

$$\pi R^2 I (1 - \alpha) = 4\pi R^2 T_e^4$$

$$I(1 - \alpha) = 4T_e^4$$

$$(I(1 - \alpha))/4 = T_e^4$$

$$T_e = \sqrt[4]{(I(1 - \alpha))/4}$$

A Tabela 01 apresenta um comparativo dos valores da Intensidade (I), albedo ( $\alpha$ ), e valores da temperatura de equilíbrio e da temperatura de superfície para o planeta Terra e Vênus.

Tabela 01. Valores da intensidade (I), albedo ( $\alpha$ ), temperaturas de equilíbrio e temperaturas de superfície de alguns planetas em Kelvin (K).

Planeta	Intensidade (W/m <sup>2</sup> )	Albedo	Temperatura de Equilíbrio (K)	Temperatura Média de Superfície (K)
Terra	1360	0,3	255	288
Vênus	2600	0,77	226	737

Observando o valor da temperatura de equilíbrio de 255 K (-18°C), não poderia existir a vida nesse planeta, podendo existir espessas camadas de gelo nos continentes. Porém, a temperatura média de superfície é de 288 K (15°C). Assim, temos uma distinção entre temperatura de equilíbrio e temperatura de superfície do planeta.

Um planeta que possui uma atmosfera substancial (espessa contendo gases de efeito estufa), a radiação emitida pela superfície é absorvida por sua atmosfera antes que ela alcance o espaço exterior.

Na Terra, a concentração de gases atmosféricos é dominada por nitrogênio (78%) e oxigênio (21%), argônio (0,9%) e gases de efeito estufa como o dióxido de carbono (0,037%). O dióxido de carbono, junto com outros gases estufa como o vapor d'água, metano e óxido nitroso, são responsáveis por aumentar a temperatura da Terra em cerca de 30°C acima da temperatura de equilíbrio.

**Fonte:** JUNGES, A.L.; SANTOS, V.Y.; MASSONI, N.T. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**. 13.v, nº 5, 2018. p.126-151.

O conteúdo sobre Temperatura de equilíbrio, Temperatura média de superfície do Planeta, Lei de Stefan-Boltzmann continuou sendo explicado e, na lousa, foi realizada a dedução da equação matemática usada para calcular a temperatura média de equilíbrio do planeta.

Durante a dedução da equação usada para calcular a Temperatura de equilíbrio,  $T_e = \sqrt[4]{((I(1 - \alpha))/4)}$ , um aluno pediu que explicasse novamente. Após a explicação, disse que havia compreendido.

Explicando sobre a diferença entre a temperatura de equilíbrio e a temperatura média de superfície dos planetas Terra e Vênus, foi introduzido o assunto sobre os gases de efeito estufa e a importância de um planeta possuir uma atmosfera substancial (espessa e que contém gases de efeito estufa), sendo o efeito estufa um processo natural devido à presença desses gases.

Foi realizada a atividade 01, onde efetuariam cálculos determinando a Temperatura de equilíbrio do Planeta Mercúrio. Um aluno disse que não conseguiria realizar os cálculos sozinho, recebendo ajuda da professora na resolução da equação.

### **Atividade 01**

Por meio da equação deduzida e dados os valores do albedo e da Intensidade de Energia Solar, calcular a temperatura de equilíbrio do Planeta Mercúrio.

Planeta	Intensidade (W/m <sup>2</sup> )	Albedo	Temperatura de Equilíbrio (K)	Temperatura Média de Superfície (K)
Mercúrio	9080	0,07		440

Resolveram os cálculos chegando no valor de 439 K. A professora realizou, na lousa, a conversão da unidade de temperatura de Kelvin para Celsius, apresentando um valor de 166°C. Encerrando a aula.

### **3.5.5 - AULA 05: LEITURA DO TEXTO “EFEITO ESTUFA: CONCEITOS BÁSICOS”, EXPOSIÇÃO DE CONTEÚDO E SIMULAÇÃO EFEITO ESTUFA**

A quinta aula, com duração de 100 minutos, realizada no dia 08 de setembro de 2021, teve a participação de 23 alunos, sendo 9 no presencial e 14 por meio de vídeo chamada.

Por meio da leitura compartilhada entre os alunos do texto “Efeito Estufa: Conceitos Básicos”, estudou-se conteúdos sobre os principais gases de efeito estufa, Lei de Wien e o espectro do infravermelho na molécula de dióxido de carbono. Foi

proposta uma pesquisa na *internet*, com o auxílio de celulares, sobre frequência e comprimento de onda.

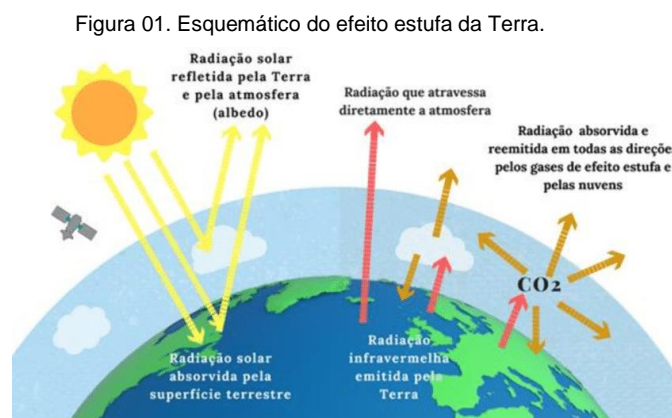
### **Texto 04 - Efeito Estufa: Conceitos Básicos**

Os primeiros estudos sobre o efeito estufa da Terra são de Fourier, que em 1824 apresentou um artigo a *Académie Royale des Sciences* em Paris, de que a atmosfera teria um papel relevante na temperatura planetária.

O fato de que a atmosfera se torna mais opaca à radiação infravermelha do que à luz visível eram desconhecidos por Fourier.

Em 1859, John Tyndall, concluiu que gases como o dióxido de carbono e o vapor d'água exibiam propriedades de absorção da radiação infravermelha, enquanto que o oxigênio, nitrogênio e hidrogênio não exibiam as mesmas propriedades.

Atualmente, sabemos que os principais gases de efeito estufa na Terra são: vapor d'água, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, CFCs e Ozônio. Esses gases tem a propriedade de ser ativos radioativamente na faixa de comprimentos de ondas longos, absorvendo radiação na faixa do comprimento de onda do infravermelho. Ao mesmo tempo, são transparentes à radiação de comprimentos de onda curtos como a radiação visível, absorvendo pouca ou quase nenhuma radiação visível. Ou seja, a radiação visível proveniente do Sol atinge com facilidade a superfície da Terra, mas a radiação infravermelha reemitida pela Terra para o espaço encontra dificuldade em atravessar a atmosfera, conforme ilustrado na Figura 01.

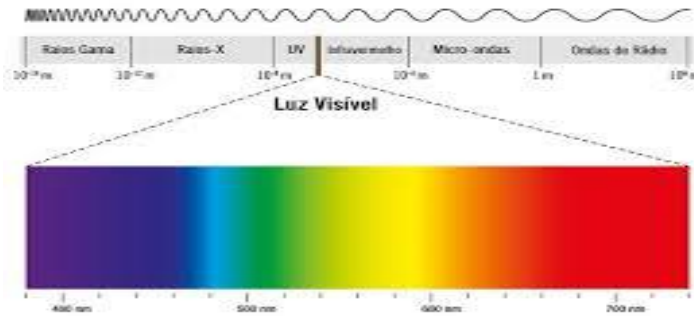


Fonte: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Desenho-esquematico-do-efeito-estufa-da-Terra-10\\_fig3\\_33360952](https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Desenho-esquematico-do-efeito-estufa-da-Terra-10_fig3_33360952)

Observando a Figura 01, a maior parte (aproximadamente 70%) da radiação visível proveniente do Sol entra no sistema terrestre (o restante, cerca de 30% são refletidos e compõem o albedo). Quando aquecida, a Terra reemite para o espaço radiação infravermelha que é absorvida pelos gases estufa. Após absorverem, os gases estufa reemitem novamente radiação infravermelha em todas as direções. Parte dessa radiação perdida para o espaço e parte é retida na baixa atmosfera. Com a presença dos gases de efeito estufa há perda de radiação infravermelha para o espaço, tornando a baixa atmosfera mais quente do que estaria na ausência desses gases.

Todo corpo com a temperatura acima da temperatura conhecida como “temperatura absoluta” emite radiação na forma de ondas eletromagnéticas (Figura 02). A potência da radiação e o tipo de radiação emitida (comprimento de onda da radiação) dependem da temperatura que o corpo se encontra e podem ser determinadas por meio de duas leis físicas: Lei de Stefan-Boltzmann e a Lei de Wien.

Figura 02 - Escala de radiações eletromagnéticas



Fonte: <https://www.todamateria.com.br/espectro-eletromagnetico/>

A lei de Wien relaciona a temperatura absoluta e o comprimento de onda de máxima intensidade que um corpo emite.

Lei de Wien

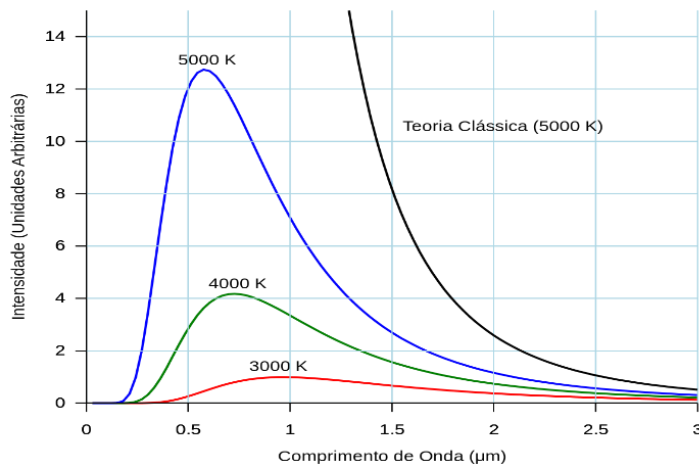
$$\lambda_{max} = \frac{2,8976 \times 10^{-3}}{T}$$

Lei de Stefan-Boltzmann

$$I = \sigma T^4$$

A Figura 03 ilustra o comportamento da Intensidade da radiação emitida versus o comprimento de onda para um corpo negro ideal.

Figura 03. Intensidade da radiação emitida versus o comprimento de onda para um corpo negro ideal.

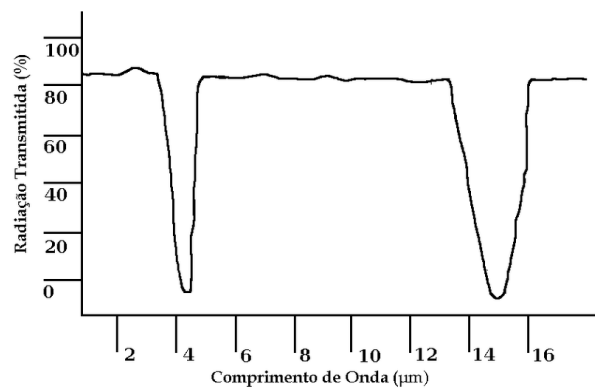


Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Corpo\\_negro](https://pt.wikipedia.org/wiki/Corpo_negro)

A diferença entre os picos de emissão (comprimento de onda de máxima intensidade) do Sol e da Terra. O Sol com sua temperatura de superfície de aproximadamente 5 700 K, emite energia na faixa de comprimento da luz visível ( $\sim 0,5\mu m$ ). A Terra que possui temperatura média de superfície de 288 K tem seu pico de emissão na faixa de comprimento de onda do infravermelho ( $\sim 10\mu m$ ).

Por meio da espectroscopia vibracional entendemos por que o dióxido de carbono é um gás de efeito estufa. A espectroscopia vibracional trata da espectroscopia do infravermelho na faixa entre  $1\mu m$  a  $100\mu m$ .

Figura 04. Representação das bandas de absorção do dióxido de carbono.



Fonte: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Representacao-das-bandas-de-absorcao-do-dioxido-de-carbono-15\\_fig5\\_333609522](https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Representacao-das-bandas-de-absorcao-do-dioxido-de-carbono-15_fig5_333609522)

A Figura 04 é uma representação do espectro do infravermelho da molécula de dióxido de carbono. Existem duas linhas, também chamada de bandas de absorção, localizadas a  $4,2\mu m$  e  $15\mu m$ , onde a intensidade da radiação transmitida cai drasticamente. Quando uma radiação infravermelha incide sobre uma amostra de dióxido de carbono, os comprimentos de onda de  $4,2\mu m$  são absorvidos pelo gás. O dióxido de carbono é opaco e não deixa passar a radiação com comprimento de onda em torno de  $4,2\mu m$ .

O efeito estufa da Terra é um processo natural essencial para a vida no planeta. Porém, não é um efeito imutável e mudanças na composição química da atmosfera implicam em mudanças no efeito estufa.

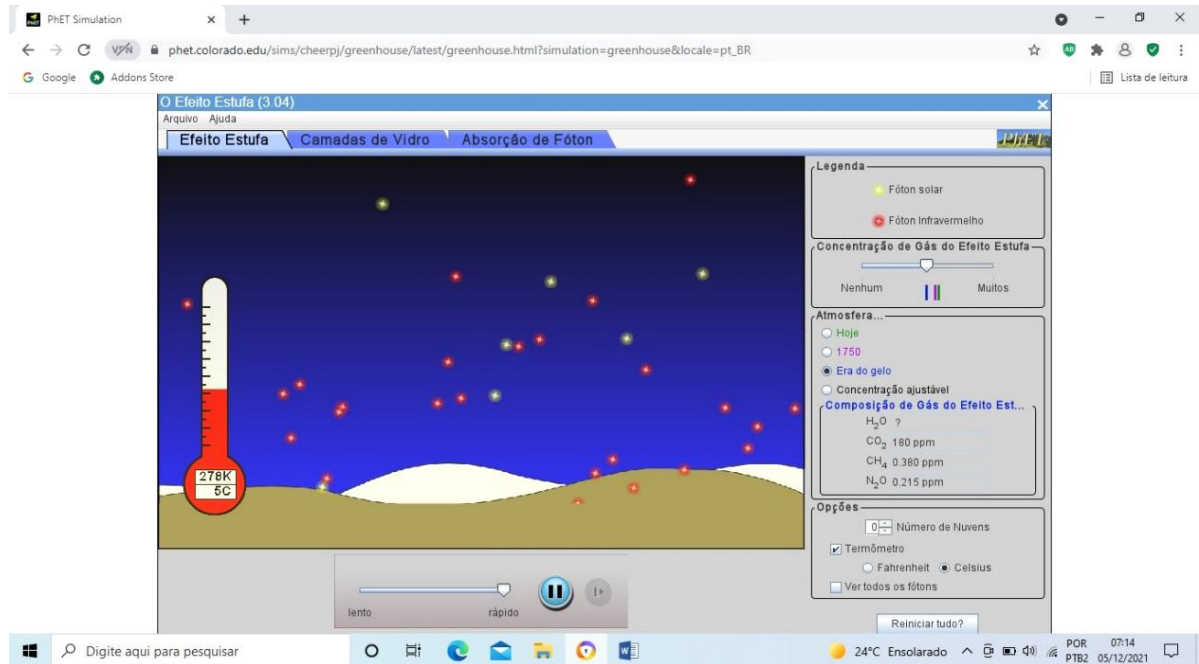
Aumentando a concentração de gases estufa aumentará a capacidade da atmosfera em absorver radiação infravermelha. Assim, o aumento da concentração de gases estufa dificulta a saída da radiação, produzindo um desequilíbrio entre o fluxo de entrada e saída de radiação.

**Fonte:** JUNGES, A.L.; SANTOS, V.Y.; MASSONI, N.T. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**. 13.v, nº 5, 2018. p.126-151.

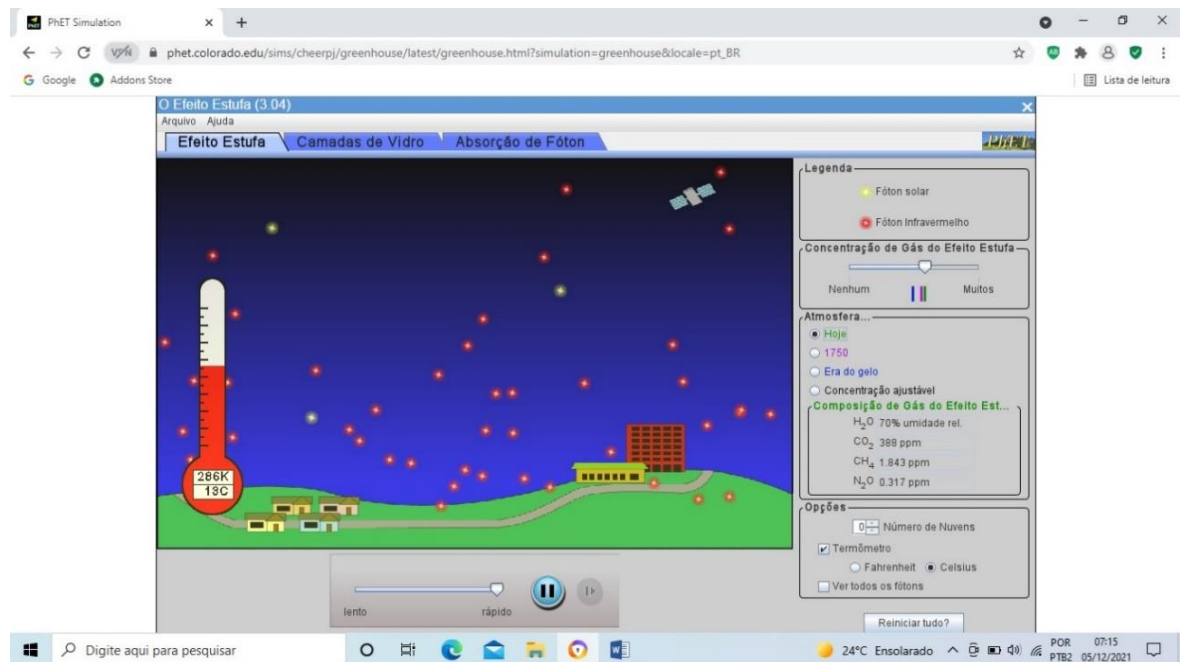
Na sequência, realizou-se uma simulação relacionando o aumento dos gases do efeito estufa e a temperatura do planeta. No simulador, do [site https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulatio](https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulatio)

[n=greenhouse](#), é possível aumentar a concentração de gases de efeito estufa, nuvens e observar a alteração da temperatura do planeta, conforme ilustrados na Figura 3.8 (a), (b) e (c).

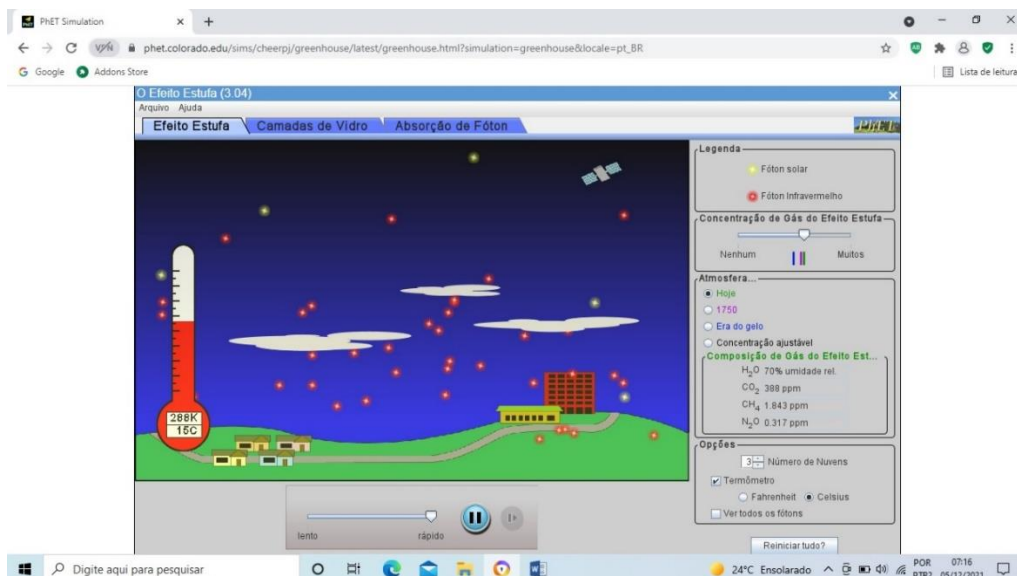
**Figura 3.8** - Cópia da Tela Simulação do Efeito Estufa (a) durante a era do gelo, e (b) nos dias atuais, e (c) nos dias atuais, com a existência de nuvens.



(a)



(b)



(c)

**Fonte:** <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse>

### 3.5.6 - AULA 06: LEITURA DO TEXTO: “EFEITO ESTUFA E AQUECIMENTO GLOBAL”, EXPOSIÇÃO DE CONTEÚDO E EXPERIMENTO COM ARDUINO

A sexta aula, com duração de 100 minutos, realizada no dia 22 de setembro de 2021, teve a participação de 19 alunos. Iniciou-se com a leitura do texto “Efeito Estufa e Aquecimento Global” compartilhada pelos alunos. Houve um diálogo sobre as políticas adotadas para a redução dos gases de efeito estufa, com questionamentos e uma grande participação da turma.

#### **Texto 05 – Efeito Estufa e Aquecimento Global**

O Efeito Estufa é um processo natural essencial para a vida no planeta. Embora seja um processo natural da Terra, o efeito estufa não é um fenômeno imutável e mudanças na composição química da atmosfera implicam em mudanças do efeito estufa.

Um aumento da quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera da Terra, dificultará a saída de energia, aumentando o efeito estufa. Assim, o planeta precisará esquentar de modo a reequilibrar o fluxo de saída de energia.

Atualmente, é reconhecido pela comunidade científica que a humanidade, a partir da revolução industrial, modificou a composição química da atmosfera, especialmente a concentração de gases de efeito estufa. Essas modificações são resultantes de processos como a queima de combustíveis fósseis (petróleo e carvão), desmatamento e uso da terra através da agricultura e pastagens.

Cientistas já observam que o aumento da temperatura média do planeta tem elevado o nível do mar devido ao derretimento das calotas polares, podendo ocasionar o desaparecimento de ilhas e

idades litorâneas densamente povoadas. E há previsão de uma frequência maior de eventos extremos climáticos (tempestades tropicais, inundações, ondas de calor, seca, nevascas, furacões, tornados e tsunamis) com graves consequências para populações humanas e ecossistemas naturais, podendo ocasionar a extinção de espécies de animais e de plantas.

No Brasil, as mudanças do uso do solo e o desmatamento são responsáveis pela maior parte das nossas emissões e faz o país ser um dos líderes mundiais em emissões de gases de efeito estufa. Isto porque as áreas de florestas e os ecossistemas naturais são grandes reservatórios e sumidouros de carbono por sua capacidade de absorver e estocar CO<sup>2</sup>. Mas quando acontece um incêndio florestal ou uma área é desmatada, esse carbono é liberado para a atmosfera, contribuindo para o efeito estufa e o aquecimento global. Mas as emissões de Gases de Efeito Estufa por outras atividades como agropecuária e geração de energia vem aumentando consideravelmente ao longo dos anos. Por conta do desenvolvimento industrial, os países desenvolvidos tem sido responsáveis pela maior parte das emissões desses gases, mas os países em desenvolvimento vêm aumentando consideravelmente suas emissões. Atualmente, a China ocupa o primeiro lugar do ranking, seguido por Estados Unidos, União Europeia e pelo Brasil.

A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, em inglês) é uma base de cooperação internacional em que os seus países membros buscam estabelecer políticas para reduzir e estabilizar as emissões de gases de efeito estufa em um nível na qual as atividades humanas não interfiram seriamente nos processos climáticos. Foram estabelecidos acordos para a redução da emissão desses gases de efeito estufa:

Protocolo de Kyoto: Acordado em 1997 para reduzir a emissão de gases de efeito estufa, com duração no período de 2008 e 2013 e que teve seu protocolo estendido até 2020 com a Emenda de Doha, em 2012;

Plataforma de Durban: Criada em 2011, durante a COP21, para negociar e reger as medidas de mitigação da mudança climática a partir de 2020, e que entrou em vigor em novembro de 2016.

O Acordo de Paris é um compromisso mundial para a adoção de políticas climáticas para a redução de emissão de gases de efeito estufa a partir de 2020, substituindo o Protocolo de Kyoto. Foi negociado durante a realização da COP21 (21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima), em dezembro de 2015. O acordo foi assinado por 95 países participantes. No ato, todos esses países se comprometeram com metas para manter o aquecimento global abaixo de 2°C, limitando-se a 1,5°C. O acordo entrou em vigor em novembro de 2016.

#### **Fontes:**

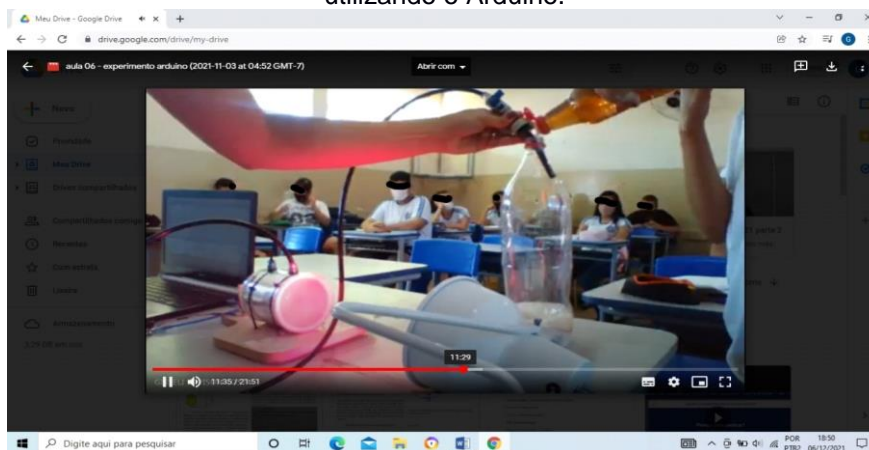
Acordo de Paris: o que é, como surgiu e tratados ambientais. FIA. Disponível em: <<https://fia.com.br/blog/acordo-de-paris/>>. Acesso em: maio/2021.

As mudanças climáticas. WWF. Disponível em: <[https://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/reducao\\_de\\_impactos2/clima/mudancas\\_climaticas2/](https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/mudancas_climaticas2/)>. Acesso em: maio/2021.



Na sequência foi realizado o experimento (Figura 3.9) que teve por objetivo demonstrar a absorção de radiação infravermelha pelo dióxido de carbono.

**Figura 3.9** - Cópia de tela da aula registrada por meio de vídeo gravado da aula do experimento 04 sobre a absorção da radiação infravermelha pelo dióxido de carbono simulando o efeito estufa utilizando o Arduino.



Fonte: arquivos da autora (2021).

### **Experimento 04 - Absorção de radiação infravermelha pelo dióxido de carbono.**

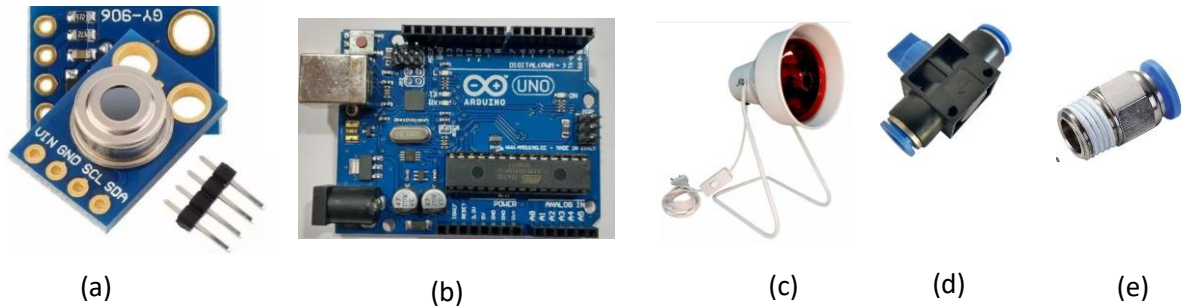
Demonstração da absorção de radiação infravermelha pelo dióxido de carbono, proposto por Junges *et. al* (2020). Alguns materiais estão apresentados na Figura 3.10.

- **Materiais utilizados:**

- ❖ Lâmpada de infravermelho (cerâmica de 100 W);
- ❖ Sensor de temperatura infravermelho sem contato (MLX90614);
- ❖ Arduino UNO;
- ❖ Lata com as dimensões de 10 cm de diâmetro e altura de 12 cm (material latão);
- ❖ Filme plástico de polietileno;
- ❖ Garrafa plástica (PET) de 2 litros;
- ❖ Dióxido de carbono produzido por reação de vinagre e bicarbonato de sódio;
- ❖ Válvula de bloqueio de engate rápido pneumático 8 mm;
- ❖ Conector de engate rápido pneumático 8 mm;
- ❖ Mangueira pneumática 8 mm x 600 mm;
- ❖ Suporte para lâmpada;

- ❖ Suporte de madeira para o reservatório e o sensor;
- ❖ Fita adesiva.

**Figura 3.10** - Imagem fotográfica do (a) sensor de temperatura de infravermelho; (b) Arduino Uno, (c) lâmpada infravermelho; (d) Válvula de bloqueio de engate rápido pneumático, e (e) conector e engate. Imagens fora de dimensão.

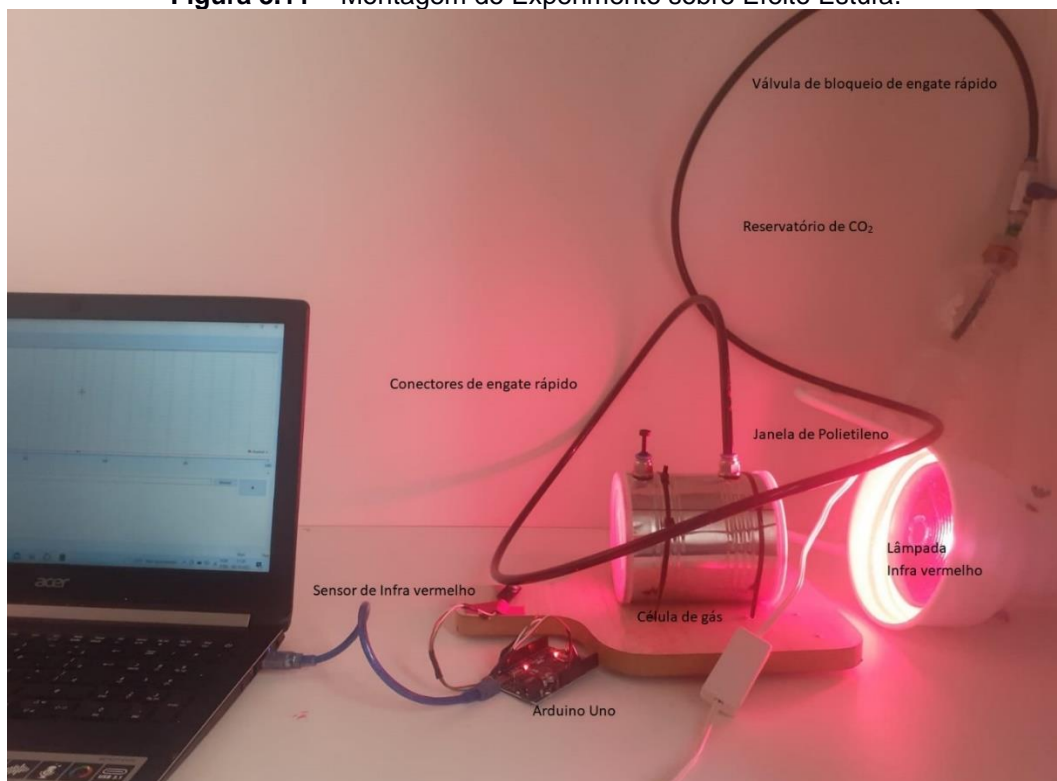


Fonte: sites comerciais da internet.

- **Montagem experimental**

Na Figura 3.11 está apresentada a montagem experimental e identificado as suas partes.

**Figura 3.11** – Montagem do Experimento sobre Efeito Estufa.



Fonte: arquivos da autora (2021).

Para a célula de gás utilizou-se uma lata de material latão de 10 cm de diâmetro e altura de 12 cm, aberta nas bases com um abridor de latas e fechada com um filme plástico de polietileno, fixo por fita adesiva. A célula de gás foi fixa em um suporte de madeira. Na parte superior da lata foram feitas duas aberturas e conectados os “conectores de engate rápido”.

O dióxido de carbono foi produzido com bicarbonato de sódio e vinagre, armazenado na garrafa Pet. Na tampa da garrafa foi acoplada a “válvula de bloqueio rápido” que permite a conexão com a mangueira pneumática a ser conectada aos “conectores de engate rápido” da célula de gás. O uso da válvula permite que somente após a reação química do vinagre com o bicarbonato de sódio seja liberada o gás produzido para a célula de gás, no momento do experimento.

O sensor de temperatura MLX90614 foi utilizado junto a um microcontrolador Arduíno Uno acoplado a um computador. A intensidade da radiação de infravermelha recebida pelo sensor foi convertida em dados de temperatura exibidos na tela do computador. A lâmpada de infravermelho foi ligada a 30 cm da célula de gás, e o sensor de temperatura fixado a 10 cm da célula de gás.

- **Procedimento**

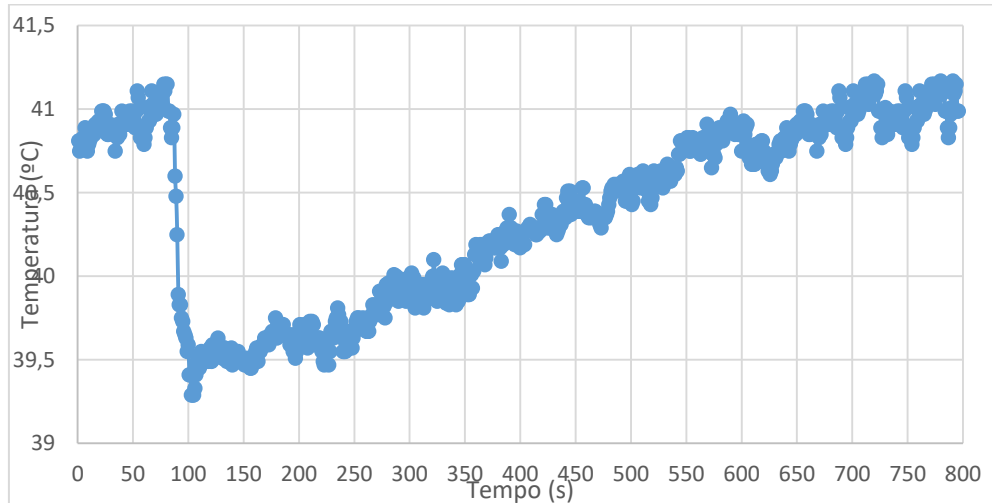
O experimento faz uso de uma lâmpada de infravermelho e um sensor de temperatura de infravermelho. Entre a lâmpada e o sensor há uma célula de gás onde será inserido o dióxido de carbono. Inicialmente, a temperatura medida pelo sensor é da intensidade da radiação da lâmpada de infravermelho que após atravessar a célula de gás atinge o sensor de temperatura. Após inserir o dióxido de carbono na célula de gás é detectada a diminuição da temperatura medida pelo sensor. O dióxido de carbono, dentro da célula de gás, absorve parte da radiação emitida pela lâmpada, diminuindo a intensidade da radiação que atinge o sensor. O resultado será captado pelo Arduino e apresentado na tela do computador de forma gráfica.

- **Resultados**

Durante o experimento foi observado que a temperatura inicial era de, aproximadamente, 41°C. Após a adição do dióxido de carbono, produzido por 300 mL de vinagre e 200 gramas de bicarbonato de sódio, a temperatura caiu, aproximadamente, 1,5° C, por 150 segundos, aproximadamente. Após 250 segundos,

com a saída do dióxido de carbono, os valores de temperatura voltaram subir até a temperatura de 41°C, conforme apresentado no gráfico da Figura 3.12.

**Figura 3.12** – Gráfico da Temperatura em função do Tempo coletados no experimento por meio do Arduino.



Fonte: arquivos da autora, 2023.

- **Conclusões**

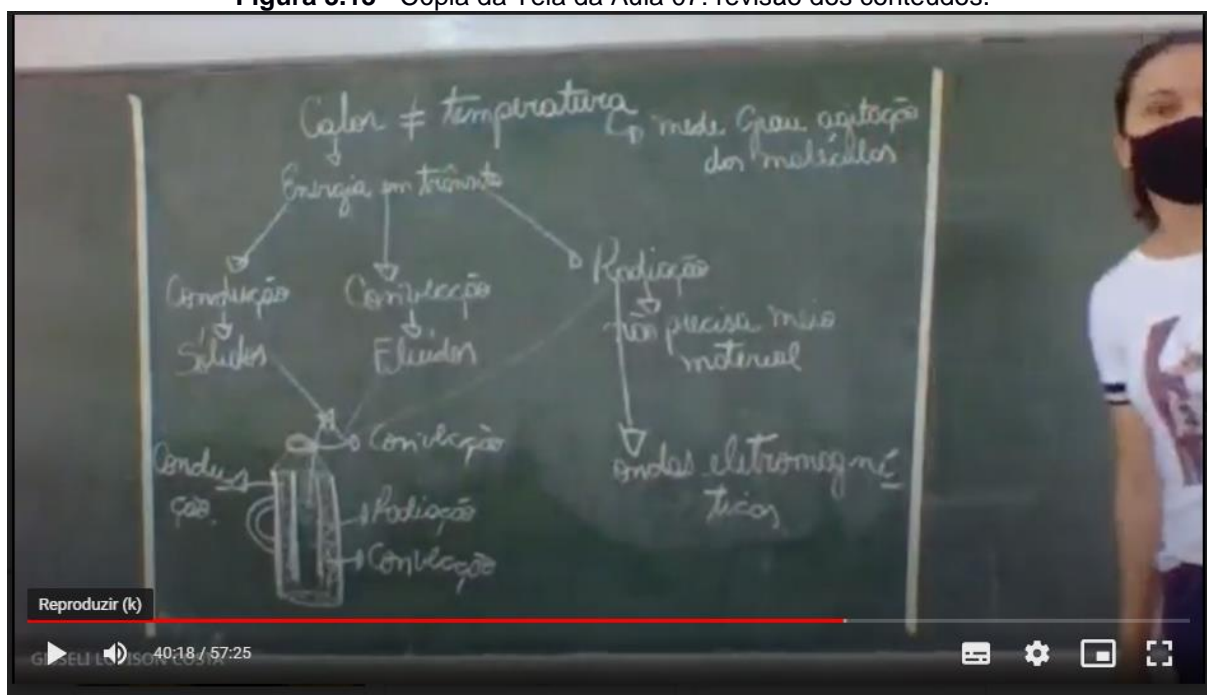
Devido ao dióxido de carbono injetado na célula de gás, houve maior absorção de radiação dentro do reservatório de gás, diminuindo a intensidade da radiação que alcança o sensor. Desse modo, a temperatura registrada pelo sensor, diminuiu, aproximadamente, 1,5°C.

Dessa forma, o aumento da concentração de gases de efeito estufa intensifica o fenômeno de efeito estufa, pois aumenta a absorção de radiação emitida pela Terra, diminuindo a radiação que escapa pelo topo da atmosfera, causando desequilíbrio no balanço de energia planetária, resultando no aquecimento global.

### 3.5.7 - AULA 07: QUESTIONÁRIO FINAL

Na sétima aula, com duração de 100 minutos, houve uma retomada dos conteúdos estudados (Figura 3.13).

**Figura 3.13** - Cópia da Tela da Aula 07: revisão dos conteúdos.



**Fonte:** arquivos da autora (2021).

Na sequência, a explicação da importância do questionário final para o produto educacional e o fechamento da sequência didática com o agradecimento da participação dos estudantes. O questionário foi respondido por 15 alunos.

## CAPITULO 4 - RESULTADOS E ANÁLISES DOS RESULTADOS

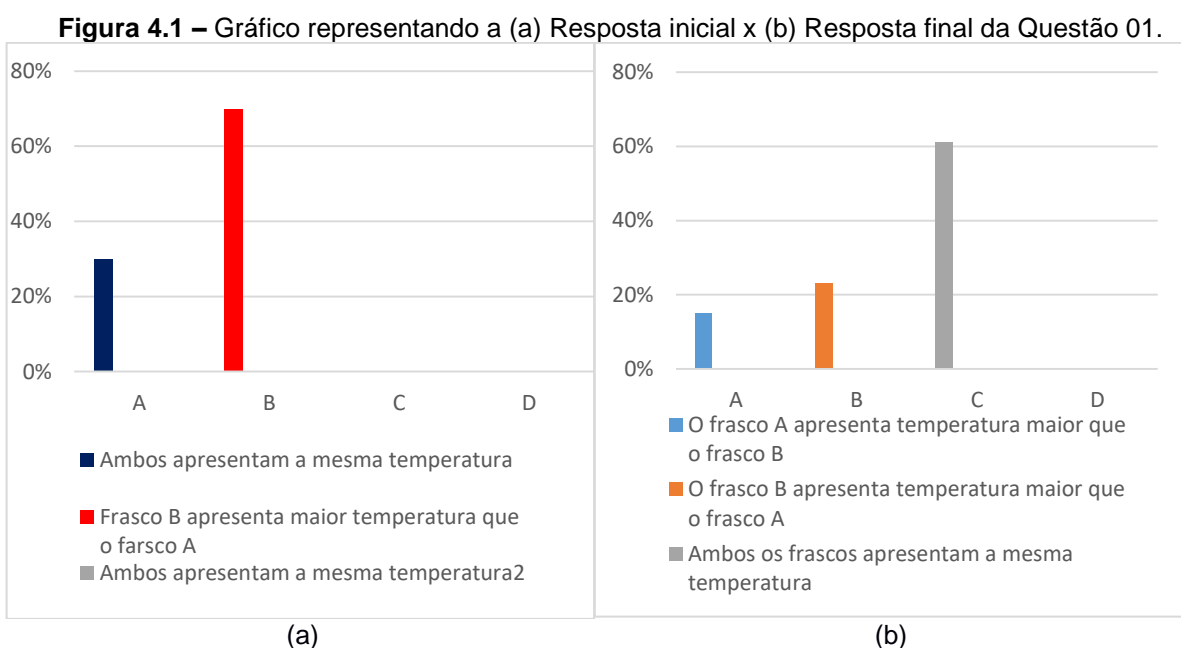
Neste capítulo apresentamos os resultados da aplicação do Produto Educacional. Exceto a primeira questão, que está apresentada de forma quantitativa, as demais foram analisadas qualitativamente. As descrições estão apontadas em forma textual após as respostas dos alunos que estão apresentadas em gráficos. Os resultados estão analisados por questão e no final uma apresentação geral.

### 4.1 – QUESTÃO 01 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL

Ao propor a questão 01, no questionário inicial, a intenção era verificar o que os alunos já sabiam sobre calor e temperatura. Após a aplicação do PE, no questionário final, analisar o entendimento de que a temperatura está relacionada à quantidade de calor recebida, durante determinado tempo. As respostas estão apresentadas na Figura 4.1 (a) e (b).

Questão 01: Em um recipiente há dois frascos A e B. O frasco A com 40 mL de água e o B com 20 mL de água, ambos na temperatura ambiente. Colocando-os sobre uma chama, de modo que recebam a mesma quantidade de calor, após determinado tempo nota-se que:

- a) O frasco A apresenta temperatura maior que o frasco B.
- b) O frasco B apresenta temperatura maior que o frasco A.
- c) Ambos apresentam a mesma temperatura.
- d) O frasco B recebeu mais calor que o frasco A.



Fonte: elaborado pela autora

## 4.2 - QUESTÃO 02 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL

Ao propor a Questão 02, no questionário inicial, a intenção era verificar o que os alunos já sabiam sobre convecção de calor e densidade. Após a aplicação do PE, no questionário final, analisar o que aprenderam sobre densidade e a propagação de calor por meio da convecção.

Questão 02 - Explique por que os aparelhos de ar-condicionado geralmente são instalados no alto e as lareiras embaixo? As respostas estão apresentadas nos Quadros 4.1 e 4.2.

**Quadro 4.1** - Transcrição das respostas iniciais fornecidas pelos alunos referente a Questão 02.

“Porque uma lareira solta mais calor que um ar-condicionado.”
“Não sei.”
“Porque o frio desce e o ar quente sobe.”
“Porque o ar-condicionado joga o ar frio que é mais denso para baixo enquanto o ar quente que é menos denso sobe.”
“No alto é para ficar mais gelado e o baixo para ficar um pouco mais quente.”
“Porque o ar frio desce e o ar quente sobe.”
“Os aparelhos de ar-condicionado são colocados no alto pois o mesmo resfria o ambiente através da corrente de convecção (sic) que ocorre quando liga.”
“Ar-condicionado, então acho que é para que esfrie de cima para baixo onde esfria mais rápido. As lareiras começam esquentar a parte de baixo, o chão que fica frio.”
“Não sei.”
“Não sei.”

Fonte: arquivos da autora (2021)

**Quadro 4.2** – Transcrição das respostas finais fornecidas pelos alunos referente a Questão 02.

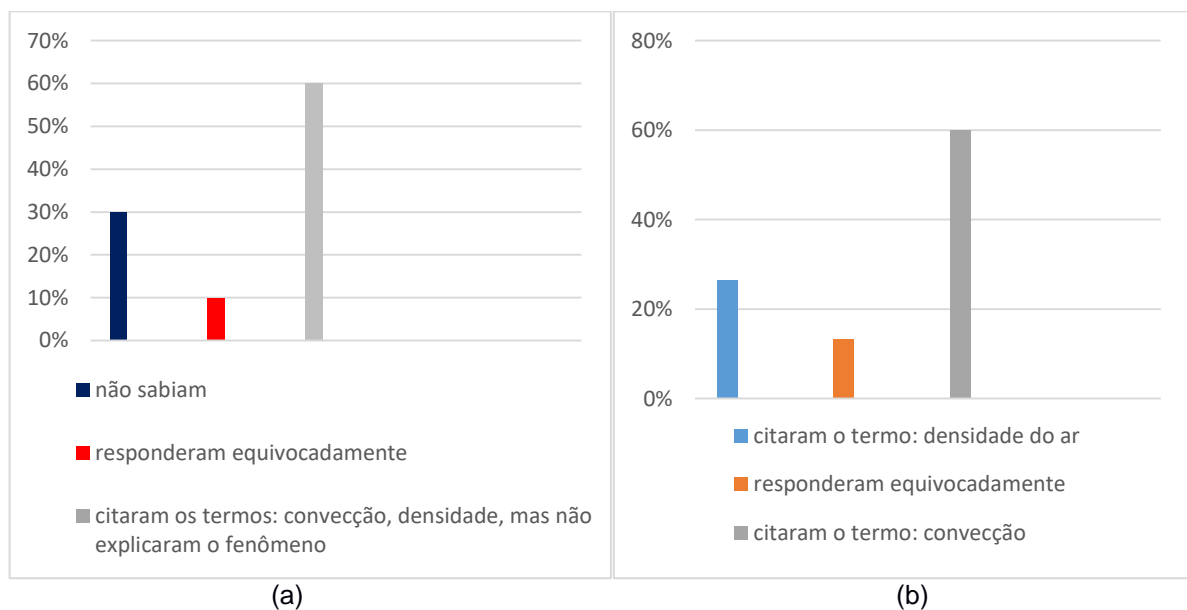
“Porque há corrente de convecção “aonde” o ar quente sobe e o ar frio desce.”
“Porque ele gela o ar de cima para baixo e o a quente sobe e ele gela.”
“Porque o ar frio não se “funde” com o ar quente, daí o ar frio desce e o ar quente sobe, gerando correntes de convecção.”
“O ar que fica em cima congela e ele fica mais condensado ai ele desce.”
“Condicionado se baseia na retirada de ar quente do ambiente e a devolução de ar frio.”
“O ar-condicionado fica no alto para espalhar o ar frio e a lareira fica embaixo para ficarmos mais próximos do calor do mais rápido.”
“Por causa das correntes de convecção.”
“Ar-condicionado: o ar quente sobe e gela; Lareira: o ar frio esquenta.”
“O ar quente sobe e o ar frio desce, gerando correntes de convecção.”
“Porque os ares frios e quentes não se fluem.”

“O ar quente sendo menos denso sobe e o ar frio mais denso, desce formando correntes de convecção, por esse motivo ele é colocado na parte superior da residência.”
“Pois cria uma corrente de convecção, então o ar quente sobe e o ar frio desce.”
“Para circular o ar gelado por meio da convecção.”
“O ar que fica “encima” congela e ele fica mais condensado daí ele desce.”
“O ar frio sobe e o ar quente desce, formando correntes de convecção.”

Fonte: arquivos da autora (2021)

A análise dos resultados apresentados nos Quadros 4.1 e 4.2 de forma gráfica estão apresentados na Figura 4.2 (a) antes da aplicação do PE e (b) após a aplicação.

Figura 4.2 – Gráfico representando a (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da Questão 02.



Fonte: elaborado pela autora (2021)

Analisando as respostas do questionário inicial, nota-se que apenas 60% dos alunos citaram os termos convecção, densidade do ar, mas não explicaram o fenômeno, 30% responderam que não sabiam e 10% responderam equivocadamente.

No questionário final, 60% citaram o termo convecção, 26,6% relacionaram a densidade com o resfriamento do ar, mas não citaram os termos corretos, 13,3% responderam equivocadamente.

Desse modo, de acordo com o apresentado na Figura 4.2 observamos que houve indícios de aprendizagem sobre o conteúdo de transmissão de calor por convecção.



### 4.3 - QUESTÃO 03 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL

Ao propor a Questão 03, no questionário inicial, a intenção era verificar o que os alunos já sabiam sobre condução de calor. Após a aplicação do PE, no questionário final, analisar se conseguem explicar sobre propagação de calor por meio da condução.

Questão 03: Uma colher metálica é colocada em uma panela sobre a chama de um fogão. Após algum tempo, a colher está quente. Como você explica? As respostas estão apresentadas nos Quadros 4.3 e 4.4.

**Quadro 4.3** - Transcrição das respostas iniciais fornecidas pelos alunos referente a Questão 03.

“Não sei.”
“Não sei.”
“Porque o calor vai se espalhando pelo objeto metálico por inteiro.”
“Porque ele esquenta junto com a panela.”
“Não sei explicar muito não.”
“O alumínio esquentou.”
“Por parte de condução percebemos que ela rapidamente esquentou.”
“A colher é metal a panela também o metal entrando em contato com o fogo ele rapidamente vai esquentar e via vesço (sic) o gelado.”
“Não sei.”
“Não sei.”

Fonte: arquivos da autora (2021)

**Quadro 4.4** - Transcrição das respostas finais fornecidas pelos alunos referente a Questão 03

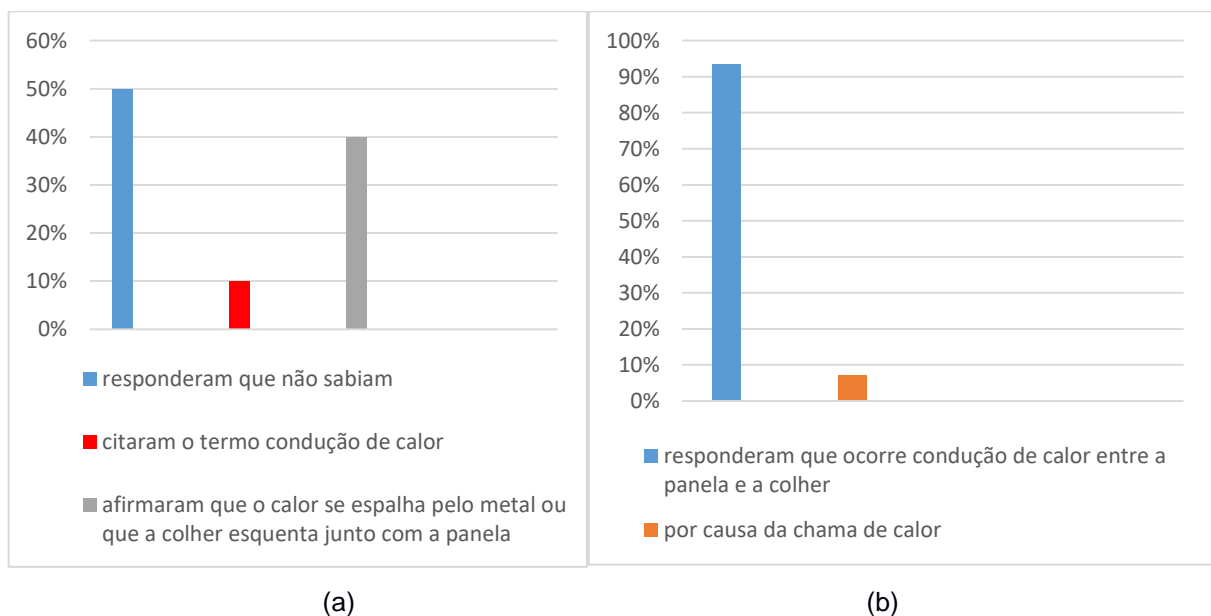
“Ela passa por um processo de condução, a panela conduz calor até o cabo.”
“Por causa das chamas de calor.”
“A colher fica quente por meio da transmissão de calor por meio da condução.”
“O calor é conduzido pela condusão (sic).”
“Ocorre em razão da condução térmica que ocorre transferência de calor da panela.”
“Porque o metal é um material que conduz calor rapidamente.”
“Por causa da condução.”
“Vai esquentar o alumínio e por meio da condução chegar a colher.”
“Por meio da condução o calor da panela é conduzido até o cabo.”
“Condução térmica.”

“Condução térmica na qual ocorre transferência de calor da panela para a colher e pelo fato dos metais serem condutores térmicos.”
“Condução: a panela conduz calor até o cabo.”
“O material conduz calor até o cabo.”
“O calor é conduzido pela condução.”
“Condução de calor.”

Fonte: arquivos da autora (2021).

A análise dos resultados apresentados nos Quadros 4.3 e 4.4 de forma gráfica estão apresentados na Figura 4.3 (a) antes da aplicação do PE e (b) após a aplicação.

**Figura 4.3** – Gráfico representando a (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da Questão 03



Fonte: elaborado pela autora (2021)

Analisando as respostas da Questão 03, inicialmente, 50% dos estudantes responderam que não sabiam o porquê de uma colher colocada em uma panela sobre a chama de um fogão após determinado tempo também ficar aquecida. 10 % disseram que a colher se aquece por causa da condução e 40% responderam que o calor se espalha pela panela ou que a colher esquenta junto com a panela.

No questionário final, 93,3% citaram o termo “condução de calor”, apenas 6,6% responderam que a colher aquece por causa da chama do fogo.

Analisando as respostas iniciais e finais e a Figura 4.3 (a) e (b), observamos que a maior parte dos estudantes conseguiram citar o termo propagação de calor por meio da condução.

#### 4.4 - QUESTÃO 04 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL

Ao propor a questão 04, no questionário inicial, a intenção era verificar os conhecimentos prévios sobre reflexão e absorção de energia. Após a aplicação do PE, no questionário final, analisar como explicaram a questão e se conseguiram usar o conceito correto.

Questão 04: Imagine a situação: Você está saindo de casa, em um dia de verão, com uma roupa preta. Sua avó, ao te ver, fala: “Hoje está muito quente, coloque uma camiseta clara”. Você sabe explicar o porquê desta recomendação? As respostas estão apresentadas no Quadros 4.5 e 4.6.

**Quadro 4.5** - Transcrição das respostas iniciais fornecidas pelos alunos referente a Questão 04.

“Porque roupas escuras fazem o calor aumentar.”
“Porque a roupa preta absorve radiação solar.”
“Uma camisa branca reflete toda a luz e a camisa preta absorve todo o calor.”
“Não sei.”
“Porque a roupa preta esquenta de mais (sic) e a roupa branca não esquenta. É muito diferente as duas.”
“Porque as roupas escuras esquenta mais.”
“Porque roupa preta absorve muito calor.”
“Então sempre tive dúvidas será que é verdade? Mais (sic) acredito que roupas claras passa (sic) a sensação de ser mais frescas.”
“Porque roupas pretas apresentam mais “quenturas” que roupas coloridas.”
“Não sei.”

**Fonte:** arquivos da autora (2021)

**Quadro 4.6** - Transcrição das respostas finais fornecidas pelos alunos referente a Questão 04.

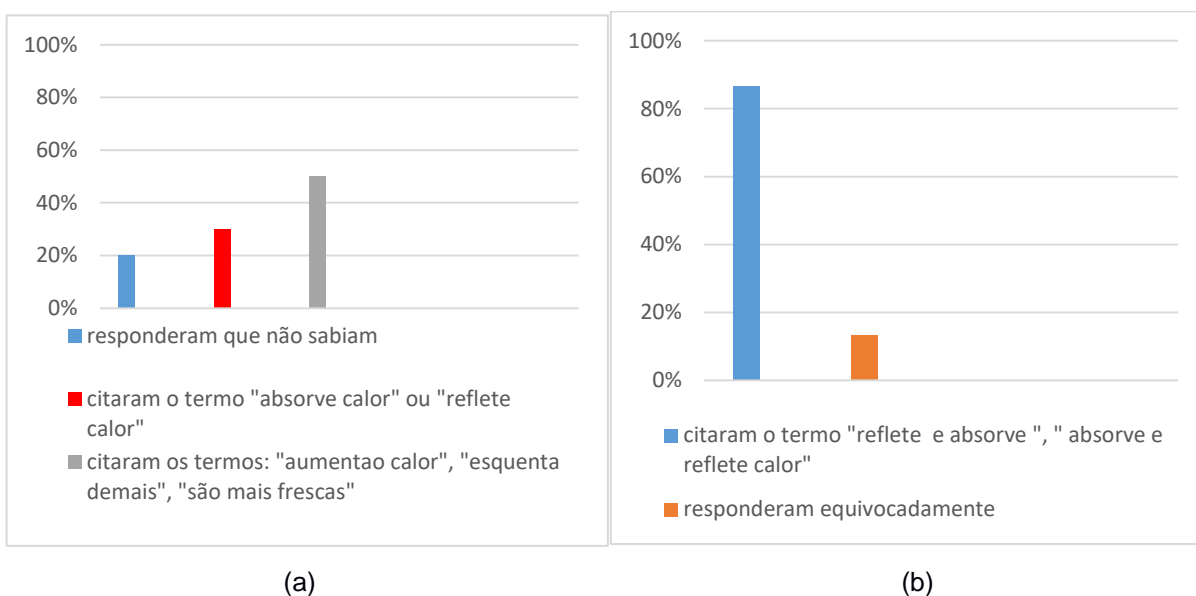
“Porque a roupa clara reflete a luz e a cor preta absorve.”
“Roupas pretas absorvem a luz e roupa clara reflete.”
“As camisas claras refletem o calor e a camisa de cor preta absorve calor.”
“Porque a camisa clara reflete e a preta absorve.”
“A camisa clara reflete e a escura absorve.”
“Porque roupas escuras contem (sic) o calor da luz do Sol.”
“Roupa preta absorve a luz e roupa clara reflete a luz.”
“Roupas claras reflete e roupas escuras absorvem a luz.”
O branco reflete a luz e o preto absorve.”

“Porque a camisa preta da (sic) muito ar quente para o corpo.”
“A cor clara reflete e a cor escura absorve a luz.”
“Pois a roupa clara absorve a luz e a roupa preta absorve.”
“Roupa escura absorve calor porque não reflete a luz solar.”
“Porque a camisa preta reflete calor, já uma camisa preta absorve.”
“A camisa preta absorve a luz e segura o calor.”

Fonte: arquivos da autora (2021).

A análise dos resultados apresentados nos Quadros 4.5 e 4.6 de forma gráfica estão apresentados na Figura 4.4 (a) antes da aplicação do PE e (b) após a aplicação.

Figura 4.4 – Gráfico representando (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da questão 04



Fonte: elaborado pela autora (2021)

No questionário inicial 20% dos estudantes responderam que não sabiam a questão 04, 30% citaram os termos “absorve calor” ou “reflete calor” e 50% disseram que a roupa preta aumenta o calor, esquenta demais ou que as roupas brancas são mais frescas, sem explicações.

No questionário final 86,6% citaram os termos “reflete luz”, “absorve luz”, “reflete calor”, enquanto 13,3% responderam equivocadamente.

Analisando a Figura 4.4 (a) e (b) e comparando as respostas iniciais e finais, observamos que houve indícios de aprendizagem relacionada à absorção e reflexão de energia.

#### 4.5 - QUESTÃO 05 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL

Ao propor a Questão 05, no questionário inicial, a intenção era verificar se reconheciam o processo de propagação de calor por radiação. Após a aplicação do PE, no questionário final, analisar se reconhecem o processo de transmissão de calor envolvendo o fogo e uma pessoa e a nomenclatura correta dessa forma de propagação de calor.

Questão 05: Em dias de frio intenso é possível nos aquecermos em uma fogueira. Qual o processo de transmissão de calor envolvido? As respostas são as apresentadas nos Quadros 4.7 e 4.8.

**Quadro 4.7** - Transcrição das respostas iniciais fornecidas pelos alunos referente a Questão 05.

“Não sei.”
“Não sei.”
“O processo de transmissão é pela energia térmica.”
“Não sei.”
“Porque o fogo no frio ele esquenta muito e é muito bom fazer isso no frio.”
“Não sei.”
“Sim.”
“A corrente de ar nos esquenta.”
“Não sei.”
“Não sei.”

Fonte: arquivos da autora (2021)

**Quadro 4.8** - Transcrição das respostas finais fornecidas pelos alunos referente a Questão 05

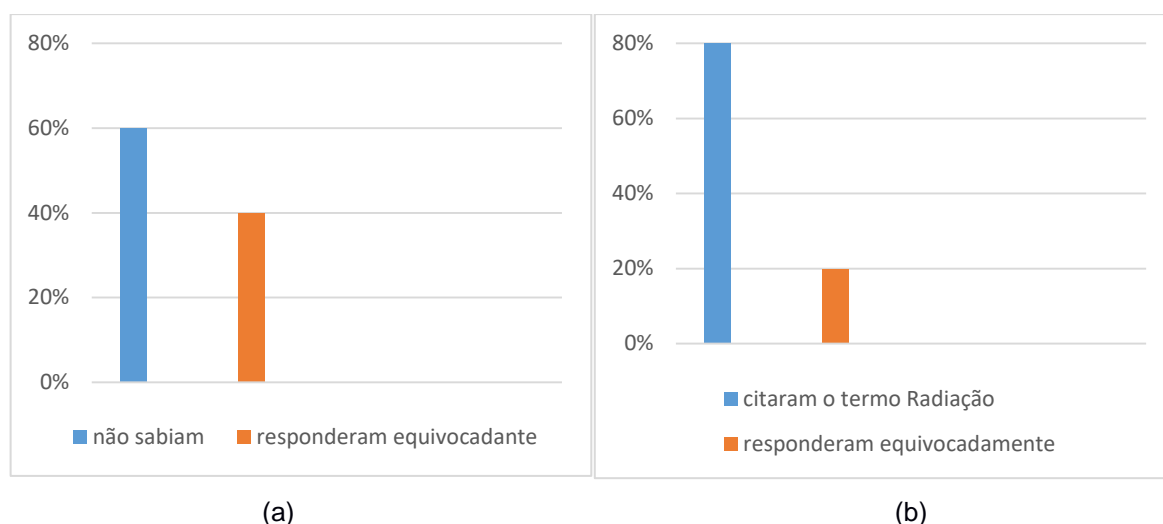
“O processo de radiação.”
“Sim, de baixo para cima.”
“A fogueira transmite calor por radiação térmica.”
“É a radiação.”
“É a radiação.”
“Radiação.”
“Processo de irradiação.”
“Sim, de baixo para cima.”
“Através da radiação.”
“O ar frio e o ar quente não se combinam.”

“Radiação.”
“Radiação.”
“Radiação.”
“Radiação.”
“Radiação.”

Fonte: arquivos da autora (2021)

A análise dos resultados apresentados nos Quadros 4.7 e 4.8 de forma gráfica estão apresentados na Figura 4.5 (a) antes da aplicação do PE e (b) após a aplicação.

**Figura 4.5** – Gráfico representando (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da Questão 05.



Fonte: elaborado pela autora (2021).

Como resposta à Questão 05 no questionário inicial, 60% dos alunos disseram não saber qual o processo de transmissão de calor envolvido que nos permite aquecermos perto de uma fogueira, e 40% responderam equivocadamente.

No questionário final, 80% afirmaram que esse processo ocorre por meio da radiação de calor e 20% responderam equivocadamente.

Comparando as respostas nos questionários inicial e final e a Figura 4.5, percebemos que houve aprendizagem sobre o processo de propagação de calor por radiação.

#### 4.6 - QUESTÃO 06 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL

Ao propor a questão 06, no questionário inicial, a intenção era verificar os conhecimentos prévios sobre a propagação de calor existente em uma garrafa térmica

afim de impedir que ocorram trocas de calor do interior da garrafa com o meio externo. Após a aplicação do PE, no questionário final, analisar se conseguem descrever que a garrafa é construída para evitar o máximo possível a condução, convecção e radiação de calor.

Questão 06: A temperatura do café se mantém aproximadamente constante no interior de uma garrafa térmica perfeitamente vedada. Como você explica esse isolamento? As respostas dos alunos estão apresentadas nos Quadros 4.9 e 4.10.

**Quadro 4.9** - Transcrição das respostas iniciais fornecidas pelos alunos referente a Questão 06.

“Não sei.”
“Não sei.”
“Pelo vidro espelhado que prende o calor dentro da garrafa.”
“A estrutura da garrafa térmica, permite que “haja” essa conservação, pois é feita, de material isolante.”
“Não sei explicar.”
“A garrafa é vedada com o alumínio que segura o calor.”
“Não sei.”
“Ela é térmica é para se manter na temperatura.”
“Não sei.”
“É um isolante.”

**Fonte:** arquivos da autora (2021).

**Quadro 4.10** - Transcrição das respostas finais fornecidas pelos alunos referente a Questão 06.

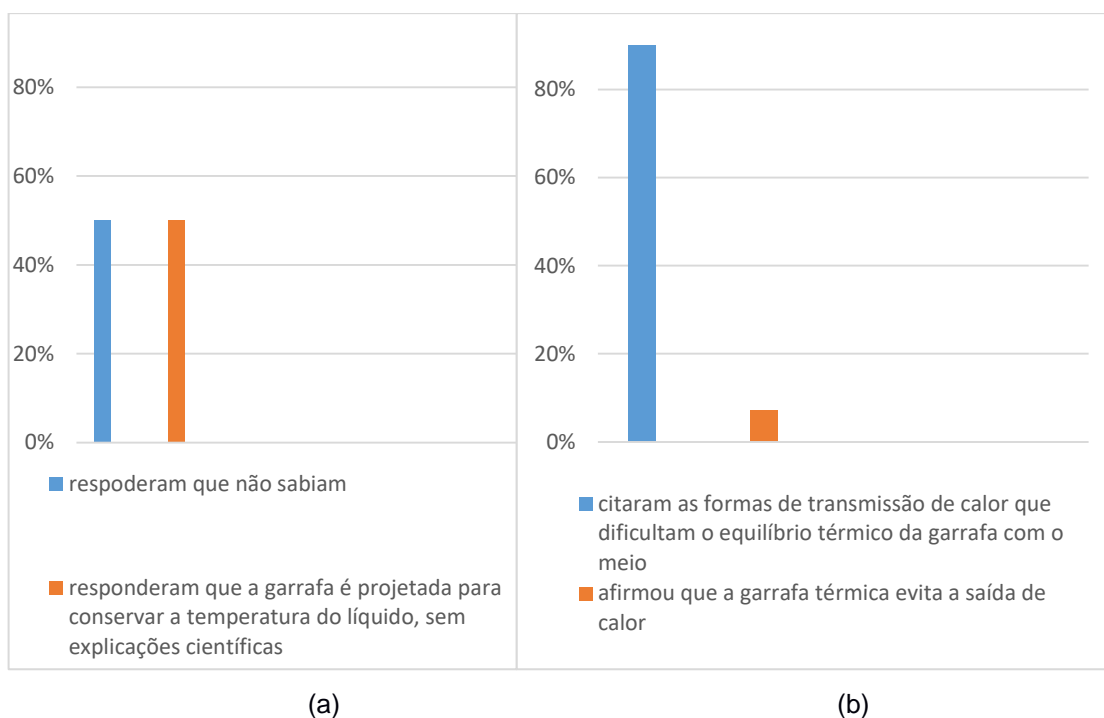
“A garrafa contém os três processos de transmissão de calor: Condução: espaço entre o plástico e o vidro espelhado da garrafa; Convecção: a tampa não deixa o calor sair; Radiação: não necessita de um meio material, o vidro espelhado.”
“A garrafa é feita para manter o líquido quente por meio da condução, convecção e radiação.”
“Ele se mantém aquecido por meio da condução de calor.”
“A convecção está na tampa, a radiação nas paredes de vidro e a convecção na garrafa em si.”
“Condução, convecção e convecção.”
“A garrafa térmica evita que o calor saia.”
“A garrafa é feita para manter o líquido quente por meio da condução, convecção e radiação.”
“A garrafa mantém o café quente por meio dos processos de transmissão: convecção está na tampa, a radiação nas paredes de vidro e a convecção na parte de plástico.”
“Tampa: convecção; Espelho: radiação; Vácuo entre as paredes: convecção e condução.”

“Condução, convecção e radiação.”
“Condução, convecção e radiação.”
“A garrafa contém as três propagações: Condução: o espaço entre o plástico e o espelho que tem dentro da garrafa é vácuo, então o calor não sai; Convecção: tampa sempre fechada; Radiação: vidros espelhados.”
“Tampa: convecção; Vácuo: condução; Parede espelhada: Radiação.”
“Condução, radiação e convecção.”
“Condução, convecção e radiação.”

Fonte: arquivos da autora (2021).

A análise dos resultados apresentados nos Quadros 4.9 e 4.10 de forma gráfica estão apresentados na Figura 4.6 (a) antes da aplicação do PE e (b) após a aplicação.

Figura 4.6 – Gráfico representando (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da questão 06.



Fonte: elaborado pela autora.

Analisando a Questão 06, inicialmente, 50% dos alunos responderam que não sabiam como o café se conserva quente em uma garrafa térmica e 50% disseram que a garrafa é projetada para conservar a temperatura do líquido em seu interior, sem explicações.



No questionário final, 93,3% dos estudantes citaram as formas de propagação de calor que dificultam o equilíbrio térmico entre o líquido interno da garrafa e o meio. Porém, 6,66% continuaram afirmando que a garrafa térmica evita o equilíbrio térmico entre seu interior e exterior, sem citar as formas de propagação de calor envolvidas no processo.

Comparando as respostas iniciais e finais e a Figura 4.6, percebemos que houve um indício de aprendizagem quanto às formas de transmissão de calor, que dificultam o equilíbrio térmico entre o líquido interno de uma garrafa térmica e o meio externo.

#### 4.7 - QUESTÃO 07 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL

Ao propor a questão 07, no questionário inicial, a intenção era verificar os conhecimentos prévios sobre a causa do aquecimento global. Após a aplicação do PE, no questionário final, analisar o entendimento de que o aquecimento global é causado pelo aumento da emissão de gases que intensificam o fenômeno do efeito estufa.

Questão 07: Sobre o Aquecimento Global, o que causa esse fenômeno? As respostas estão apresentadas nos Quadros 4.11 e 4.12.

**Quadro 4.11** - Transcrição das respostas iniciais fornecidas pelos alunos referente a Questão 07.

“Não sei.”
“Não sei.”
“É um fenômeno responsável pela manutenção da Terra.”
“É um fenômeno natural responsável pela vida na Terra.”
“Não sei explicar.”
“Não sei.”
“É um fenômeno natural para a manutenção da Terra o efeito estufa é um processo físico.”
“Não sei.”
“Não sei.”
“Não sei.”

**Fonte:** elaborado pela autora (2021)

**Quadro 4.12** - Transcrição das respostas finais fornecidas pelos alunos referente a Questão 07.

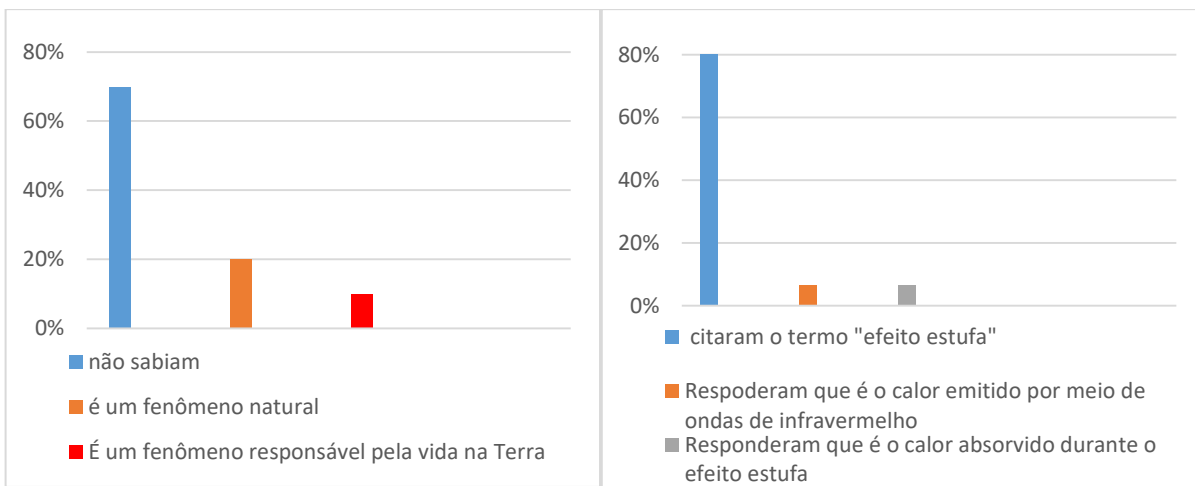
“Os gases de efeito estufa.”
“Efeito estufa.”

“Esse fenômeno é natural e é intensificado pelo aumento de emissões de gases do efeito estufa.”
“Gases efeito estufa.”
“Gases efeito estufa.”
“A grande quantidade de emissão de gases na atmosfera.”
“Efeito estufa.”
“Efeito estufa.”
“Gases de efeito estufa.”
“Calor emitido por meio de ondas infravermelho.”
“O aumento do efeito estufa.”
“Através de gases do efeito estufa.”
“Gases de efeito estufa que dificultam a saída de ondas infravermelho aquecendo a Terra.”
“É o calor absorvido durante o efeito estufa.”
“O aumento de gases de efeito estufa.”

Fonte: arquivos da autora (2021).

A análise dos resultados apresentados nos Quadros 4.11 e 4.12 de forma gráfica estão apresentados na Figura 4.7 (a) antes da aplicação do PE e (b) após a aplicação.

Figura 4.7 – Gráfico representando (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da Questão 07



(a)

(b)

Fonte: elaborado pela autora (2021).

Na questão 07, inicialmente, 80% dos alunos responderam que não sabiam, 20% disseram que o aquecimento global era um fenômeno natural e 10% responderam que é um fenômeno responsável pela vida na Terra.

No questionário final, 86,6% responderam citando o termo “efeito estufa”, 6,6% responderam que é o calor emitido por meio de ondas de infravermelho, 6,6% responderam que é o calor absorvido durante o efeito estufa.

Analisando a Figura 4.7, percebemos que todos os alunos tiveram uma construção de conhecimento relacionado ao aquecimento global.

#### 4.8 - QUESTÃO 08 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL

Ao propor a Questão 08, no questionário inicial, a intenção era verificar os conhecimentos prévios sobre o fenômeno do efeito estufa. Após a aplicação do PE, no questionário final, analisar a descrição sobre o fenômeno: se é um fenômeno natural, prejudicial ou não para a vida terrestre, quais os gases que intensificam o fenômeno e porque intensificam, descrevendo sobre a radiação absorvida e refletida pela Terra.

Questão 08: Sobre o efeito estufa, você sabe descrever o que é esse fenômeno? As respostas estão apresentadas nos Quadros 4.13 e 4.14.

**Quadro 4.13** – Transcrição das respostas iniciais fornecidas pelos alunos referente a Questão 08.

“Muito lixo e poluição aumenta o aquecimento”
“São os gases e “arrotos” e etc ... soltos pelos animais”
“É um tipo de aquecimento à escala global, dependendo do calor pode acabar com a vida na Terra”
“Não sei”
“Tem tempo de frio e calor”
“Muda o sistema Terrestre”
“Não sei”
“No momento não sei”
“Não sei”
“Já ouvi esse nome, mas não sei”

**Fonte:** arquivos da autora (2021).

**Quadro 4.14** -Transcrição das respostas finais fornecidas pelos alunos referente a Questão 08.

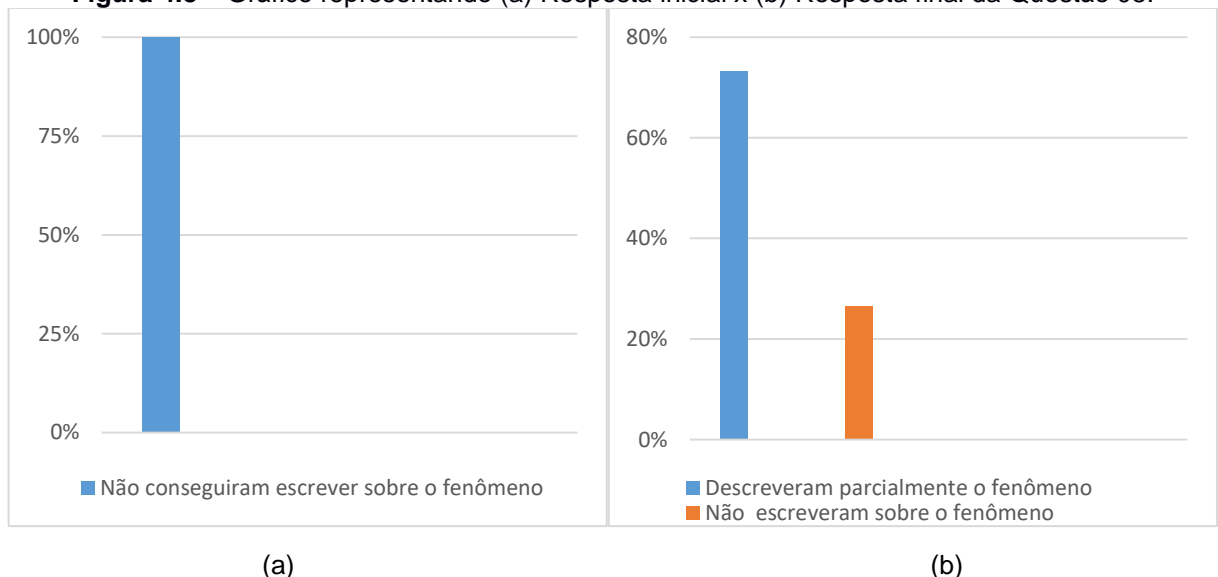
“A Terra emite ondas infravermelho que não conseguem sair da atmosfera por conta dos gases de efeito estufa.”
“A terra efete (sic) ondas vermelhas que não conseguem sair da atmosfera por causa dos gases de efeito estufa.”
“É um fenômeno atmosférico natural responsável pela manutenção da vida na Terra.”
“A Terra absorve e emite ondas de infravermelho e os gases de efeito estufa dificultam a saída dessas ondas.”
“Aquecimento Global.”

“Não.”
“A Terra emite ondas info vermelhas (sic) que não conseguem sair da atmosfera por conta dos gases de efeito estufa.”
“A Terra emite ondas “vermelhas” que não saem da atmosfera por causa da existência de gases de efeito estufa.”
“A Terra emite ondas infra vermelhas (sic) e não consegue sair da atmosfera por conta dos gases de efeito estufa.”
“Aquecimento Global.”
“Gases de efeito estufa.”
“A Terra emite ondas infravermelho que não conseguem sair da atmosfera por conta de gases de efeito estufa.”
“O sol manda ondas eletromagnéticas e a Terra absorve, emitindo ondas inflavermelhas (sic) e por causa dos gases de efeito estufa, essas ondas de inflavermelho (sic) não consegue sair da atmosfera, aquecendo a Terra.”
“A Terra reflete o calor mais forte, mas também absorve um pouco para o planeta não congelar.”
“A Terra emite infravermelho que não consegue escapar da atmosfera por conta de gases de efeito estufa.”

Fonte: arquivos da autora (2021).

A análise dos resultados apresentados nos Quadros 4.13 e 4.14 de forma gráfica estão apresentados na Figura 4.8 (a) antes da aplicação do PE e (b) após a aplicação.

Figura 4.8 – Gráfico representando (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da Questão 08.



Fonte: elaborado pela autora (2021).

Na questão 08, inicialmente, 100% dos estudantes não conseguiram descrever o fenômeno do efeito estufa.

No questionário final, 73,3% descreveram parcialmente sobre o fenômeno do efeito estufa e 26,6% não escreveram sobre o fenômeno.

Analisando a Figura 4.8, nota-se que houve aumento no número de estudantes que escreveram sobre o fenômeno estudado, mesmo que parcialmente.

#### 4.9 - QUESTÃO 09 – RESPOSTA INICIAL X RESPOSTA FINAL

Ao propor a questão 09, no questionário inicial, a intenção era verificar se os conhecimentos prévios dos estudantes eram capazes de julgar que o fenômeno do efeito estufa é essencial para a vida na Terra. Após a aplicação do PE, no questionário final, verificar se responderam que o fenômeno é essencial para a vida terrestre, citando que a emissão de gases de efeito estufa, aumentará o fenômeno, causando desequilíbrio no fluxo de entrada e saída da energia do planeta e consequentemente o aquecimento global

Questão 09: O fenômeno Efeito Estufa é prejudicial para a vida na Terra? As respostas estão apresentadas nos Quadros 4.15 e 4.16.

**Quadro 4.15** - Transcrição das respostas iniciais fornecidas pelos alunos referente a Questão 09.

“Não sei.”
“Sim.”
“Sim.”
“Não.”
“Por causa do tempo uma hora está frio e outra hora está calor.”
“Não.”
“Não sei.”
“Não sei.”
“Não sei.”
“Não respondeu.”

**Fonte:** arquivos da autora (2022).

**Quadro 4.16** - Transcrição das respostas finais fornecidas pelos alunos referente a Questão 09.

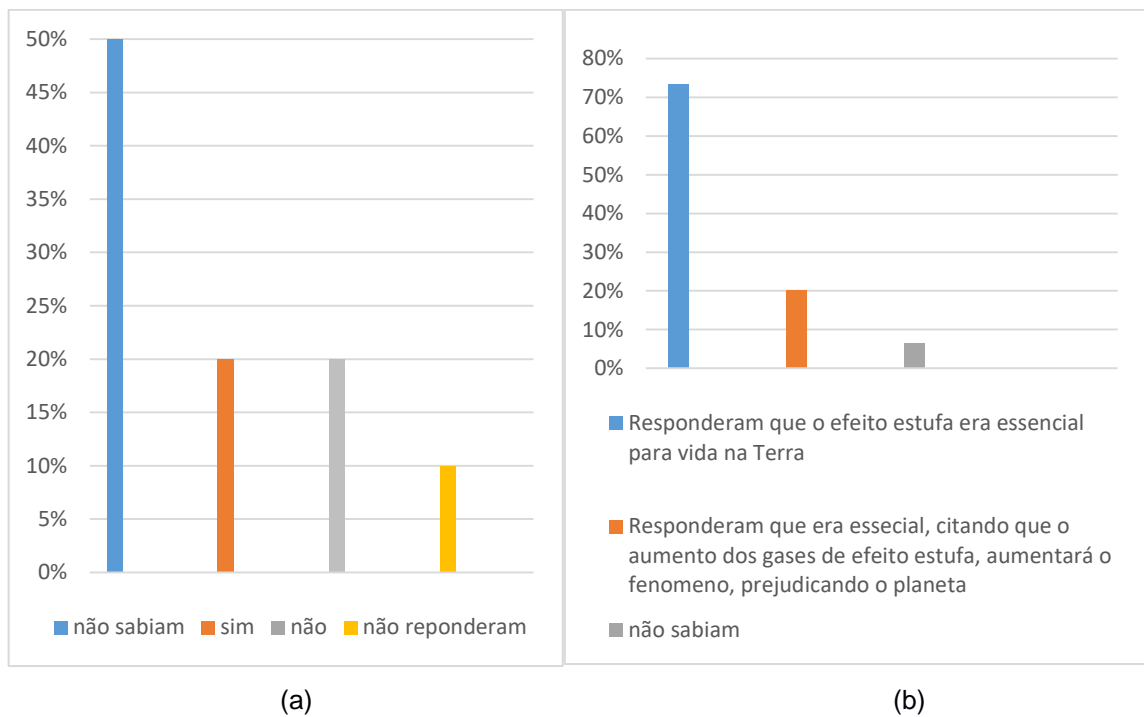
“Essencial.”
“Essencial.”
“Não. É muito importante para o aquecimento agradável do Planeta.”
“Não. Porque se não (sic) o planeta ia (sic) congelar.”

“Não sei.”
“Não.”
“Essencial. Porém com o aumento dos gases de efeito estufa a Terra está sendo prejudicada.”
“Não, mas com o aumento dos gases de efeito estufa, está aumentando demais e prejudicando.”
“Essencial.”
“Não.”
“Não. É preciso para manter a temperatura estável da Terra.”
“Sim.”
“Não. Ele é essencial para nossa vida.”
“Não. Se não fosse o efeito estufa o planeta ia (sic) congelar.”
“Essencial, mas o aumento está prejudicando o clima.”

Fonte: arquivos da autora (2022).

A análise dos resultados apresentados nos Quadros 4.15 e 4.16 de forma gráfica estão apresentados na Figura 4.9 (a) antes da aplicação do PE e (b) após a aplicação.

Figura 4.9 – Gráfico representando (a) Resposta inicial x (b) Resposta final da Questão 09.



Fonte: elaborado pela autora (2022).

Na Questão 09, inicialmente 40% dos alunos responderam que não sabiam se o fenômeno do efeito estufa era prejudicial à vida na Terra, 10% não responderam, 20% responderam que sim e outros 20% responderam que o fenômeno não prejudicaria a vida no planeta. 10% responderam de maneira equivocada.

No questionário final, 73,3% responderam que o efeito estufa era essencial para a vida na Terra. 20% responderam que o efeito estufa é essencial para vida terrestre, citando que o aumento dos gases de efeito estufa aumentará o fenômeno, prejudicando a vida no planeta. 6,6% disse que não sabiam.

Comparando as respostas dos questionários inicial e final e analisando a figura 4.9, houve um relativo aumento da porcentagem de alunos que concordaram que o fenômeno estudado é essencial para a vida terrestre, compreendendo que o aumento da emissão de gases de efeito estufa intensificará o fenômeno, prejudicando a vida do planeta.

#### **4.10 - ANÁLISE GERAL DOS RESULTADOS**

Comparando as respostas do questionário inicial e do questionário final, notamos que os conceitos de calor, formas de propagação de calor e efeito estufa foram ampliados. As respostas finais foram apresentadas com elementos que são cientificamente aceitos, ou seja, é possível ver nas respostas dos alunos uma melhor compreensão, e o estabelecimento de conexões dos conceitos com o cotidiano. No questionário inicial as respostas eram limitadas a “sim” ou “não”, “não sei”, sem explicações, sem o uso de termos corretos para explicar os fenômenos estudados. No questionário final, houve respostas com maiores explicações sobre os fenômenos do efeito estufa e aquecimento global. Podemos inferir que a sequência de atividades promoveu uma ampliação dos conhecimentos iniciais, o que permite o uso para alcançar a aprendizagem significativa.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Produto Educacional e a Sequência Didática apresentada conseguiram alcançar seus objetivos que eram a aprendizagem, mesmo de conceitos básicos, sobre o Calor, suas formas de propagação e a Física envolvida no fenômeno do Efeito Estufa, para a compreensão de seus efeitos para o aquecimento global.

Nesse sentido, entender que o efeito estufa é um mecanismo importante na regulação da temperatura do planeta, sendo essencial para a existência de vida na Terra. O que está sendo prejudicial é a intensidade do fenômeno devido ao aumento de gases de efeito estufa, que intensifica o fenômeno gerando o aquecimento global.

Desse modo, os conteúdos trabalhados no Produto Educacional, presentes no cotidiano dos estudantes, permitiram a interação entre os conhecimentos prévios e a aquisição de novas informações para futuras aprendizagens, mais elaboradas e consistentes.

A metodologia utilizada foi simples, com simulações e experimentos, trazendo às aulas uma dinâmica que permitiu o entendimento dos conteúdos abordados.

Considerando o período de pandemia, com isolamento para evitar a disseminação do vírus SARSCov-2, houve socialização, comunicação e aprendizagem tanto para os alunos que participaram das aulas de forma presencial, como para os que estudaram por meio de vídeo chamada. No entanto, maior aprendizagem teve a professora (autora da presente dissertação, e com formação em Matemática – Licenciatura Plena) que ficou conhecendo mais da realidade de seus alunos, estudou, aprendeu e ensinou conteúdos, enfrentou os desafios de trabalhar de forma híbrida, por meio de vídeos chamadas e com alunos presenciais ao mesmo tempo.



## REFERÊNCIAS

- AMORIM, A. Convecção térmica (propagação do calor). Youtube. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=dkZaiedR\\_ww](https://www.youtube.com/watch?v=dkZaiedR_ww)> Acesso em: maio/2021.
- As mudanças climáticas. WFF. Disponível em: <[https://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/reducao\\_de\\_impactos2/clima/mudancas\\_climaticas2/](https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/mudancas_climaticas2/)>. Acesso em: maio/2021.
- BASSALO, J. M. F. **Sobre a Lei de Rayleigh-Jeans**, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 18, no. 1, 1996.
- BRASIL, 2018. MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. SECRETARIA NACIONAL DE EDUCAÇÃO BÁSICA. BNCC – BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR: ENSINO MÉDIO. BRASÍLIA: MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2018. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=79601-anexo-texto-bncc-reexportado-pdf-2&category\\_slug=dezembro-2017-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=79601-anexo-texto-bncc-reexportado-pdf-2&category_slug=dezembro-2017-pdf&Itemid=30192). Acesso em Junho/2021.
- BOTKIN, D. B.; KELLER, E.A. **Ciência ambiental: Terra, um planeta vivo**. Rio de Janeiro: editora LTC, 2018.
- BRASIL, 2012. Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental, 2012.
- GUIMARÃES, P. S. **Radiação de Corpo Negro**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v.21, n.2, p. 291-297, jun. 1999.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica**. 10ª ed. Rio de Janeiro: editora LTC, 2020.
- JUNGES, A.L.; SANTOS, V.Y.; 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. V.13, n. 5, 2018.
- JUNGES, A.L.; SANTOS, BUHLER, A.J.; MASSONI, N.T.; SIEBENEICHLER, A.F.S. **O “Efeito Estufa” na sala de aula: um experimento de baixo custo para demonstrar a absorção de radiação infravermelha por gases estufa como o dióxido de carbono**. Caderno brasileiro de Ensino de Física, v.37, n.2, p. 849-864, ago. 2020.
- OLIVEIRA FILHO, K.S.; SARAIVA, M.F.O. **Astronomia e Astrofísica**. Porto Alegre: UFRS, 2014.
- LEITE, V.D. P. de O. **Transporte de CO<sub>2</sub> no sistema solo-planta-atmosfera**. Dissertação de Mestrado, UNESP, Rio Claro, 2010.
- LUZ, A. M. R.; ÁLVARES, B. A.; GUIMARÃES, C. C. **Física: contexto e aplicações: ensino médio**. Página 57. 2. Ed. São Paulo: Scipione, 2016.
- MOORE, W. J. **Físico-Química**. 4ª ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda. EDUSP, 1976.
- MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília, Ed. UNB, 2006.

\_\_\_\_\_. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Revista Currículum. n. 25, pp. 29-56, 2012. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>. Acesso em: nov/2021.

\_\_\_\_\_.; MASINI, E.F.S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel.** São Paulo: Moraes, 1982.

NUSSENZVEIG, H.M. Fluidos – Oscilações e ondas – Calor. 4ª ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 2002.

OLIVEIRA, M.M. **Sequência didática interativa no processo de formação de professores.** São Paulo: Vozes, 2013.

PAULO, S.R.de. **Física Ambiental.** Minicurso 3 – P2. Vídeo Youtube. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4GUBfLNqkZU>. Acesso em: nov/2021.

PHET – Simulador sobre o efeito estufa – Disponível em: [https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&locale=pt_BR). Acesso em: maio/2021

SERWAY, R. A.; JEWETT JR, J.W. **Princípios de física: Movimento ondulatório e termodinâmica.** 5ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

SPACHI, P. **Condução de Calor.** Youtube. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=dazOL4t9uFQ>>. Acesso em: maio/2021.

TEIXEIRA, M. M. **Garrafa Térmica.** Prepara Enem. Disponível em: <<https://www.preparaenem.com/fisica/garrafa-termica.htm>> Acesso em: maio/2021.

ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar.** Porto Alegre: Artmed, 1998.

LOPES, H. **Turma de Ouro. Experimento – Propagação de calor – Irradiação –** Vídeo Youtube. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=cHuCEJkZRgA>>. Acesso em: maio/2021.

## APÊNDICE I - QUESTIONÁRIO INICIAL E FINAL

1) Em um recipiente há dois frascos A e B. O frasco A com 40 mL de água e o B com 20 mL de água, ambos na temperatura ambiente. Colocando-os sobre uma chama, de modo que recebam a mesma quantidade de calor, após determinado tempo nota-se que:

- a) O frasco A apresenta temperatura maior que o frasco B.
- b) O frasco B apresenta temperatura maior que o frasco A.
- c) Ambos apresentam a mesma temperatura.
- d) O frasco B recebeu mais calor que o frasco A.

**Resposta:** B – pois foi explicado aos alunos que era um tempo mas enquanto o calor transitava, antes de entrar em equilíbrio térmico.

2) Explique por que os aparelhos de ar-condicionado geralmente são instalados no alto e as lareiras embaixo?

**Resposta:** O ar quente sendo menos denso sobe, logo, o ar frio, mais denso, desce, formando correntes de convecção. A densidade é menor devido ao aumento da agitação térmica das moléculas e átomos movendo-se mais rapidamente e aumentam o espaço entre moléculas/átomos, expandindo o fluido de forma que o volume aumenta e a densidade diminui. E o oposto para maior densidade.

3) Uma colher metálica é colocada em uma panela sobre a chama de um fogão. Após algum tempo a colher está quente. Como você explica?

**Resposta:** O fato ocorre em razão da condução térmica na qual ocorre transferência de calor da chama para a panela e dessa para a colher, e pelo fato de os metais serem bons condutores térmicos.

4) Imagine a situação: Você está saindo de casa em um dia de verão com uma roupa preta. Sua avó, ao te ver, fala: “Hoje está muito quente, coloca uma camiseta clara”. Você sabe explicar o porquê desta recomendação?

**Resposta:** O tecido da cor clara refletirá energia, enquanto que o tecido de cor escura absorverá maior energia.

5) Em dias de frio intenso é possível nos aquecermos em uma fogueira. Qual o processo de propagação de calor envolvido?

**Resposta:** Propagação de calor por meio da radiação.

6) A temperatura do café se mantém aproximadamente constante no interior de uma garrafa térmica perfeitamente vedada. Como você explica esse isolamento?

**Resposta:** A garrafa térmica é constituída por duas camadas, feitas de um material isolante térmico, sendo a camada interna de vidro. Cada parte da garrafa tem uma função:

- A garrafa térmica é constituída por duas camadas feitas de um material isolante térmico, sendo a camada interna de vidro. O vácuo entre as camadas evita que ocorra o processo de propagação de calor por condução, pois esse processo necessita de um meio material para se propagar;
- As superfícies espelhadas das camadas internas evitam que aconteça troca de calor por radiação, pois refletem as ondas de calor mantendo a temperatura;
- A tampa impede a troca de calor por convecção, impedindo contato entre o ar e o líquido no interior da garrafa.

Assim, a garrafa térmica conserva a temperatura do líquido em seu interior por mais tempo.

7) Sobre o Aquecimento Global, o que causa esse fenômeno?

**Resposta:** O aquecimento Global corresponde ao aumento da temperatura média terrestre devido à intensificação dos gases de efeito estufa resultante das práticas humanas.

8) Sobre o efeito estufa, você sabe descrever o que é esse fenômeno?

**Resposta:** O efeito estufa é um fenômeno natural, responsável por manter a temperatura da Terra adequada, permitindo a existência de vida no planeta. Quando os raios solares atingem a atmosfera, devido à camada de gases de efeito estufa, parte da radiação atinge a superfície terrestre, aquecendo-a e irradiando calor, a outra parte é refletida. Os gases de efeito estufa absorvem a energia irradiada pela Terra. Com o aumento desses gases, maior quantidade de calor está sendo retida na atmosfera, resultando no aumento da temperatura planetária.

9) O fenômeno Efeito Estufa é prejudicial para a vida na Terra?

**Resposta:** O efeito estufa é responsável por manter a temperatura da Terra adequada para a existência da vida. No entanto, com o aumento da emissão de gases de efeito estufa, essa temperatura está aumentando, resultando no aquecimento global.

## **APÊNDICE II – PRODUTO EDUCACIONAL**

Neste apêndice, como solicitado pelo MNPEF, está apresentado o produto educacional como um texto em separado para uso livre a quem se interessar. Somente solicita-se que respeite os créditos de autoria. Além disso, a maior parte do texto aqui apresentado é o mesmo ao da referência COSTA, G. L. (2023) pois é parte integrante da dissertação de mestrado da autora.



## PRODUTO EDUCACIONAL

# CALOR E EFEITO ESTUFA: UMA APRENDIZAGEM MULTIDISCIPLINAR

**GISSELI LOVISON COSTA**

Produto Educacional da Dissertação de Mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – Polo UEM, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

**ORIENTADORA: Profa. Dra. Hercília Alves Pereira de Carvalho**

Maringá – PR  
2023

## APRESENTAÇÃO

O presente trabalho é uma proposta de Produto Educacional definida por uma sequência didática para o estudo de calor e efeito estufa destinada ao Ensino Médio. A sequência é formada por sete aulas de cem minutos cada, composta por várias atividades, tais como: aulas expositivas sobre os conceitos relacionados ao calor e ao efeito estufa, leitura de textos compartilhados pelos alunos como um apoio à explicação dos conteúdos, pesquisas realizadas em *sítes* de busca durante as aulas, retomada de conteúdos questionando os estudantes sobre os conteúdos trabalhados, simuladores computacionais sobre as formas de propagação de calor e como gases de efeito estufa influenciam a temperatura terrestre, experimentos sobre a forma de transmissão de calor e como gases de efeito estufa (dióxido de carbono) absorvem as ondas de infravermelho alterando a temperatura da Terra. Esta proposta utilizou a Teoria de Aprendizagem Significativa criada por David Ausubel, aplicando questionários inicial e final para comparação entre os conhecimentos prévios e os conhecimentos novos após a aplicação da sequência didática. A maior parte do texto aqui apresentado é o mesmo da referência COSTA, G. L. (2023).

Maringá, outubro de 2021  
Gisseli Lovison Costa

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	105
1. SEQUÊNCIA DIDÁTICA.....	106
2. OBJETIVO GERAL.....	109
3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	109
4. METODOLOGIA.....	110
4.1 – Aula 01 – Detectando os subsunçores.....	110
4.2 – Aula 02 – Temperatura, Calor e suas formas de propagação.....	113
4.3 – Aula 03 – continuação Calor e suas formas de propagação.....	124
4.4 – Aula 04 – Calor e Energia Solar.....	131
4.5 – Aula 05 – Efeito Estufa e Conceitos Básicos.....	134
4.6 – Aula 06 – Radiação do Infravermelho.....	140
4.7 – Aula 07 – Revisão do Conteúdo e Aplicação do Questionário Final.....	146
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	147
REFERÊNCIAS.....	147
APÊNDICE – TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	149
ANEXO – CIRCUITO E PROGRAMAÇÃO ARDUÍNO UNO.....	151



## INTRODUÇÃO

Diante da dificuldade que estudantes, do ensino médio, apresentam ao estudar e compreender conceitos da disciplina de Física, motivados por aulas expositivas que valorizam apenas as equações matemáticas, propomos trabalhar a propagação de calor por meio de uma sequência didática que contempla várias atividades, visando a teoria de aprendizagem significativa proposta por Ausubel (Apêndice 1). Os principais pontos dessa teoria aqui utilizada é a detecção dos conhecimentos prévios denominados de subsunçores, para servir como ancoramento para os novos conhecimentos a serem adquiridos. Quando o aluno não apresentar o conhecimento prévio introduzir materiais potencialmente significativos ligados ao conteúdo para que ele os adquira. Um ponto principal é que o aluno precisa ter predisposição a aprender. (MOREIRA, 2012).

A presente proposta ainda contempla: leituras de textos, pesquisas, simuladores e experimentos conectando os conceitos envolvidos com o efeito estufa que foram estruturados em uma sequência didática baseados nas referências: Zabala (1998) e Oliveira (2013).

Entre os principais temas da Educação Ambiental (Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Básica Ambiental – Brasil, 2012) para o século XXI está a temática das mudanças climáticas e aquecimento global. O aquecimento global é um tema multidisciplinar cuja abordagem completa requer contribuições de diversas disciplinas para a discussão tanto dos aspectos políticos, sociais, econômicos e éticos envolvidos, como os científicos (JUNGES *et. al*, 2018).

Neste trabalho o entendimento da causa do aquecimento global tem como foco a compreensão da transmissão de energia por meio da radiação de forma simplificada e introdutória, de maneira que o estudante compreenda o efeito estufa na regulação da temperatura do planeta.

O estudo inicia com o conceito de calor e as suas formas de propagação, realizando experimentos e simulações que têm potencial de contribuir na aprendizagem deste conteúdo. Posteriormente foram abordados os conceitos sobre Intensidade de energia solar, albedo, temperatura de equilíbrio, temperatura média de superfície e a composição química da atmosfera, comparando os dados dos planetas Terra e Vênus. Na sequência, a absorção da radiação na faixa do comprimento de

onda do infravermelho, utilizando simuladores que facilitam a visualização e compreensão desses fenômenos.

Para observação e comprovação de que os gases de efeito estufa (dióxido de carbono) efetivamente aumentam a capacidade da atmosfera em absorver radiação infravermelha, realizou-se um experimento por meio de um programa de desenvolvimento de Arduino, que permite perceber a concentração de dióxido de carbono em uma câmara de gás, o aumento da absorção de infravermelho e a variação de temperatura, causando desequilíbrio no balanço da energia do planeta, resultando no aquecimento global.

## **1. SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

Segundo Zabala (1998) sequência didática é um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que tem um princípio e um fim conhecidos tanto pelo professor como pelos alunos.

Para Oliveira (2013) sequência didática é um procedimento simples que compreende um conjunto de atividades conectadas entre si e prescinde de um planejamento para delimitação de cada etapa e/ou atividade para trabalhar os conteúdos disciplinares de forma integrada para melhor dinâmica no processo de ensino-aprendizagem.

No entanto, somente as atividades não são suficientes para garantir a aprendizagem, o professor deve organizá-las de forma significativa, intervindo pedagogicamente, ou seja, percebendo a realidade da aula, o planejamento, a aplicação e avaliação.

Zabala (1998) afirma que além das sequências didáticas, também contribuem para a análise da prática educativa: a comunicação e vínculos existentes na sala de aula, a organização social da aula, a utilização dos espaços e do tempo, a maneira de organizar os conteúdos, os materiais curriculares, os recursos didáticos e a avaliação.

Desse modo, cabe ao professor organizar estratégias que permitam e favoreçam a aprendizagem, considerando que o conteúdo proposto seja alcançado pelos estudantes. Podendo desafiar, dirigir, propor e comparar situações que

favoreçam diferentes aprendizagens, considerando os diversos conhecimentos prévios existentes em cada aluno.

Cada estudante tem sua construção pessoal relacionada ao conhecimento e aprendizagem de diferentes conteúdos. O professor pode intervir no processo de aprendizagem e nas dificuldades manifestadas pelo aluno, diminuindo o conflito entre o que se sabe e o que se deve saber.

Oliveira (2013) considera alguns passos para a elaboração de uma sequência didática: a escolha do tema, a problematização do tema a ser desenvolvido, planejamento dos conteúdos, objetivos a serem alcançados, determinação da sequência de atividades, considerando o cronograma, o material didático, a integração entre cada atividade e avaliação dos resultados.

Zabala (1998) aponta que em uma sequência didática devem existir atividades:

- Que permitam detectar os conhecimentos prévios;
- Cujos conteúdos devem ser propostos de forma que sejam significativos e funcionais;
- Adequadas ao nível de desenvolvimento de cada aluno;
- Que considerem suas competências atuais e as façam avançar, criando zonas de desenvolvimento proximal;
- Promovam um conflito cognitivo e promovam a atividade mental do aluno para que se estabeleçam relações entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios;
- Que sejam motivadoras em relação à aprendizagem dos novos conhecimentos;
- Que estimulem a autoestima e o autoconhecimento em relação às aprendizagens que se propõem;
- Que permita ao aluno ser cada vez mais autônomo.

Zabala (1998) reconhece a existência de diferentes sequências didáticas afirmando que não há uma melhor que a outra, mas que se faz necessário reconhecer as possibilidades e as carências de cada uma, dependendo do tipo de conteúdo a ser desenvolvido, que pode ser conceitual, procedimental ou atitudinal.

Na aprendizagem conceitual os conteúdos e princípios abordados pelo professor devem ser trazidos para o mundo real das ideias, a fim de que se possa utilizá-los para a interpretação de situações corriqueiras (ZABALA, 1998), sendo constituídos por fatos, acontecimentos, dados, conceitos e princípios.

Os conteúdos procedimentais incluem habilidades técnicas, mas admitem também estratégias de raciocínio e habilidades. É um conjunto de ações ordenadas e com uma finalidade, dirigidas para a realização de um objetivo.

Considerando as diferentes culturas dos estudantes, conteúdos atitudinais englobam uma série de conteúdos que agrupam valores, atitudes e normas. Para Zabala (1998) valores são os princípios ou ideias éticas que permitem às pessoas emitirem um juízo sobre as condutas e sentido. Atitudes são a forma como cada pessoa realiza sua conduta de acordo com valores determinados. Normas são padrões de comportamento que devem ser seguidos em determinadas situações que obrigam a todos os membros de um grupo social.

Assim, Zabala (1998) e Oliveira (2013) defendem que a sequência didática contribui para a prática do cotidiano em sala de aula, sendo desenvolvida considerando a perspectiva do ensino de conteúdos por meio de atividades sequenciadas, organizadas, com objetivos explicados para os alunos, motivadoras em relação à aprendizagem, permitindo a autonomia e a construção de novos saberes e conhecimentos.

A sequência didática (Quadro 1) elaborada é composta por uma diversidade de atividades que se articulam para oportunizar aos alunos uma aprendizagem significativa baseada na Teoria de Aprendizagem Significativa apresentada no Apêndice 1.

**Quadro 1.** Proposta da sequência didática.

<b>CRONOGRAMA</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>
Aula 01	- Aplicação do questionário prévio.
Aula 02	- Leitura de texto 01: O calor como Energia; - Simulação: Transferência de Calor Transferência de Calor por Condução: Energy2D. V3.03: <i>examples/conduction1.e 2D</i> Transferência de Calor por Convecção: Energy2D. V3.03: <i>examples/natural-convection-temperature.e 2D</i> Transferência de Calor por Radiação: Energy2D. V3.03: <i>examples/concovie.e 2D</i>
Aula 03	- Experimentos sobre as formas de transmissão de calor e discussão sobre as observações; - Leitura do texto 02: Calor e Garrafa Térmica
Aula 04	- Leitura do texto 03: Efeito Estufa;

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exposição de conteúdo: Intensidade de Energia Solar; Energia Refletida (albedo); Taxa de Energia Absorvida; Taxa de Energia Emitida; Temperatura de Equilíbrio; Temperatura Média de Superfície; Lei de Stefan-Boltzmann;</li> <li>- Dedução da equação;</li> <li>- Atividade.</li> </ul>
Aula 05	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leitura do texto 04: Efeito Estufa: Conceitos Básicos;</li> <li>- Exposição de conteúdo: Gases de Efeito Estufa; Radioatividade na faixa de comprimento do infravermelho; Lei de Wien; Espectroscopia do infravermelho; Espectroscopia do infravermelho na molécula de dióxido de carbono;</li> <li>- Pesquisa sobre frequência e comprimento de ondas eletromagnéticas;</li> <li>- Simulação do efeito estufa, disponível no site PHET: <a href="https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&amp;locale=pt_BR">https://phet.colorado.edu/sims/cheerpj/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&amp;locale=pt_BR</a>.</li> </ul>
Aula 06	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Leitura do texto 05: Efeito Estufa e Aquecimento Global</li> <li>- Exposição de conteúdo;</li> <li>- Experimento utilizando o programa Arduino IDE, análise e conclusão do experimento.</li> </ul>
Aula 07	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Retomada dos conteúdos estudados e aplicação do questionário final.</li> </ul>

**Fonte:** Elaborado pela autora (2021).

## 2- OBJETIVO GERAL

Promover Aprendizagem Significativa sobre o conceito de calor, propagação de calor e a Física envolvida no efeito estufa, sendo esse fenômeno responsável pelo Aquecimento Global, para alunos do Ensino Médio.

## 3 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Que o aluno entenda sobre calor e suas formas de propagação, comparando a física estudada na sala de aula com fenômenos cotidianos;
- Trabalhar metodologias diversificadas, promovendo indícios de uma aprendizagem significativa sobre os conteúdos abordados;
- Desenvolver a leitura de textos;
- Debater sobre o fenômeno Efeito Estufa e o Aquecimento Global;
- Compreender a física envolvida no fenômeno do Efeito Estufa;
- Por meio de simuladores computacionais e experimentos, entender os fenômenos estudados;

## 4 - METODOLOGIA

A sequência didática conforme apresentado no Quadro 1 está composta por sete dias de aulas de cem minutos cada, desenvolvida iniciando com a aplicação de um questionário inicial para a investigação dos conhecimentos prévios dos alunos, aulas expositivas sobre os conceitos relacionados ao calor e ao efeito estufa, leitura de textos compartilhada entre os alunos como um apoio à exposição dos conteúdos, pesquisas realizadas em *sites* de busca durante a aula, revisão de conteúdos questionando os estudantes sobre os conteúdos trabalhados, simuladores computacionais de uso livre sobre as formas de propagação de calor e como gases de efeito estufa influenciam a temperatura terrestre, experimentos sobre a forma de transmissão de calor e como gases de efeito estufa (dióxido de carbono) absorvem as ondas de infravermelho, alterando a temperatura da Terra, conduzindo ao aquecimento global.

Este Produto Educacional foi desenvolvido e aplicado em uma escola pública do estado do Paraná com alunos do 1º ano do Ensino Médio do período matutino, no ano de 2021. Na turma havia 27 alunos matriculados. COSTA, G. L. (2023).

A seguir apresentam-se os Planos e o desenvolvimento de cada aula

### 4.1 – Aula 01 – Detectando os subsunções

No Quadro 3 está apresentado o Plano da Aula 01.

**Quadro 3.** Plano de Aula 01

AULA 01
Duração: 100 minutos.
Conteúdos: Apresentação do Produto Educacional e aplicação do questionário.
Objetivos: Apresentar o Produto Educacional, responder o questionário inicial, verificar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre o tema a ser trabalhado.
Metodologia: Será explicado sobre o Produto Educacional e aplicado o questionário inicial. Na aplicação por meio do ensino remoto será utilizado o aplicativo Aula Paraná, disponibilizando o <i>link</i> da videochamada por meio do aplicativo <i>Google Meet</i> .
Referências Bibliográficas: BÔAS, N.V. <b>Óptica</b> . São Paulo: Objetivo, 1-68p.

LUZ, A.M.R. da, ÁLVARES, B.A., GUIMARÃES, C.C. **Física: contexto & aplicações: ensino médio**. 2. Ed. São Paulo: Scipione, 2016.

Fonte: elaborado pela autora (2021).

### **Desenvolvimento da Aula 01**

Após a apresentação do tema a ser trabalhado. Aplicou-se o questionário contendo nove questões para detectar os conhecimentos prévios que os alunos possuem sobre o assunto, e analisar se há a necessidade de inserir organizadores prévios durante a aplicação.

#### **QUESTIONÁRIO INICIAL**

1) Em um recipiente há dois frascos A e B. O frasco A com 40 mL de água e o B com 20 mL de água, ambos na temperatura ambiente. Colocando-os sobre uma chama, de modo que recebam a mesma quantidade de calor, após determinado tempo antes de entrar em equilíbrio térmico nota-se que:

- a) O frasco A apresenta temperatura maior que o frasco B.
- b) O frasco B apresenta temperatura maior que o frasco A.
- c) Ambos apresentam a mesma temperatura.
- d) O frasco B recebeu mais calor que o frasco A.

**Resposta:** B

2) Explique por que os aparelhos de ar-condicionado geralmente são instalados no alto e as lareiras embaixo?

**Resposta:** O ar quente sendo menos denso sobe, logo, o ar frio, mais denso, desce, formando correntes de convecção. A densidade é menor devido ao aumento da agitação térmica das moléculas e átomos movendo-se mais rapidamente e aumentam o espaço entre moléculas/átomos, expandindo o fluido de forma que o volume aumenta e a densidade diminui. E o processo oposto para maior densidade.

3) Uma colher metálica é colocada em uma panela sobre a chama de um fogão. Após algum tempo a colher está quente. Como você explica?

**Resposta:** O fato ocorre em razão da condução térmica na qual ocorre transferência de calor da panela para a colher, e pelo fato de os metais serem bons condutores térmicos.

- 4) Imagine a situação: Você está saindo de casa em um dia de verão com uma roupa preta. Sua avó, ao te ver, fala: “Hoje está muito quente, coloca uma camiseta clara”. Você sabe explicar o porquê desta recomendação?

**Resposta:** O tecido da cor clara refletirá energia, enquanto que o tecido de cor escura absorverá maior energia. Pois a cor preta absorve todos os comprimentos de onda e a cor branca reflete todos os comprimentos de onda.

- 5) Em dias de frio intenso é possível nos aquecermos em uma fogueira. Qual o processo de propagação de calor envolvido?

**Resposta:** Propagação de calor por meio da radiação.

- 6) A temperatura do café se mantém aproximadamente constante no interior de uma garrafa térmica perfeitamente vedada. Como você explica esse isolamento?

**Resposta:** A garrafa térmica é constituída por duas camadas, feitas de um material isolante térmico, sendo a camada interna de vidro. Cada parte da garrafa tem uma função:

- A garrafa térmica é constituída por duas camadas feitas de um material isolante térmico, sendo a camada interna de vidro. O vácuo entre as camadas evita que ocorra o processo de propagação de calor por condução, pois esse processo necessita de um meio material para se propagar;
- As superfícies espelhadas das camadas internas evitam que aconteça troca de calor por radiação, pois refletem as ondas de calor mantendo a temperatura;
- A tampa impede a troca de calor por convecção, impedindo contato entre o ar e o líquido no interior da garrafa.

Assim, a garrafa térmica conserva a temperatura do líquido em seu interior por mais tempo.

- 7) Sobre o Aquecimento Global, o que causa esse fenômeno?

**Resposta:** O aquecimento Global corresponde ao aumento da temperatura média terrestre devido à intensificação dos gases de efeito estufa resultante das práticas humanas.

- 8) Sobre o efeito estufa, você sabe descrever o que é esse fenômeno?

**Resposta:** O efeito estufa é um fenômeno natural, responsável por manter a temperatura da Terra adequada, permitindo a existência de vida no planeta. Quando os raios solares atingem a atmosfera, devido à camada de gases de efeito estufa, parte da radiação atinge a superfície terrestre, aquecendo-a e irradiando calor, a outra parte é refletida. Os gases de efeito estufa absorvem a energia irradiada pela Terra. Com o aumento desses gases, maior quantidade de calor está sendo retida na atmosfera, resultando no aumento da temperatura planetária.



9) O fenômeno Efeito Estufa é prejudicial para a vida na Terra?

**Resposta:** O efeito estufa é responsável por manter a temperatura da Terra adequada para a existência da vida. No entanto, com o aumento da emissão de gases de efeito estufa, essa temperatura está aumentando, resultando no aquecimento global.

Sugere-se a correção e registrar se os alunos possuem o conhecimento prévio (subsunçores) sobre o assunto. Caso não os tenha pode-se acrescentar os organizadores prévios para auxiliar na aquisição dos mesmos.

#### 4.2 – Aula 02 – Temperatura, Calor e suas formas de propagação

No Quadro 4 está apresentado o Plano da Aula 02.

**Quadro 4.** Plano de aula 02

AULA 02
Duração: 100 minutos.
Conteúdos: Calor, Temperatura e as Formas de Propagação de Calor.
Objetivos: compreensão do conceito de calor, temperatura e as formas de propagação de calor.
Metodologia e recursos didáticos: Disponibilizando o <i>link</i> da videochamada por meio do aplicativo <i>Google Meet</i> e partindo dos conhecimentos prévios dos estudantes analisados no questionário inicial, com o auxílio do texto: O Calor como Energia, expor o conteúdo sobre calor, suas formas de propagação e temperatura. Realizar simulações sobre as formas de transferência de calor por meio do programa de simulação: <i>Energy2D1 – Interactive Heat Transfer Simulations for Everyon do National Science Foundation – The Concord Consortium (EUA)</i> . Transferência de Calor por condução: Energy2D. V3.03:examples/conduction1.e2D. Transferência de Calor por Convecção: Energy2D. V3.03:examples/natural-convection temperature.e2D. Transferência de Calor por Radiação: Energy2D.V3.03:examples/concovie.e2D.
Referências Bibliográficas: LUZ, A.M.R.; ÁLVARES, B.A.; GUIMARÃES, C.C. <b>Física:</b> contexto e aplicações: ensino médio. Página 57. 2. Ed. São Paulo: Scipione, 2016. HALLIDAY, D. <b>Fundamentos de física, volume2:</b> gravitação, ondas e termodinâmica. 10. Ed. Rio de Janeiro, LTC: 2020. Energy2D. V3.03:examples/conduction1.e2D. Energy2D. V3.03:examples/natural-convection temperature.e2D. Energy2D.V3.03:examples/concovie.e2D.

**Fonte:** elaborado pela autora (2021).

#### Desenvolvimento da Aula 02

Para a compreensão do conteúdo sugere-se iniciar com o Texto 1.

### ***TEXTO 1 - O calor como Energia: a teoria do calórico***

Quando analisamos o conceito de equilíbrio térmico observamos que se dois objetos à temperaturas diferentes são colocados em contato, eles atingem, após um certo tempo, a mesma temperatura. Até o início do século XIX os cientistas explicavam esse fato supondo que todos os objetos continham, em seu interior, uma substância fluida, invisível, de massa desprezível, denominada calórico. Quanto maior fosse a temperatura de um objeto, maior seria a quantidade de calórico em seu interior.

De acordo com esse modelo, quando dois objetos à temperaturas diferentes eram colocados em contato, haveria passagem de calórico do objeto mais quente para o mais frio, acarretando diminuição de temperatura do primeiro e aumento na temperatura do segundo. Quando os objetos atingiam a mesma temperatura, o fluxo de calórico era interrompido e eles permaneceriam, a partir daquele instante, em equilíbrio térmico.

Apesar de esta teoria explicar satisfatoriamente muitos fenômenos, alguns físicos mostravam-se insatisfeitos com certos aspectos fundamentais da ideia do calórico, o que levou à sua substituição por outra mais adequada, na qual o calor é considerado uma forma de energia.

A ideia de que o calor é energia foi introduzida por Rumford, um engenheiro militar que em 1798 trabalhava na perfuração de canos de canhão. Observando o aquecimento das peças ao serem perfuradas, Rumford percebeu que era possível atribuir esse aquecimento ao trabalho que era realizado contra o atrito na perfuração. Em outras palavras, a energia empregada na realização daquele trabalho era transferida para as peças, provocando a elevação de suas temperaturas. Portanto, a antiga ideia de que os objetos mais aquecidos possuíam maior quantidade de calórico começava a ser substituída pela concepção de que esses objetos possuem, realmente, maior quantidade de energia.

A divulgação dessa hipótese provocou muitas discussões entre os cientistas do século XIX. Alguns deles realizaram experiências que vieram a confirmar as suposições de Rumford. Entre eles, devemos destacar James P. Joule (1818-1889), pois foram experiências realizadas por ele que acabaram estabelecendo, definitivamente, que o calor é uma energia.

Atualmente, considera-se que quando a temperatura de um objeto é aumentada, a energia que ele possui em seu interior, denominada energia interna, também aumenta. Se esse objeto é colocado próximo ou em contato com outro de temperatura mais baixa, haverá transferência de energia do primeiro para o segundo. Essa energia é denominada calor. Portanto, o conceito de calor passou a ser o seguinte: Calor é a energia transferida de um

objeto para outro em virtude, unicamente, de uma diferença de temperatura entre eles, de forma espontânea.

Existem três mecanismos de transferência de energia na forma de calor: condução, convecção e radiação.

Se deixarmos uma panela com cabo no fogo, por algum tempo, o cabo fica tão quente quanto a região que está próxima ao fogo. A energia é transferida da panela para o cabo por condução. Os elétrons dos átomos da panela vibram intensamente por causa da temperatura a que estão expostos. Essas vibrações e a energia associada são transferidas para o cabo por colisões entre os átomos.

Convecção é um tipo de transferência de energia que ocorre entre fluidos. Quando um fluido entra em contato com um objeto cuja temperatura é maior, a temperatura da parte do fluido que está em contato com o objeto (de maior temperatura) aumenta e parte desse fluido se expande, ficando menos densa. Como o fluido expandido é mais leve do que o fluido que o cerca, que está mais frio, a força de empuxo o faz subir. O fluido mais frio escoar para tomar o lugar do fluido mais quente que sobe, e o processo pode continuar indefinidamente.

Um sistema e um ambiente podem trocar energia por meio de ondas eletromagnéticas. As ondas eletromagnéticas que transferem calor são chamadas de radiação térmica. Quando nos aproximamos de uma fogueira, há um aquecimento por meio da radiação térmica proveniente do fogo, ou seja, nossa energia térmica aumenta ao mesmo tempo em que a energia térmica do fogo diminui. Não sendo necessário um meio material para que o calor transferido por radiação se propague. O calor do Sol chega até a Terra através do vácuo.

A radiação emitida por um corpo devido à sua temperatura também é chamada de radiação térmica. Todo corpo emite esse tipo de radiação para o meio, e dele a absorve. Se um copo está mais quente que o meio, irá se esfriar, porque sua taxa de emissão de energia excede a taxa de absorção. Quando o equilíbrio térmico é atingido essas taxas ficam iguais.

Fontes: LUZ, A.M.R.; ÁLVARES, B.A.; GUIMARÃES, C.C. **Física**: contexto e aplicações: ensino médio. Página 57. 2. Ed. São Paulo: Scipione, 2016.  
HALLIDAY, D. **Fundamentos de física, volume2**: gravitação, ondas e termodinâmica. 10. Ed. Rio de Janeiro, LTC: 2020.

Após a leitura do Texto 1 reforçar os conceitos que nele estão apresentados,

- Temperatura é a medida do grau de agitação térmica das moléculas que um corpo possui, e para sua aferição utiliza-se o termômetro ou um termopar;
- Calor é a energia transferida de um objeto para outro em virtude, unicamente, de uma diferença de temperatura entre eles, de forma espontânea.

- Equilíbrio térmico é um ponto do processo termodinâmico em que após algum tempo dois corpos de diferentes temperaturas em contato atingem a mesma temperatura, a partir deste instante o calor deixa de existir pois não haverá mais transferência de energia entre eles.

Para a explicação sobre as formas de propagação de calor, utilizar primeiramente os simuladores juntamente com a parte contida no Texto 1 sobre o conteúdo.

## SIMULADORES

Realização da simulação sobre as formas de propagação de calor por meio do programa Energy2D – *Interactive Heat Transfer Simulations for Everyone (Simulações Interativas de Transferência de Calor)* do *National Science Foundation – The Concord Consortium (EUA)*. Esse programa pode ser baixado e instalado no computador do link: <https://energy.concord.org/energy2d/download.html>. Utilizar um projetor para a apresentação. No estado do Paraná, pode-se utilizar o conjunto Educatron que contém uma tv tela plana de 43 polegadas que pode ser acoplada ao computador e a *internet* entre outras recursos.

O simulador Energy2D permite elaborar outras simulações, mas neste trabalho é utilizado os disponíveis nos exemplos. Após a instalação, a tela inicial do programa é como a apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Cópia da Tela inicial do Programa Energy2D.



Fonte: Programa Energy2D1 – Interactive Heat Transfer Simulations for Everyone do National Science Foundation – The Concord Consortium (EUA).

No programa ENERGY2D1, são apresentados exemplos de simulações de Convecção, Condução e Radiação (Figura 2) entre outros.

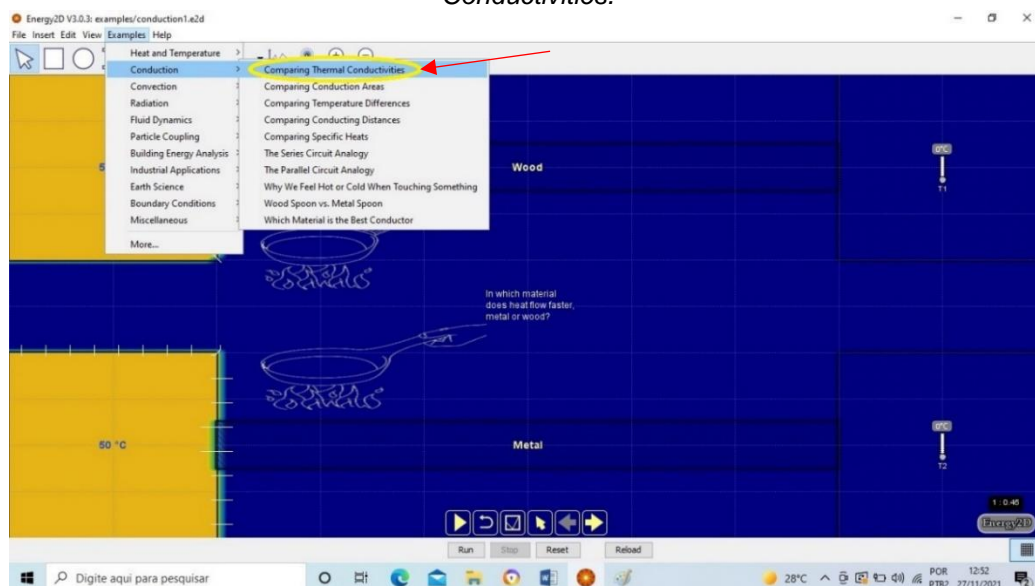
Figura 2 – Cópia da tela do Energy2D1. Selecionando a aba *Examples* (Exemplos).



Fonte: Programa Energy2D1 – Interactive Heat Transfer Simulations for Everyone do National Science Foundation – The Concord Consortium (EUA)

- **Na simulação de Propagação de Calor por Condução**
- No programa *Energy2D1. V3.03:examples/conduction1.e2d*, primeiramente abra a aba *Examples* (exemplos) e selecione clicando com o *mouse* no primeiro item *Conduction* (condução) e clique na opção *Comparing Thermal Conductivities* (comparando condutividades térmicas) circulado em amarelo no alto da tela e indicado pela seta em vermelho, conforme é observado na Figura 3.

Figura 3 – Tela do Energy2D1. Selecionando: *Examples, Conduction, Comparing Thermal Conductivities*.



Fonte: Programa Energy2D1 – Interactive Heat Transfer Simulations for Everyone do National Science Foundation – The Concord Consortium (EUA)

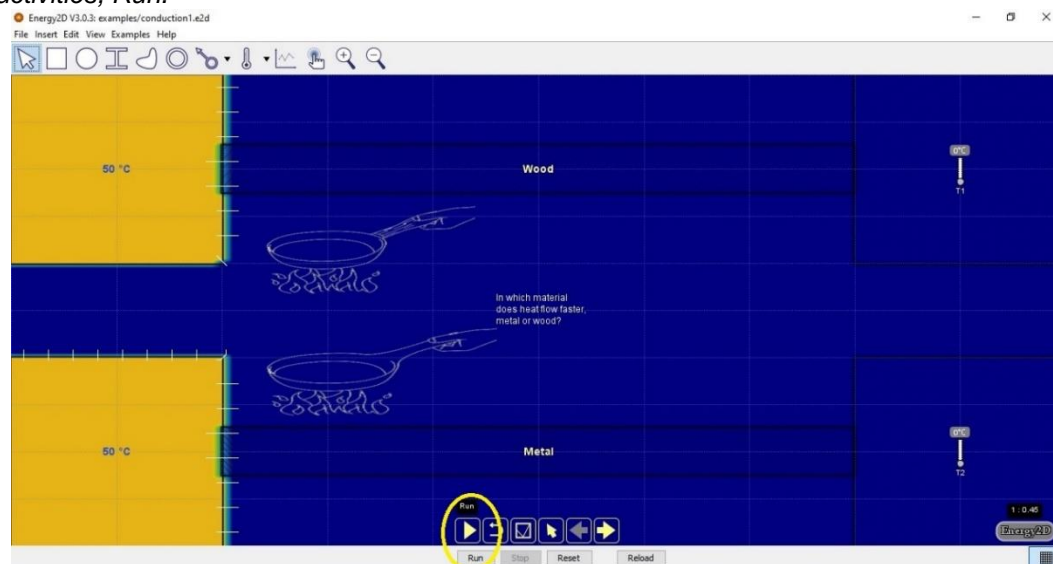
Nesta função do simulador será trabalhado a parte do Texto 1 que diz:

“Se deixarmos uma panela com cabo no fogo, por algum tempo, o cabo fica tão quente quanto a região que está próxima ao fogo. A energia é transferida da panela para o cabo por condução. Os elétrons dos átomos da panela vibram intensamente por causa da temperatura a que estão expostos. Essas vibrações e a energia associada são transferidas para o cabo por colisões entre os átomos. “

Para apresentar de forma visual o contido no texto sobre o processo de condução de calor, no simulador aparecerá na parte superior uma panela com cabo de madeira (*wood*) e outra abaixo com cabo de metal (*metal*), e há a seguinte questão no meio: Qual dos materiais o calor irá fluir mais rapidamente, o de metal ou de madeira? Ambos estarão inicialmente a 50°C. E a direita há um termômetro, inicialmente zerados, para cada cabo.

Para responder à questão apresentada, após a seleção do exemplo de condução de calor coloque o programa para rodar, clicando sobre o comando *run* na parte inferior da tela indicada pelo círculo em amarelo conforme é apresentado na Figura 4.

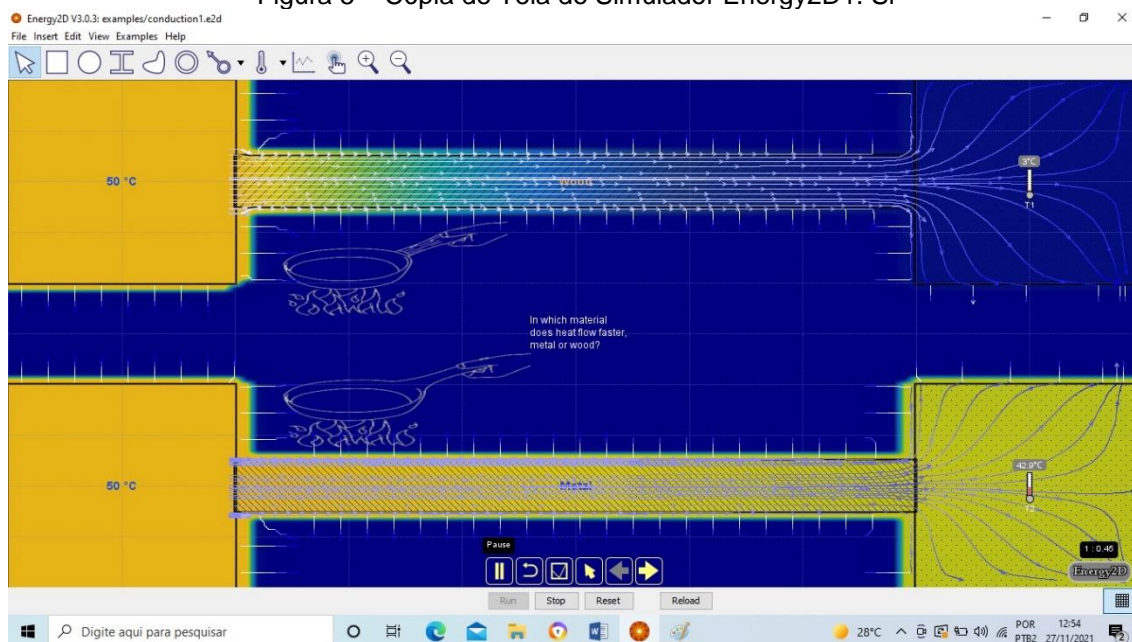
Figura 4 – Cópia da tela do Energy2D1. Selecionando: *Examples, Conduction, Comparing Thermal Conductivities, Run*.



Fonte: Programa Energy2D1 – Interactive Heat Transfer Simulations for Everyone do National Science Foundation – The Concord Consortium (EUA)

A Figura 5 apresenta uma cópia de tela da simulação final obtida no programa Energy2D1. Indicando a propagação de calor ocorrida.

Figura 5 – Cópia de Tela do Simulador Energy2D1. Si



Fonte: Programa Energy2D1 – Interactive Heat Transfer Simulations for Everyone do National Science Foundation – The Concord Consortium (EUA)

Observa-se que o cabo de metal atinge a temperatura de 50°C mais rapidamente, pois neste instante o cabo de madeira apresenta 23,5°C.

Para repetir o experimento clique na parte inferior da tela no ícone *reset* indicado com uma seta de retorno.

Também pode-se observar o “fluxo” de calor que ocorre durante a transferência de calor para cada material, e que ocorre de forma mais rápida para a panela com cabo de metal respondendo a questão apresentada no simulador.

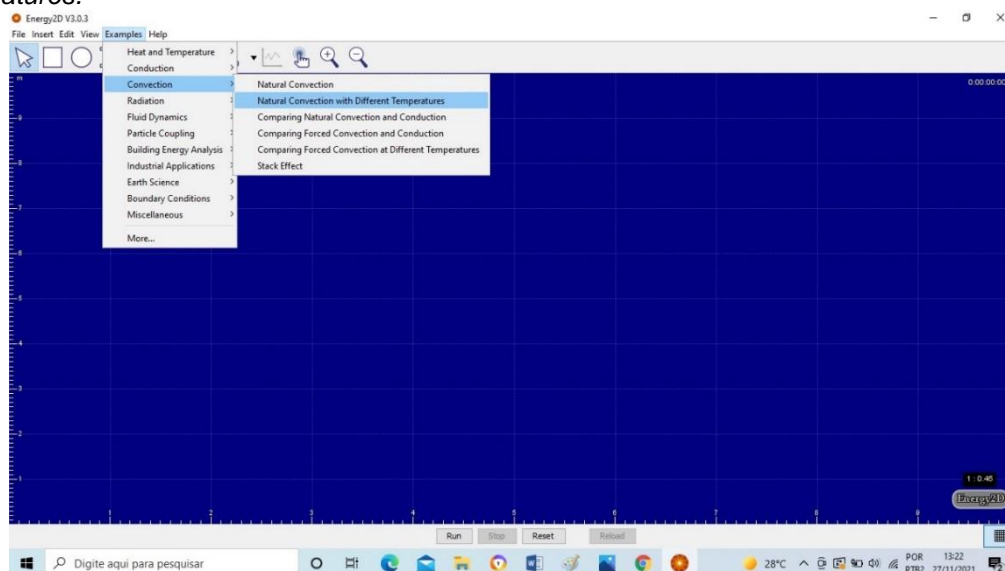
- **Simulador de Propagação de Calor por Convecção**

Para explicar com o simulador a seguinte parte do Texto 1:

“Convecção é um tipo de propagação de energia que ocorre entre fluidos. Quando um fluido entra em contato com um objeto cuja temperatura é maior, a temperatura da parte do fluido que está em contato com o objeto (de maior temperatura) aumenta e parte desse fluido se expande, ficando menos densa. Como o fluido expandido é mais leve do que o fluido que o cerca, que está mais frio, a força de empuxo o faz subir. O fluido mais frio escoar para tomar o lugar do fluido mais quente que sobe, e o processo pode continuar indefinidamente.”

Selecione na aba *examples* (exemplos) o item *Convection* (convecção) e depois *natural convection with different temperatures* (convecção natural com diferentes temperaturas), a tela apresentada é a da Figura 6.

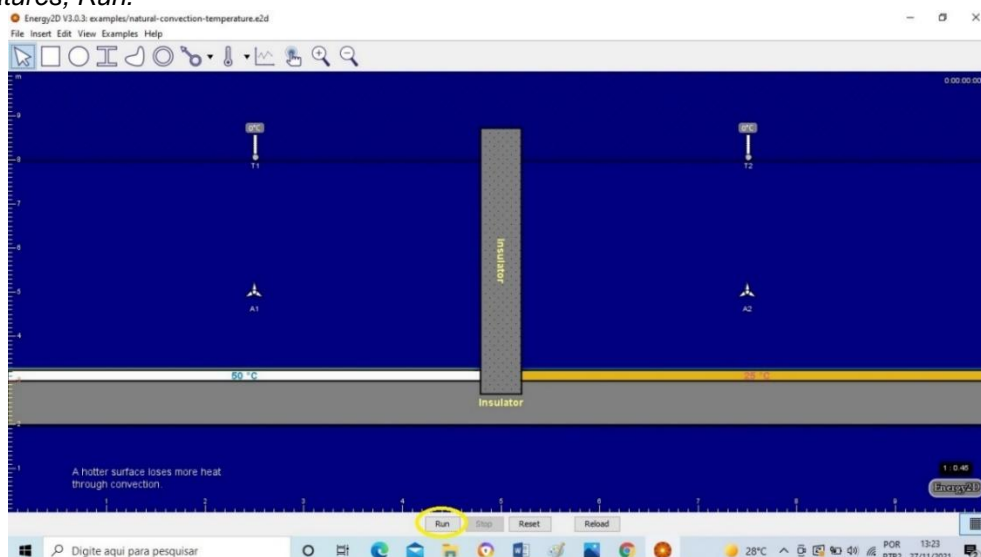
Figura 6 – Cópia de Tela do Energy2D1, *Examples, convection, Natural Convection With Different Temperatures*.



Fonte: Programa Energy2D1 – Interactive Heat Transfer Simulations for Everyone do National Science Foundation – The Concord Consortium (EUA)

Após a seleção do exemplo de calor por convecção colocar o programa para rodar clicando na parte inferior da tela em *run*, indicado por um círculo em amarelo na Figura 7.

Figura 7– Cópia de Tela do Energy2D1, *Examples, convection, Natural Convection With Different Temperatures, Run*.



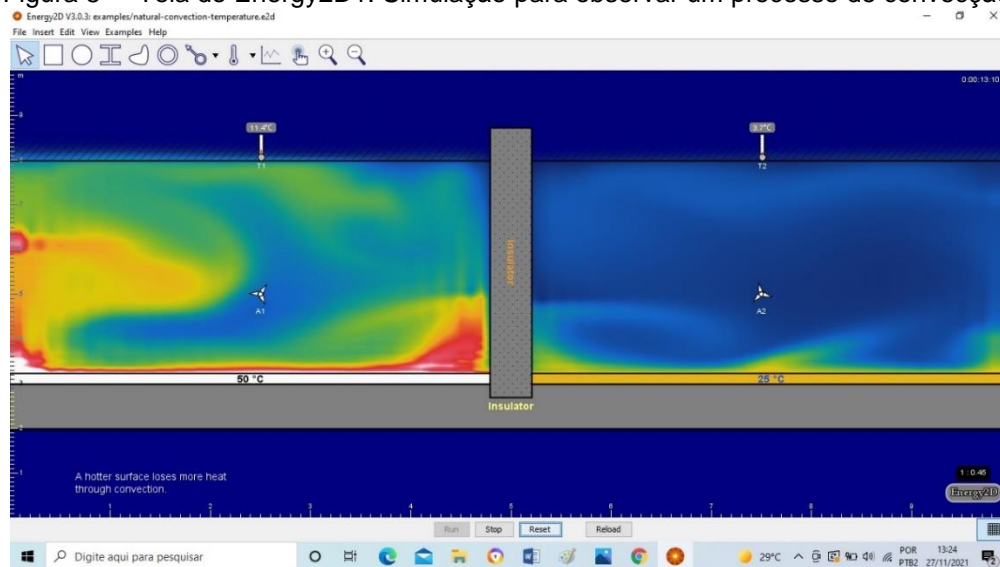
Fonte: Programa Energy2D1 – Interactive Heat Transfer Simulations for Everyone do National Science Foundation – The Concord Consortium (EUA)



No meio dos dois ambientes há um material isolante (*insulator*). No alto há um termômetro para cada ambiente. A base do ambiente a esquerda da tela está a 50°C e o da direita está a 25°C. No meio de cada um há uma hélice. Na parte inferior há a mensagem: *A hotter surface loses more heat through convection* (Uma superfície quente perde mais calor através da convecção).

A Figura 8 apresenta a simulação final obtida no programa Energy2D1 do exemplo de calor por convecção.

Figura 8 – Tela do Energy2D1. Simulação para observar um processo de convecção.



Fonte: Programa Energy2D1 – Interactive Heat Transfer Simulations for Everyone do National Science Foundation – The Concord Consortium (EUA)

O que se observa é que a hélice do lado esquerdo se move mais do que o da direita da tela. Isso ocorre por este ambiente estar submetido a uma maior temperatura e a agitação térmica ser maior. As cores indicam onde a temperatura é maior (vermelha) e onde a temperatura é menor (azul). E que devido o ar quente ser menos denso a cor vermelha sobe rapidamente para a parte superior do recipiente criando uma corrente de convecção. Observe que a temperatura no termômetro no alto do ambiente oscila bastante indicando a temperatura da cor do ar que a toca.

Esse tipo de processo de propagação de calor só ocorre em líquidos ou gases pois na convecção a energia térmica é transferida por meio do transporte de matéria, por isso se visualiza a “turbulência” no interior dos recipientes, sendo maior no de maior temperatura.

- **Simulação de Propagação de Calor por Radiação**

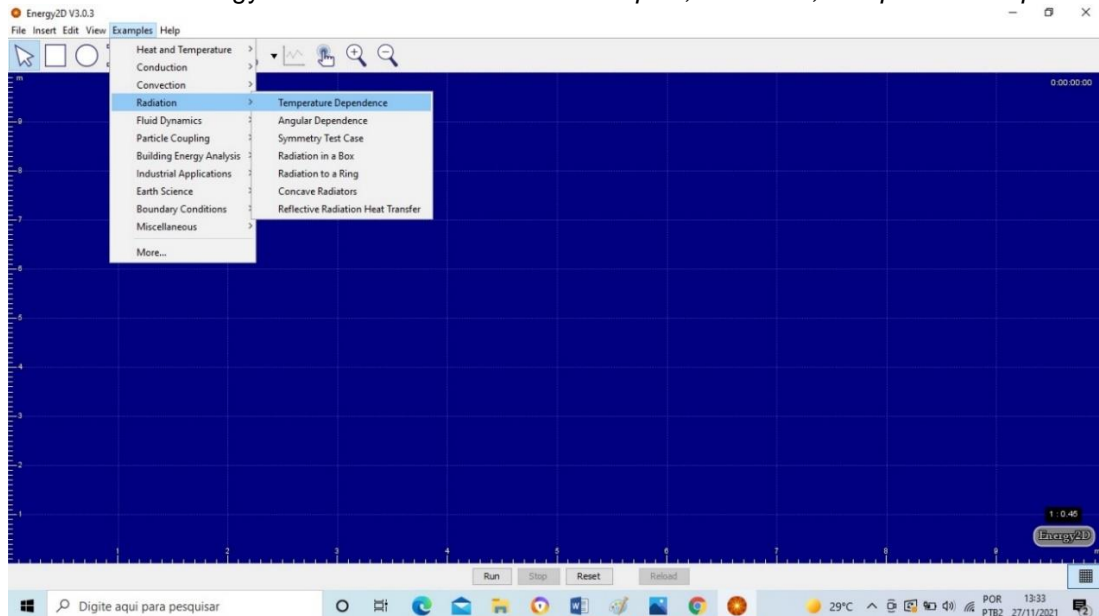
A parte a que se refere o uso deste simulador no Texto 1 é:

“Um sistema e um ambiente podem trocar energia apor meio de ondas eletromagnéticas. As ondas eletromagnéticas que transferem calor são chamadas de radiação térmica. Quando nos aproximamos de uma fogueira, há um aquecimento por meio da radiação térmica proveniente do fogo, ou seja, nossa energia térmica aumenta ao mesmo tempo em que a energia térmica do fogo diminui. Não sendo necessário um meio material para que o calor transferido por radiação se propague. O calor do Sol chega até a Terra através do vácuo.

A radiação emitida por um corpo devido à sua temperatura também é chamada de radiação térmica. Todo corpo emite esse tipo de radiação para o meio, e dele a absorve. Se um copo está mais quente que o meio, irá se esfriar, porque sua taxa de emissão de energia excede a taxa de absorção. Quando o equilíbrio térmico é atingido essas taxas ficam iguais.”

- Selecione a aba *Examples* (exemplos), e depois no item *Radiation, Temperature Dependence*.(Radiação, dependência da temperatura) conforme indicado na Figura 9.

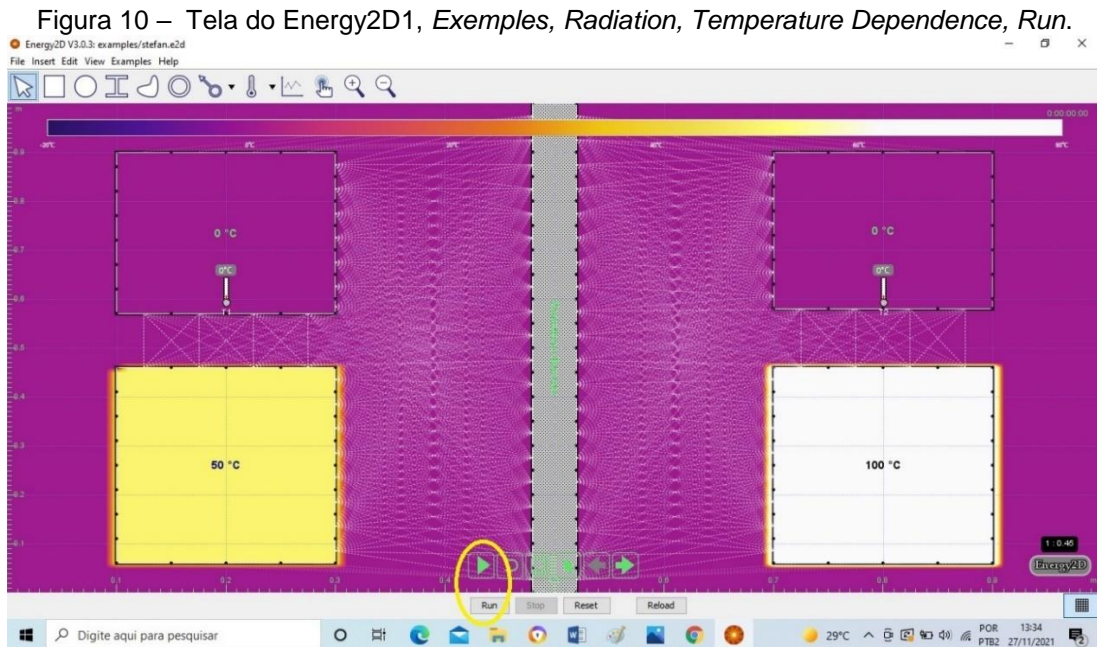
Figura 9 – Tela do Energy2D1. Selecionando a aba *Examples, Radiation, Temperature Dependence*.



Fonte: Programa Energy2D1 – Interactive Heat Transfer Simulations for Everyon do National Science Foundation – The Concord Consortium (EUA)

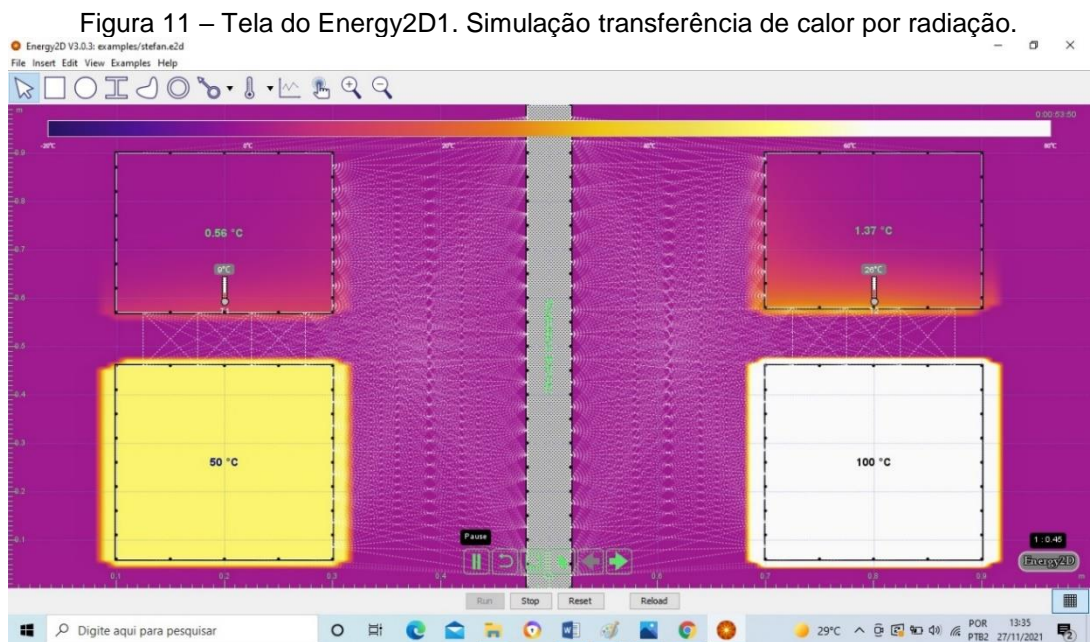
Aparecerá a tela apresentada na Figura 10 com dois ambientes isolados termicamente, e com “caixas” com diferentes temperaturas na sua parte inferior, à esquerda a 50°C e à direita a 100 °C. Na parte superior para cada ambiente há uma outra “caixa”, sem contato térmico com a “caixa” inferior, com um termômetro cada

um, zerados inicialmente. Clique em *run* para iniciar a simulação para observar o processo de transferência de calor por radiação em cada ambiente.



Fonte: Programa Energy2D1 – Interactive Heat Transfer Simulations for Everyone do National Science Foundation – The Concord Consortium (EUA).

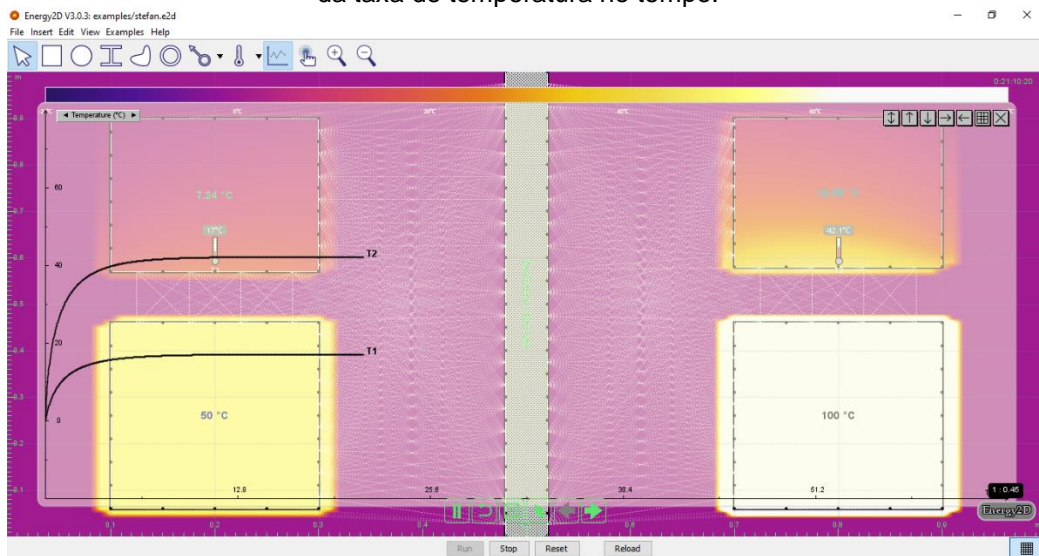
A simulação final obtida será como a apresentada na Figura 11, em que ocorre mudança na temperatura em ambos os ambientes.



Fonte: Programa Energy2D1 – Interactive Heat Transfer Simulations for Everyon do National Science Foundation – The Concord Consortium (EUA)

Conforme ocorre a simulação o termômetro no corpo superior de cada ambiente varia a sua temperatura de forma diferente. No ambiente a direita o corpo superior absorve a energia emitida pelo corpo inferior mais rapidamente do que o mesmo processo no ambiente a esquerda, mas após algum tempo a absorção se torna constante em ambos os ambientes. Isso pode ser observado clicando na parte inferior da tela em *open graph* (abra gráfico) e aparecerá a taxa da temperatura variando no tempo, conforme apresentado na Figura 12 a esquerda da tela.

Figura 12 – Tela do Energy2D1. Simulação transferência de calor por radiação com o gráfico da taxa de temperatura no tempo.



Fonte: Programa Energy2D1 – Interactive Heat Transfer Simulations for Everyone do National Science Foundation – The Concord Consortium (EUA)

Encerrar a aula com discussões sobre o conteúdo apresentado e que na próxima aula farão experimentos trabalhando os mesmos conteúdos.

### 4.3 – Aula 03 – continuação Calor e suas formas de propagação

Nesta aula, continuação do conteúdo da aula anterior, explora-se o funcionamento de uma garrafa térmica e suas partes, e três experimentos um para cada método de propagação, realizados em sala de aula. O material pode ser providenciado pelos alunos ou pelo docente. Mas como envolve fogo aconselha-se o docente faça e os alunos observem. No Quadro 5 está apresentado o Plano dessa aula.

### Quadro 5. Plano de Aula 03

AULA 03
Duração: 100 minutos.
Conteúdos: Calor e Formas de Propagação de Calor.
Objetivos: Entender o conceito de Calor, as Formas de Propagação de Calor e o funcionamento de uma garrafa térmica.
Metodologia e recursos didáticos: Disponibilizando o <i>link</i> da videochamada por meio do aplicativo <i>Google Meet</i> e com o auxílio do texto “Calor e Garrafa Térmica”, explicar sobre as formas de propagação de calor que impedem a troca de calor do líquido de uma garrafa térmica com o meio externo. Realizar experimentos envolvendo as Formas de Propagação de Calor: condução, convecção e radiação.
Referências Bibliográficas: YAMAMOTO, K.; FUKU, L.F. <b>Física para ensino médio, vol. 2</b> : termologia, óptica, ondulatória. 4.ed. São Paulo: Saraiva, 2016 <a href="https://www.preparaenem.com/fisica/garrafa-termica.htm">https://www.preparaenem.com/fisica/garrafa-termica.htm</a> - Acesso em: maio/2021 <a href="https://www.youtube.com/watch?v=dazOL4t9uFQ">https://www.youtube.com/watch?v=dazOL4t9uFQ</a> – Acesso em: maio/2021 <a href="https://www.youtube.com/watch?v=cHuCEJkZRgA">https://www.youtube.com/watch?v=cHuCEJkZRgA</a> – Acesso em: maio/2021 <a href="https://www.youtube.com/watch?v=dkZaiedR_ww">https://www.youtube.com/watch?v=dkZaiedR_ww</a> – Acesso em: maio/2021

Fonte: elaborado pela autora (2021).

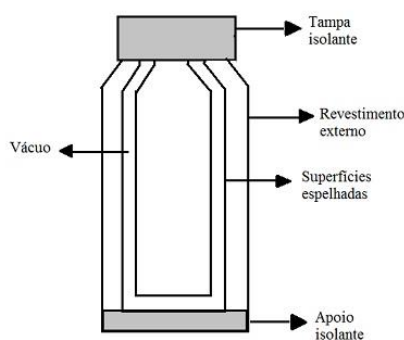
### Desenvolvimento da Aula 03

Para a explicação inicial utilizar o Texto 2.

#### **TEXTO 2 - Calor e Garrafa Térmica**

A garrafa térmica (com ampola de vidro) é construída de tal forma que evita a ocorrência dos três processos de trocas de calor mantendo a temperatura do líquido no seu interior por um determinado período de tempo variando de 4 a 15 horas. Ela é constituída conforme apresentado no desenho esquemático da Figura 1.

**Figura 1.** Desenho esquemático das partes que compõem uma garrafa térmica



Fonte: <https://www.preparaenem.com/fisica/garrafa-termica.htm>

A garrafa térmica é construída de forma a evitar trocas de calor por convecção, irradiação e condução

Como podemos ver na Figura 1, a garrafa térmica é constituída por duas camadas, como se uma garrafa estivesse dentro da outra e ambas utilizassem o mesmo gargalo. Essas camadas são feitas de um material isolante térmico, normalmente o vidro. Cada uma de suas partes tem uma função:

- O vácuo entre as duas camadas tem o objetivo de evitar que ocorra a condução, pois esse processo de troca de calor necessita de um meio material para acontecer;
- As superfícies espelhadas das camadas internas evitam que aconteça troca de calor por irradiação térmica, pois elas “refletem” as ondas de calor novamente para que a temperatura seja mantida;
- A tampa feita por material isolante evita que haja contato entre o ar e o líquido no interior da garrafa, assim não ocorre a convecção. Caso houvesse contato do ar com o líquido quente ou frio de dentro da garrafa, o movimento do ar faria com que ocorresse a convecção.

**Fonte:** <https://www.preparaenem.com/fisica/garrafa-termica.htm> - acesso em maio/2021

Na sequência apresenta-se três roteiros experimentos um para cada processo de propagação de calor. A objetivo é realizar com os alunos cada um deles.

## **EXPERIMENTOS**

### **Experimento 1 - PROPAGAÇÃO DE CALOR POR CONDUÇÃO (FIGURA 13).**

**Fonte:** experimento adaptado de SPACHI, P. Condução de calor. 2009 Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=dazOL4t9uFQ>

- **Materiais utilizados**
- ❖ Suporte (2 canecas de louça);
- ❖ Régua de metal de 30 cm, ou uma barra de metal;
- ❖ Parafina (1 vela);
- ❖ 2 Pregos (ou dois parafusos com cabeça);
- ❖ 1 Vela de altura menor do que a altura das canecas fixadas em um pires.
- ❖ 1 caixa de Fósforos ou 1 isqueiro.

- **Procedimento**

Fixe os pregos na régua de metal com parafina, a uma distância de 5 cm um do outro. Para isso pingue a parafina derretida da vela acesa na régua e fixe a cabeça do prego. Apoie as extremidades da régua sobre dois suportes (canecas de louça), com os pregos voltados para baixo. Em seguida, coloque a chama da vela em contato com uma das extremidades da régua de metal. Conforme a imagem da Figura 13. Observe o que ocorre com os pregos no decorrer do tempo.

**Figura 13.** Experimento de condução de calor.



**Fonte:** arquivos da autora (2021).

- **Resultado**

Os pregos irão se soltar da régua de metal, primeiro o que está mais próximo da chama.

- **Conclusão**

O processo de transmissão de calor foi conduzido pelo metal da extremidade de maior temperatura para a de menor temperatura de forma espontânea.

## **Experimento 2 - PROPAGAÇÃO DE CALOR POR MEIO DA RADIAÇÃO (FIGURA 14).**

Fonte: adaptado de Lopes, H. Experimento – propagação de calor -irradiação. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=cHuCEJkZRgA>

- **Materiais utilizados**

- ❖ 1 Vela;
- ❖ 1 caixa de Fósforo
- ❖ 1 pires ou prato de sobremesa, ou mesmo a caneca utilizada no experimento 1.

Pode-se utilizar tais materiais do experimento 1.

- **Procedimento**

Acenda a vela e fixe sobre o pires, ou no fundo da caneca virada de boca para baixo. Com a vela acesa, coloque a mão próxima às chamas. Conforme apresentado na Figura 14. Descreva a sensação na palma da mão.

**Figura 14.** Imagem fotográfica do Experimento de propagação de calor por meio da Radiação



**Fonte:** arquivos autora (2021).

- **Resultado**

A sensação é de que a temperatura da mão fica maior do que estava antes de aproximá-la da chama da vela.

- **Conclusão**

A transmissão de calor entre a chama da vela e a mão colocada próxima ocorre por meio da radiação de calor.



### **Experimento 3 - PROPAGAÇÃO DE CALOR POR CONVECÇÃO (FIGURA 15)**

**Fonte:** Adaptado de De Carli, E. (2014) Correntes de convecção na água. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4Ms4ww2qZv0>

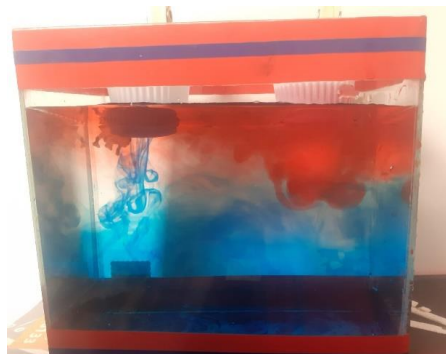
- **Materiais utilizados**

- ❖ Recipiente de vidro transparente (aquário por exemplo);
- ❖ 2 copos descartáveis pequenos;
- ❖ 2 pregadores de madeira;
- ❖ Corante azul;
- ❖ Corante vermelho;
- ❖ Água na temperatura ambiente;
- ❖ Água quente (temperatura maior do que a água em temperatura ambiente, mas que não deforme o copinho de plástico);
- ❖ Água fria (temperatura menor do que a água em temperatura ambiente);
- ❖ Agulha de costura.

- **Procedimento**

Coloca-se em um reservatório (recipiente de vidro transparente) água limpa a temperatura ambiente. Faça um orifício com a agulha de costura no centro do fundo de cada copinho descartável. Fixe-os na borda do reservatório na sua parte superior com pregadores de madeira a uma certa distância um do outro. Em um desses copos coloca-se água fria e corante azul, e no outro corante vermelho e água quente. Conforme ilustrado na Figura 15. Observe e descreva o que acontece quando ambos os líquidos caem no reservatório com água a temperatura ambiente.

**Figura 15.** Experimento de propagação de calor por convecção.



**Fonte:** arquivos da autora (2021)

- **Resultado**

A água quente de cor azul desloca-se para o fundo do recipiente enquanto que a de cor vermelha (água a temperatura ambiente) fica na parte superior do recipiente sem se misturarem.

- **Conclusão**

A densidade das águas quente e fria não são iguais, por isso a água quente de cor azul desce e a vermelha sobe e isso causa uma possível corrente de convecção.

Para o fechamento da aula abre-se para a discussão do ocorrido em cada experimento fazendo relação com o observado nos simuladores e com o que eles conhecem no cotidiano em que aparecem tais fenômenos. Como por exemplo o fato do congelador ou aparelho de ar condicionado ficar na parte superior do seu ambiente, como o calor da chama de um carvão ou uma resistência de churrasqueira ligada atinge o alimento, o motivo dos cabos de panela não serem de metal na sua maioria, entre outros.

Sugestão - Pode-se questionar: se vimos que o corpo de cor preta absorve todos os comprimentos de onda e a branca reflete (resposta da Questão 4 do questionário inicial/final), por qual motivo os Beduínos utilizam roupas largas e pretas no deserto? E as formas de propagação de calor. Como apresentado por Mayara Assoni Timbó de Souza (2011) no *site* do museu dinâmico interdisciplinar:

[...] conforme a luz vai sendo absorvida pela roupa preta e larga dos beduínos, ela vai esquentando, e conseqüentemente, esquenta o ar próximo a ela, ou seja, o ar entre a roupa e o corpo do beduíno. Como as vestes do beduíno são largas, o ar quente vai subir. O ar frio que virá ocupar o lugar do ar quente criará uma espécie de vento, não permitindo que o corpo do beduíno esquente muito. Fonte: <https://museudinamicointerdisciplinar.wordpress.com/2012/10/29/porque-os-beduinos-usam-roupas-pretas-e-largas-enquanto-vagam-no-deserto/> 2011, p.1.

Portanto, entra a questão do comprimento de onda a ser tratado e o processo de condução de calor por convecção como visto no último experimento.

#### 4.4 – Aula 04 – Calor e Energia Solar

Introduzido o conceito de temperatura, equilíbrio térmico e calor e suas formas de propagação. Os alunos já possuem condição de entender que o calor como forma de energia em trânsito pode ser emitida, absorvida, e refletida, dependendo dos meios que a envolvem. De forma que nesta aula já são direcionados para a energia que o sol emite e o que ocorre quando essa atinge a superfície do planeta Terra. O plano de aula está apresentado no Quadro 6.

**Quadro 6.** Plano de aula 04.

AULA 04
Duração: 100 minutos
Conteúdos: Intensidade de energia Solar, Energia refletida (albedo), taxa de energia absorvida e emitida, temperatura de equilíbrio e temperatura média de superfície do planeta, Lei de Stefan-Boltzmann.
Objetivos: Entenda a Intensidade de Energia Solar, energia refletida, taxa de energia absorvida e emitida, temperatura de equilíbrio e temperatura média do planeta. Calcular a temperatura de equilíbrio de um planeta com a equação estudada.
Metodologias e Recursos Didáticos: Após disponibilizar o <i>link</i> da videochamada por meio do aplicativo <i>Google Meet</i> , a aula iniciará tendo como base o texto “Efeito Estufa” e, a partir dele, expor os conteúdos sobre Intensidade de energia solar, Energia refletida (albedo), Taxa de energia Absorvida e emitida, Temperatura de equilíbrio e Temperatura média de superfície do Planeta, Lei de Stefan-Boltzmann, dedução matemática da fórmula usada para calcular a Temperatura de equilíbrio. Realização de atividade abordando os conteúdos expostos.
Referências Bibliográficas: JUNGES, A.L.; SANTOS, V.Y.; MASSONI, N.T. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. <b>Experiências em Ensino de Ciências</b> . 13.v, nº 5, 2018. 126-151 p.

Fonte: elaborado pela autora (2021).

#### **Desenvolvimento da Aula 04**

A aula se inicia com a leitura do texto sobre efeito estufa, o Texto 3.

### TEXTO 3 - Efeito Estufa

A Terra recebe energia do Sol e deve reemitir energia de volta para o espaço, de outro modo, se tornaria cada vez mais quente. Assim, deve existir uma temperatura de equilíbrio para a qual a taxa de energia absorvida é igual à taxa de energia emitida. A única forma de transferência de energia entre o Sol e a Terra é na forma de ondas eletromagnéticas.

A quantidade de energia refletida pelo planeta é conhecida como albedo do planeta.

Assim, a taxa de energia absorvida pelo planeta é obtida multiplicando a intensidade de energia solar ( $I$ ) pela área do disco com o raio do planeta, descontando o valor do albedo ( $\alpha$ ) do planeta:

Taxa de energia absorvida:  $\pi R^2 \times$  Intensidade de energia solar  $\times$  (1 – albedo)

Taxa de energia absorvida =  $\pi R^2 I (1 - \alpha)$

Se o planeta absorve energia, ele deve reemitir-la de volta para o espaço na mesma taxa. Para determinar a taxa que os planetas emitem energia de volta para o espaço, recorre-se à lei de Stefan-Boltzmann: a intensidade ( $I$ ) de energia emitida por um corpo é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta desse corpo:

$I = \sigma T_e^4$  (onde  $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2$  é conhecida como constante de Boltzmann e  $T_e$  é a temperatura de equilíbrio do planeta dada em Kelvin).

Assim, para obter a taxa total de energia emitida por um planeta é preciso multiplicar a intensidade ( $I$ ) pela área da superfície do planeta:

Taxa de energia emitida =  $4\pi R^2 T_e^4$

A Temperatura de equilíbrio ( $T_c$ ) do planeta pode ser calculada pela expressão matemática:

Taxa de Energia Absorvida = Taxa de energia Emitida

$$\pi R^2 I (1 - \alpha) = 4\pi R^2 \sigma T_e^4$$

$$I(1 - \alpha) = 4\sigma T_e^4$$

$$\frac{I(1-\alpha)}{4\sigma} = T_e^4$$

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{I(1 - \alpha)}{4\sigma}}$$

Eq. (1)

Em que

R: Raio do círculo

I: Intensidade de energia emitida

$\alpha$ : albedo do planeta

$\sigma$ : constante de Stefan-Boltzmann

$T_e$ : Temperatura de equilíbrio do planeta

A Tabela 1 apresenta um comparativo dos valores da Intensidade ( $I$ ), albedo ( $\alpha$ ) e valores da temperatura de equilíbrio e da temperatura de superfície para o planeta Terra e Vênus:

**Tabela 1.** Valores da intensidade ( $I$ ), albedo ( $\alpha$ ), temperaturas de equilíbrio e temperaturas de superfície de alguns planetas em Kelvin (K).

Planeta	Intensidade ( $W/m^2$ )	Albedo	Temperatura de Equilíbrio (K)	Temperatura Média de Superfície (K)
Terra	1360	0,3	255	288
Vênus	2600	0,77	226	737

Fonte: <<https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet>>.

Observando o valor da temperatura de equilíbrio de 255 K ( $-18^{\circ}C$ ), não poderia existir vida nesse planeta, podendo existir espessas camadas de gelo nos continentes. Porém, a temperatura média de superfície é de 288 K ( $15^{\circ}C$ ). Assim, temos uma distinção entre temperatura de equilíbrio e temperatura de superfície do planeta.

Um planeta que possui uma atmosfera substancial (espessa contendo gases de efeito estufa), a radiação emitida pela superfície é absorvida por sua atmosfera antes que ela alcance o espaço exterior.

Na Terra, a concentração de gases atmosféricos é dominada por nitrogênio (78%) e oxigênio (21%), argônio (0,9%) e gases de efeito estufa como o dióxido de carbono (0,037%). O dióxido de carbono junto com outros gases estufa como o vapor d'água, metano e óxido nítrico, são responsáveis por aumentar a temperatura da Terra em cerca de  $30^{\circ}C$  acima da temperatura de equilíbrio.

JUNGES, A.L.; SANTOS, V.Y.; MASSONI, N.T. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**. 13.v, nº 5, 2018. p.126-151.

Após a leitura, explicação e dedução da equação da temperatura de equilíbrio, calcular a temperatura de equilíbrio dos Planetas Terra e Vênus e mostrar que se obtêm o valor dado na Tabela 1 do Texto 3 e propor a atividade 1.

**Atividade 1 – Obtenção da temperatura de equilíbrio para o planeta Mercúrio.**

Por meio da equação deduzida (eq. (1)) e dados os valores do albedo e da Intensidade de Energia Solar calcular o valor de equilíbrio térmico do planeta Mercúrio.

Dados:

Planeta	Intensidade (W/m <sup>2</sup> )	Albedo	Temperatura de Equilíbrio (K)	Temperatura Média de Superfície (K)
Mercúrio	9080	0,07	?????	440

Resolução:

$$T_e = \sqrt[4]{\frac{I(1 - \alpha)}{4\sigma}} = \sqrt[4]{\frac{9080(1 - 0,07)}{4(5,67 \times 10^{-8})}} = \sqrt[4]{3,73 \times 10^{10}} = 439K.$$

Para uma melhor noção de quanto é essa temperatura recomenda-se realizar a transformação para graus Celsius trabalhando também transformação de unidade de temperatura,

$$T(^{\circ}C) = T(K) - 273 = 439 - 273 = 166^{\circ}C.$$

O fechamento da aula é realizado por meio de discussões e reforçando os novos termos introduzidos questionando-os sobre o que é o Albedo, e outros que se fizeram interessantes no decorrer da aula.

#### 4.5 – Aula 05 – Efeito Estufa e Conceitos Básicos

O plano da Aula 05 está exposto no Quadro 8.

**Quadro 8.** Plano de aula 05

AULA 05
Duração: 100 minutos
Conteúdos: Radioatividade na faixa de comprimento do infravermelho, Lei de Wien, Espectroscopia do infravermelho, Espectro do infravermelho na molécula de dióxido de carbono.
Objetivos: Reconhecer os principais gases de Efeito Estufa, compreensão sobre a frequência e comprimento de onda e a radioatividade de comprimento do infravermelho, Lei de Wien e espectro do infravermelho na molécula de dióxido de carbono.
Metodologias e Recursos Didáticos: Após disponibilizar o <i>link</i> da vídeo chamada por meio do aplicativo <i>Google Meet</i> , a aula iniciará com a leitura do texto “Efeito Estufa: Conceitos Básicos”. Durante a leitura, será proposta uma pesquisa referente à frequência e comprimento de ondas. Após a pesquisa, serão expostos os conteúdos

sobre radioatividade na faixa de comprimento do infravermelho, Lei de Wien, Espectroscopia do infravermelho e espectro do infravermelho na molécula de dióxido de carbono. Será realizada uma simulação sobre o Efeito Estufa no site *PHET*:

[https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&locale=pt_BR)

Referências Bibliográficas:

JUNGES, A.L.; SANTOS, V.Y.; MASSONI, N.T. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**. 13.v, nº 5, 2018. p.126-151;

[https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&locale=pt_BR).

Fonte: elaborado pela autora (2021).

### **Desenvolvimento da Aula 05**

Iniciar a aula com a retomada do conteúdo das aulas anteriores e a leitura do Texto 4 que envolve o conteúdo do Texto 3. Essa leitura pode ser feita pelos alunos, cada um lendo uma parte.

#### ***TEXTO 04 - Efeito Estufa: Conceitos Básicos***

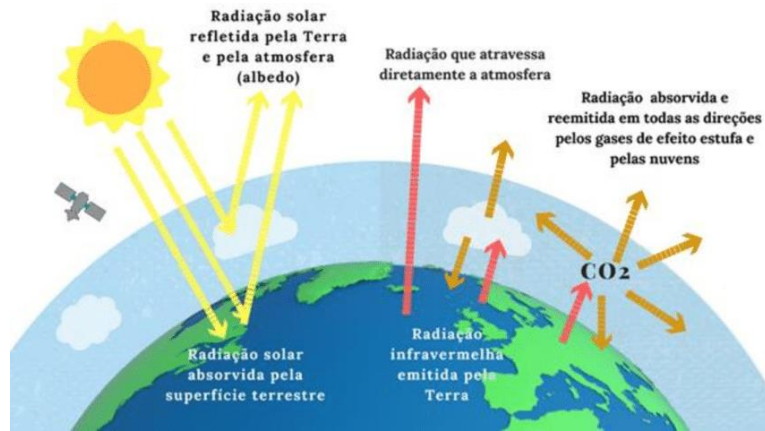
Os primeiros estudos sobre o efeito estufa da Terra são de Fourier, que em 1824 apresentou um artigo a *Académie Royale des Sciences* em Paris, de que a atmosfera teria um papel relevante na temperatura planetária.

Os fatos de que a atmosfera se torna mais opaca à radiação infravermelha do que à luz visível eram desconhecidos por Fourier.

Em 1859, John Tyndall concluiu que gases como o dióxido de carbono e o vapor d'água exibiam propriedades de absorção da radiação infravermelha, enquanto que o oxigênio, nitrogênio e hidrogênio não exibiam as mesmas propriedades.

Atualmente sabemos que os principais gases de efeito estufa na Terra são: vapor d'água, dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, CFC<sub>s</sub> e Ozônio. Esses gases tem a propriedade de serem ativos radioativamente na faixa de comprimentos de ondas longas, absorvendo radiação na faixa do comprimento de onda do infravermelho. Ao mesmo tempo, são transparentes à radiação de comprimentos de onda curtos como a radiação visível, absorvendo pouca ou quase nenhuma radiação visível. Ou seja, a radiação visível proveniente do Sol atinge com facilidade a superfície da Terra, mas a radiação infravermelha reemitida pela Terra para o espaço encontra dificuldade em atravessar a atmosfera.

**Figura 1** – Desenho esquemático do efeito estufa da Terra.

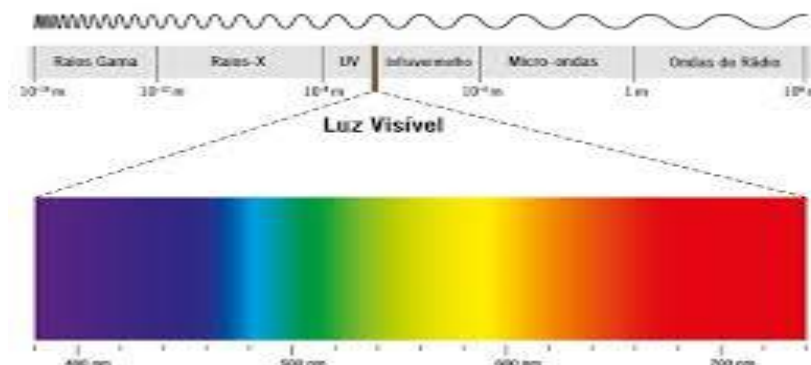


Fonte: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Desenho-esquemático-do-efeito-estufa-da-Terra-10\\_fig3\\_333609522](https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Desenho-esquemático-do-efeito-estufa-da-Terra-10_fig3_333609522)

Observando a Figura 1, a maior parte (aproximadamente 70%) da radiação visível proveniente do Sol entra no sistema terrestre (o restante, cerca de 30%, são refletidos e compõem o albedo). Quando aquecida, a Terra reemite para o espaço radiação infravermelha que é absorvida pelos gases estufa. Após absorverem, os gases estufa reemitem novamente radiação infravermelha em todas as direções. Parte dessa radiação é perdida para o espaço e parte é retida na baixa atmosfera. Com a presença dos gases de efeito estufa, há perda de radiação infravermelha para o espaço, tornando a baixa atmosfera mais quente do que estaria na ausência desses gases.

Todo corpo com a temperatura acima da temperatura conhecida como “temperatura absoluta” emite radiação na forma de ondas eletromagnéticas. Na Figura 2 apresenta-se o seu espectro.

**Figura 2.** Imagem ilustrativa da escala de radiações eletromagnéticas.



Fonte: <https://www.todamateria.com.br/espectro-eletromagnetico/>.



A potência da radiação e o tipo de radiação emitida (comprimento de onda da radiação) dependem da temperatura que o corpo se encontra e podem ser determinadas por meio de duas leis físicas: Lei de Stefan-Boltzmann e a Lei de Wien.

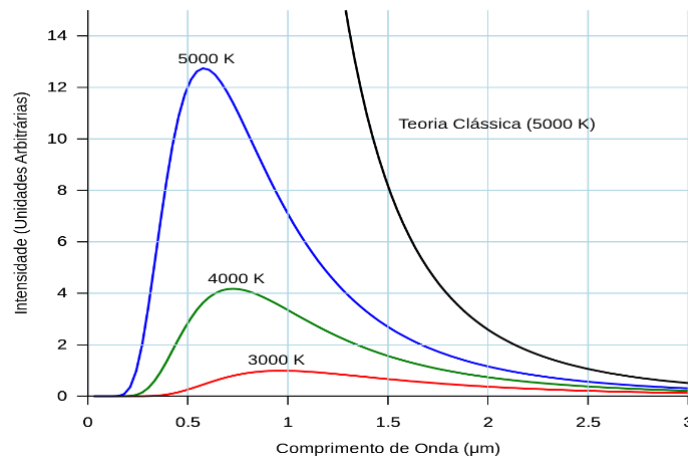
➤ Lei de Wien: relaciona a temperatura absoluta e o comprimento de onda de máxima

intensidade que um corpo emite.  $\lambda_{M\acute{a}x} = \frac{2,8976 \times 10^{-3}}{T}$

➤ Lei de Stefan-Boltzmann que a Intensidade da radiação emitida varia com a temperatura elevada a quarta potência, e a constante de proporcionalidade é dada pelo  $\sigma$  a constante de Stefan-Boltzmann já apresentada no Texto 3,  $I = \sigma \cdot T^4$

A Figura 3 apresenta o gráfico da intensidade de radiação emitida em relação ao comprimento de onda para um corpo negro.

**Figura 3.** Intensidade da radiação emitida versus o comprimento de onda para um corpo negro.



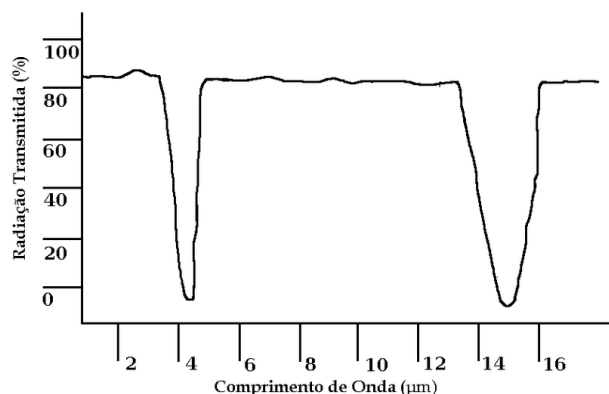
**Fonte:** [https://pt.wikipedia.org/wiki/Corpo\\_negro](https://pt.wikipedia.org/wiki/Corpo_negro)

A diferença entre os picos de emissão (comprimento de onda de máxima intensidade) do Sol e da Terra. O Sol com sua temperatura de superfície de aproximadamente 5.700 K, emite energia na faixa de comprimento da luz visível ( $\sim 0,5\mu m$ ). A Terra que possui temperatura média de superfície de 288 K tem seu pico de emissão na faixa de comprimento de onda do infravermelho ( $\sim 10\mu m$ ).

Por meio da espectroscopia vibracional<sup>3</sup> entendemos porque o dióxido de carbono é um gás de efeito estufa. A espectroscopia vibracional trata da espectroscopia do infravermelho na faixa entre  $1\mu m$  a  $100\mu m$ .

<sup>3</sup> A espectroscopia vibracional é uma técnica experimental que mede a interação da radiação eletromagnética com os movimentos de vibração de um sistema molecular. (CLARO, 2018 p.040)

**Figura 4.** Representação das bandas de absorção do dióxido de carbono.



Fonte: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Representacao-das-bandas-de-absorcao-do-dioxido-de-carbono-15\\_fig5\\_333609522](https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Representacao-das-bandas-de-absorcao-do-dioxido-de-carbono-15_fig5_333609522)

O gráfico da Figura 4 é uma representação do espectro do infravermelho da molécula de dióxido de carbono. Existem duas linhas, também chamada de bandas de absorção, localizadas a  $4,2\mu m$  e  $15\mu m$ , onde a intensidade da radiação transmitida cai drasticamente. Quando uma radiação infravermelha incide sobre uma amostra de dióxido de carbono os comprimentos de onda de  $4,2\mu m$  são absorvidos pelo gás. O dióxido de carbono é opaco e não deixa passar a radiação com comprimento de onda em torno de  $4,2\mu m$ .

O efeito estufa da Terra é um processo natural essencial para a vida no planeta. Porém, não é um efeito imutável e mudanças na composição química da atmosfera implicam em mudanças no efeito estufa.

Aumentando a concentração de gases estufa aumentará a capacidade da atmosfera em absorver radiação infravermelha. Assim, o aumento da concentração de gases estufa dificulta a saída da radiação, produzindo um desequilíbrio entre o fluxo de entrada e saída de radiação.

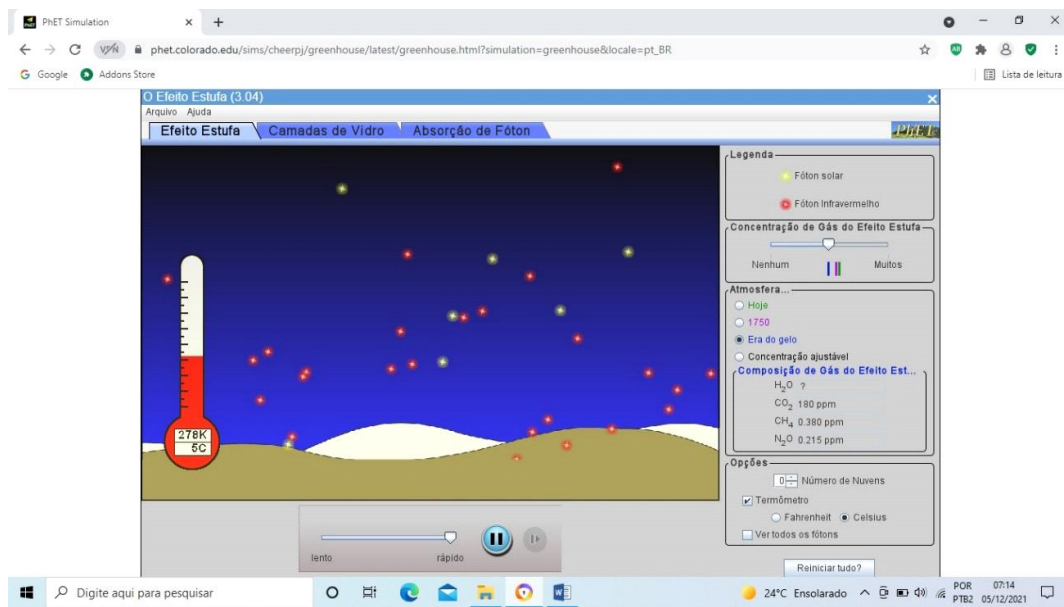
Fontes: JUNGES, A.L.; SANTOS, V.Y.; MASSONI, N.T. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**. 13.v, nº 5, 2018. p.126-151;  
Claro, P.R., (2018) Espectroscopia Vibracional, Rev. Ciência Elem., V6(2):040.

Dando continuidade à aula utilizar o simulador de uso livre, disponível na *internet* e que pode ser utilizado no *smartphone* disponibilizado pela Universidade de Colorado (*Colorado University*) que é o *Physics Education Technology* (PhET), no link: [https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&locale=pt_BR).

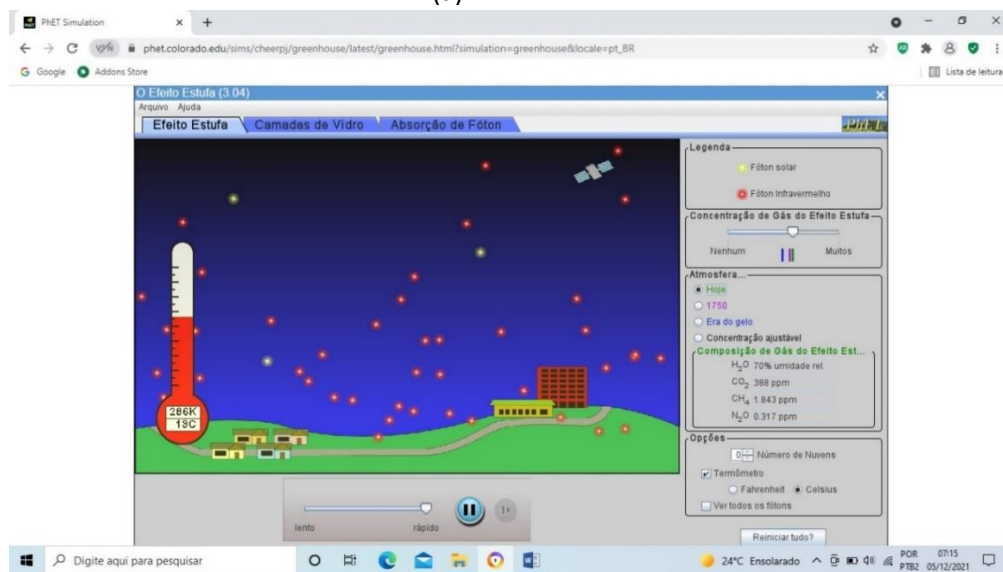
## SIMULAÇÃO

Colocando o endereço do *link* na página da *internet* será direcionado ao simulador do Efeito Estufa (*Greenhouse*), apresentada uma cópia da tela na Figura 16. Pode-se escolher Figura 16: (a) O efeito estufa durante a era do gelo, (b) nos dias atuais e (c) com existência de nuvens. Para verificar cada caso deve-se selecionar no quadro a direita a época que se deseja. Pode-se escolher entre outras funções, o nível de concentração do gás. O termômetro apresenta escalas em graus Fahrenheit e Celsius

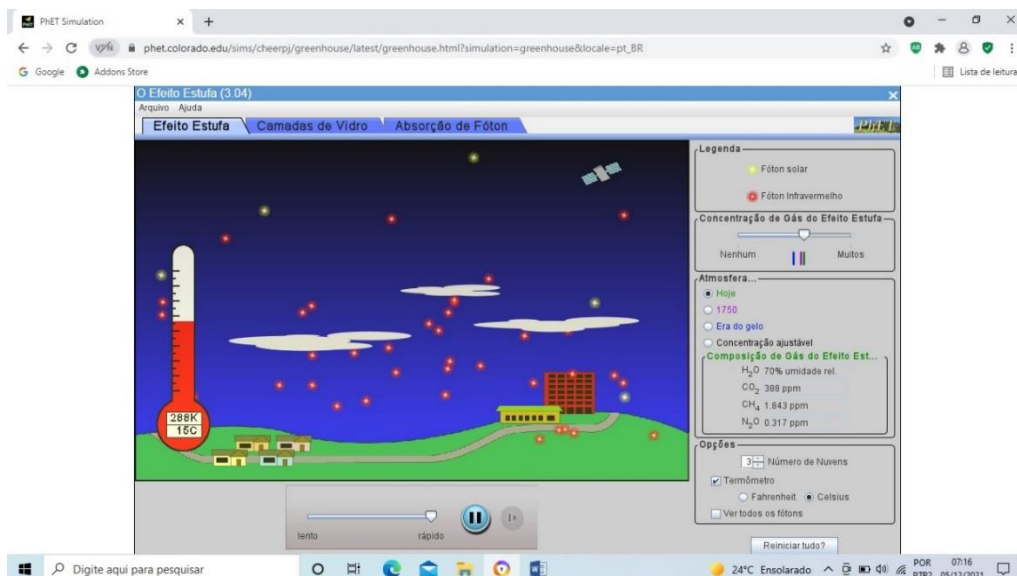
**Figura 16** – Cópia da Tela Simulação do Efeito Estufa (a) durante a era do gelo, e (b) nos dias atuais, e (c) nos dias atuais, com a existência de nuvens.



(a)



(b)



(c)

Fonte: <https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse>

Fechar a aula com discussões sobre o conteúdo trabalhado em aula.

#### 4.6 – Aula 06 – Radiação do Infravermelho

O plano da Aula 06 está exposto no Quadro 9.

Quadro 9. Plano de aula 06

AULA 06
Duração: 100 minutos.
Conteúdos: Radiação do infravermelho.
Objetivos: Entenda a absorção de radiação infravermelha por gases de efeito estufa e as políticas adotadas para a redução desses gases na atmosfera;
Metodologias e Recursos Didáticos: Após disponibilizar o <i>link</i> da videochamada por meio do aplicativo <i>Google Meet</i> , propor a leitura do texto “Efeito Estufa e Aquecimento Global”, retomar os conteúdos trabalhados nas aulas anteriores, realizar o experimento com o programa Arduíno que demonstra a absorção de radiação infravermelho por gases de efeito estufa como o dióxido de carbono.
Referências Bibliográficas: <a href="https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/mudancas_climaticas2/">https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/mudancas_climaticas2/</a> <a href="https://fia.com.br/blog/acordo-de-paris/">https://fia.com.br/blog/acordo-de-paris/</a> JUNGES, A.L.; SANTOS, BUHLER, A.J.; MASSONI, N.T.; SIEBENEICHLER, A.F.S. O “Efeito Estufa” na sala de aula: um experimento de baixo custo para demonstrar a absorção de radiação infravermelha por gases estufa como o dióxido de carbono. <b>Caderno brasileiro de Ensino de Física</b> , v.37, n.2, p. 849-864, ago. 2020.

Fonte: elaborado pela autora (2021).

## Desenvolvimento da Aula 06

Dando continuidade ao conteúdo sobre efeito estufa realizar a leitura do Texto 5.

### **TEXTO 5 - Efeito Estufa e Aquecimento Global**

O Efeito Estufa é um processo natural essencial para a vida no planeta. Embora seja um processo natural da Terra, o efeito estufa não é um fenômeno imutável e mudanças na composição química da atmosfera implicam em mudanças do mesmo.

Um aumento da quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera da Terra dificultará a saída de energia, aumentando este efeito. Assim, o planeta precisará esquentar de modo a reequilibrar o fluxo de saída de energia.

Atualmente é reconhecido pela comunidade científica que a humanidade, a partir da revolução industrial, modificou a composição química da atmosfera, especialmente a concentração de gases de efeito estufa. Essas modificações são resultantes de processos como a queima de combustíveis fósseis (petróleo e carvão), desmatamento e uso da terra através da agricultura e pastagens.

Cientistas já observam que o aumento da temperatura média do planeta tem elevado o nível do mar devido ao derretimento das calotas polares, podendo ocasionar o desaparecimento de ilhas e cidades litorâneas densamente povoadas. E há previsão de uma frequência maior de eventos extremos climáticos (tempestades tropicais, inundações, ondas de calor, seca, nevascas, furacões, tornados e tsunamis) com graves consequências para populações humanas e ecossistemas naturais, podendo ocasionar a extinção de espécies de animais e de plantas.

No Brasil, as mudanças do uso do solo e o desmatamento são responsáveis pela maior parte das nossas emissões e faz o país ser um dos líderes mundiais em emissões de gases de efeito estufa. Isto porque as áreas de florestas e os ecossistemas naturais são grandes reservatórios e sumidouros de carbono por sua capacidade de absorver e estocar CO<sup>2</sup>. Mas quando acontece um incêndio florestal ou uma área é desmatada esse carbono é liberado para a atmosfera, contribuindo para o efeito estufa e o aquecimento global. Mas as emissões de Gases de Efeito Estufa por outras atividades como agropecuária e geração de energia vem aumentando consideravelmente ao longo dos anos. Por conta do desenvolvimento industrial os países desenvolvidos têm sido responsáveis pela maior parte das emissões desses gases, mas os países em desenvolvimento vêm aumentando consideravelmente suas emissões. Atualmente a China ocupa o primeiro lugar do ranking, seguida por Estados Unidos, União Europeia e pelo Brasil.

A Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, em inglês) é uma base de cooperação internacional cujo os seus países membros buscam estabelecer políticas para reduzir e estabilizar as emissões de gases de efeito estufa em um nível no qual as atividades humanas não interfiram seriamente nos processos climáticos. Foram estabelecidos acordos para a redução da emissão desses gases de efeito estufa:

Protocolo de Kyoto: Acordado em 1997 para reduzir a emissão de gases de efeito estufa com duração no período de 2008 e 2013 e que teve seu protocolo estendido até 2020 com a Emenda de Doha, em 2012;

Plataforma de Durban: Criada em 2011, durante a COP21, para negociar e reger as medidas de mitigação da mudança climática a partir de 2020, e que entrou em vigor em novembro de 2016;

O Acordo de Paris é um compromisso mundial para a adoção de políticas climáticas para a redução de emissão de gases de efeito estufa a partir de 2020, substituindo o Protocolo de Kyoto. Foi negociado durante a realização da COP21 (21ª Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima), em dezembro de 2015. O acordo foi assinado por 95 países participantes. No ato, todos esses países se comprometeram com metas para manter o aquecimento global abaixo de 2°C, limitando-se a 1,5°C. O acordo entrou em vigor em novembro de 2016.

**Fonte:**

[https://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/reducao\\_de\\_impactos2/clima/mudancas\\_climaticas2/](https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/mudancas_climaticas2/)

<https://fia.com.br/blog/acordo-de-paris/>

Posteriormente aos esclarecimentos caso os alunos o solicitem, realizar o experimento 4.

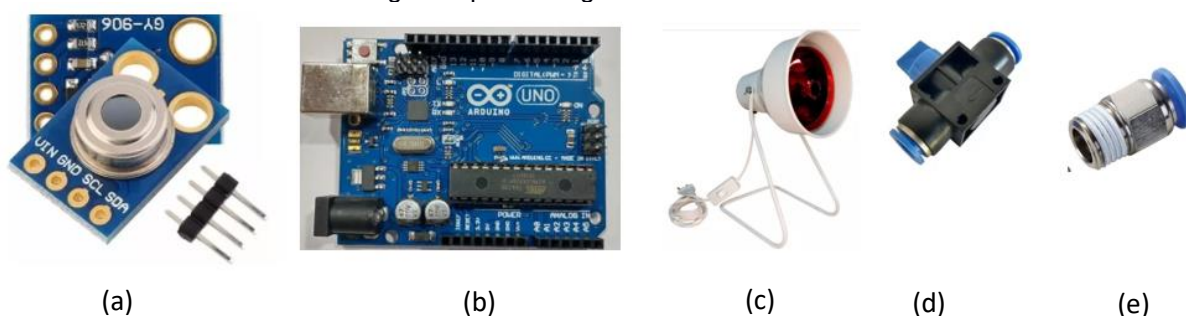
#### **Experimento 4 – Efeito estufa e radiação infravermelha**

- **Objetivo** - Demonstração da absorção de radiação infravermelha pelo dióxido de carbono, adaptado de Junges *et. al* (2020).
- **Materiais utilizados**
  - ❖ Lâmpada de infravermelho (cerâmica de 100 W) com suporte;
  - ❖ 1 Sensor de temperatura infravermelho sem contato (MLX90614);

- ❖ 1 placa de Arduíno UNO;
- ❖ 1 Lata com as dimensões de 10 cm de diâmetro e altura de 12 cm (material latão – lata de leite em pó), com dois furos feitos com furadeira e broca de metal com 8mm de diâmetro
- ❖ 1 rolo de Filme plástico de polietileno;
- ❖ 1 Garrafa plástica (PET) de 2 litros;
- ❖ Dióxido de carbono produzido por reação de vinagre e bicarbonato de sódio;
- ❖ 1 Válvula de bloqueio de engate rápido pneumático 8 mm com conector para a mangueira com pinos e espigão;
- ❖ 2 Conectores de engate rápido pneumático 8 mm com pinos e espigão para mangueira;
- ❖ 2 m de Mangueira pneumática 8 mm x 600 mm;
- ❖ Suporte de madeira para o reservatório e o sensor;
- ❖ Fita adesiva.
- ❖ Cola de silicone

Na Figura 17 estão apresentados alguns dos materiais, a mangueira, conectores e válvula de engate rápido podem ser adquiridos em lojas que vende material para caminhões. A parte do espigão onde conecta-se a mangueira não aparece na imagem.

**Figura 17** - Imagem fotográfica do (a) sensor de temperatura de infravermelho; (b) Arduíno Uno, (c) lâmpada infravermelho; (d) Válvula de bloqueio de engate rápido pneumático, e (e) conector de engate rápido. Imagens fora de dimensão

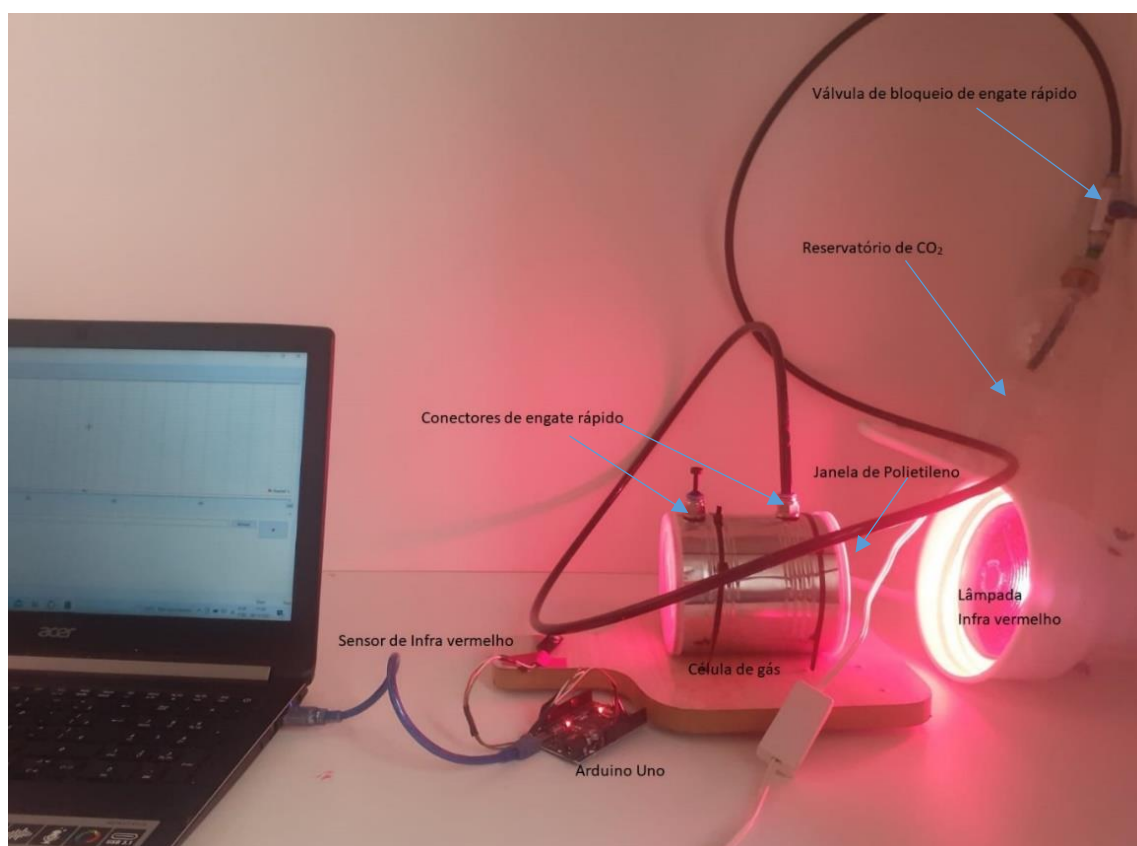


Fonte: imagens de sites comerciais da internet.

- **Montagem Experimental**

Para a célula de gás utilizou-se uma lata de material latão de 10 cm de diâmetro e altura de 12 cm, aberta nas bases com um abridor de latas e fechada com um filme plástico de polietileno, fixo por fita adesiva. Na parte superior da lata foram feitos dois furos com furadeira e broca de aço com o diâmetro dos conectores e encaixados os “conectores de engate rápido”, vedar com cola de silicone. A célula de gás foi fixada em um uma base de madeira. A lâmpada de infravermelho foi ligada a 30 cm da célula de gás, e o sensor de temperatura fixado a 10 cm da célula de gás. Conforme ilustrado na Figura 18 com a foto da montagem completa.

**Figura 18** – Imagem fotográfica da Montagem do Experimento sobre Efeito Estufa.



**Fonte:** arquivos da autora (2021).

O dióxido de carbono foi produzido com bicarbonato de sódio e vinagre, armazenado na garrafa Pet. Na tampa da garrafa foi acoplada a “válvula de bloqueio rápido” que permite a conexão com a mangueira pneumática a ser conectada aos “conectores de engate rápido” da célula de gás. O uso da válvula permite que somente após a reação química do vinagre com o bicarbonato de sódio seja liberada o gás produzido para a célula de gás, no momento do experimento.



O sensor de temperatura MLX90614 foi utilizado junto a um microcontrolador Arduíno Uno acoplado a um computador. A intensidade da radiação de infravermelha recebida pelo sensor foi convertida em dados de temperatura exibidos na tela do computador.

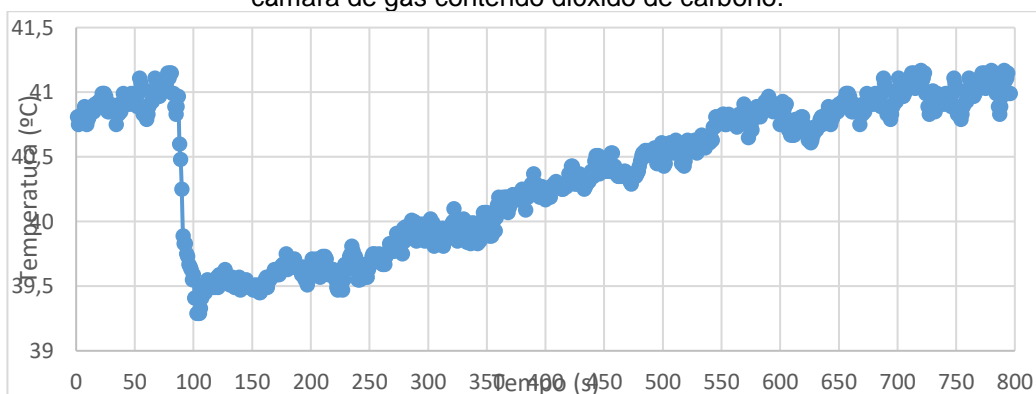
- **Procedimento**

O experimento faz uso de uma lâmpada de infravermelho e um sensor de temperatura de infravermelho. Entre a lâmpada e o sensor há uma célula de gás onde será inserido o dióxido de carbono. Inicialmente, a temperatura medida pelo sensor é da intensidade da radiação da lâmpada de infravermelho que após atravessar a célula de gás atinge o sensor de temperatura. Insira o dióxido de carbono na célula de gás abrindo a válvula e observe o que acontece no gráfico obtido no computador. Caso não consiga observar aumento o tempo no programa do Arduíno (Anexo) e faça o gráfico em algum programa gráfico como o resultado apresentado na Figura 19.

- **Resultados**

Durante o experimento será possível observar que a temperatura inicial inicialmente de, aproximadamente, 41°C, após a adição do dióxido de carbono, produzido por 300 mL de vinagre e 200 gramas de bicarbonato de sódio, a temperatura diminuirá, aproximadamente, 1,5° C, por 150 segundos, aproximadamente. Após 250 segundos, com a saída do dióxido de carbono, os valores de temperatura voltarão a aumentar até a temperatura de 41°C. O gráfico da temperatura versus tempo está apresentado na Figura 19.

**Figura 19**– Gráfico da Temperatura em função do Tempo obtido por meio do Arduíno Uno na câmara de gás contendo dióxido de carbono.



Fonte: arquivos da autora, 2023.

- **Conclusões**

Devido ao dióxido de carbono injetado na célula de gás, houve maior absorção de radiação dentro do reservatório de gás, diminuindo a intensidade da radiação que alcança o sensor. Desse modo, a temperatura registrada pelo sensor, diminui, aproximadamente, 1,5°C.

Dessa forma, o aumento da concentração de gases de efeito estufa intensifica o fenômeno de efeito estufa, pois aumenta a absorção de radiação emitida pela Terra, diminuindo a radiação que escapa pelo topo da atmosfera, causando desequilíbrio no balanço de energia planetária, resultando no aquecimento global.

Para fechamento da aula, realize discussões com os alunos sobre o que observaram no experimento realizado e a relação do processo com o que ocorre na natureza.

#### **4.7 – Aula 07 – Revisão do Conteúdo e Aplicação do Questionário Final**

O plano da Aula 07 está exposto no Quadro 10.

**Quadro 10.** Plano de aula 07

AULA 07
Duração: 100 minutos.
Objetivos: Revisão dos conteúdos. Responder o questionário final.
Metodologia: Após disponibilizar o <i>link</i> da videochamada por meio do aplicativo <i>Google Meet</i> , retomar os conteúdos estudados, questionando e respondendo as dúvidas, pedir aos alunos que respondam o questionário final e agradecer a participação e compromisso que tiveram durante a aplicação da sequência didática.

**Fonte:** elaborado pela autora (2021).

#### **Desenvolvimento da Aula 07**

Fazer uma revisão do conteúdo sobre o conceito de temperatura, calor e suas formas de propagação. Utilizando a Figura 1 do Texto 4 sobre efeito estufa e aquecimento global relembrar os processos de emissão, absorção e reflexão de radiação eletromagnética, dando ênfase na radiação infravermelha e Temperatura de equilíbrio até atingir o aquecimento global. Deixar claro que o efeito estufa é necessário para a sobrevivência da vida no Planeta. O que é negativo é o excesso de

gases estufa, gerados pelas ações humanas, que intensificam o fenômeno do efeito estufa e que provocam o aquecimento global.

Aplicar o questionário final que é o mesmo do inicial, mas os alunos não devem saber a não ser no momento de responder o questionário, para que a comparação entre os dois questionários permita de forma quantitativa detectar os indícios da aprendizagem significativa, aquisição de novos conhecimentos conforme proposto por Ausubel. Deixando claro, que essa avaliação deve ser feita em conjunto, como por exemplo o comentário dos alunos, a sua participação com questões e respostas com significado no contexto do assunto. Finalizar dando e tendo um retorno aos/dos alunos em relação aos questionários, experimentos, simulações e sobre as demais discussões realizadas em aula.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Segundo Zabala (1998) além da sequência didática, também contribuem para a análise da prática educativa: a comunicação e o vínculo existentes na sala de aula, a organização social da aula, a utilização dos espaços e do tempo, a maneira de organizar os conteúdos, os materiais curriculares e os recursos didáticos.

Dessa forma, a aplicação da referida sequência didática considerou a realidade dos estudantes, estabelecendo relações entre os conhecimentos prévios e os novos, estimulando o conhecimento e favorecendo a aprendizagem. Espera-se que tenham um resultado semelhante ou melhor.

De acordo com a Base Nacional Comum Curricular no Ensino Médio, o conteúdo sobre o fenômeno efeito estufa está inserido na Área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Assim, acreditamos que a sequência didática apresentada seja uma produtiva forma de trabalhar o conteúdo, contextualizando e adaptando à realidade dos estudantes.

## **REFERÊNCIAS**

Acordo de Paris: o que é, como surgiu e tratados ambientais. FIA. Disponível em: <<https://fia.com.br/blog/acordo-de-paris/>>. Acesso em: maio/2021.

AMORIM, A. Convecção térmica (propagação do calor). Youtube. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=dkZaiedR\\_ww](https://www.youtube.com/watch?v=dkZaiedR_ww)> Acesso em: maio/2021.

BOAS, V. N. **Óptica**. São Paulo, Coleção Objetivo, p. 1-68.

BRASIL. Diretrizes Curriculares Nacionais para a Educação Ambiental, 2012.

BRASIL, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. SECRETARIA NACIONAL DE EDUCAÇÃO BÁSICA. BNCC – BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR: ENSINO MÉDIO. BRASÍLIA: MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2018. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=79601-anexo-texto-bncc-reexportado-pdf-2&category\\_slug=dezembro-2017-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=79601-anexo-texto-bncc-reexportado-pdf-2&category_slug=dezembro-2017-pdf&Itemid=30192). Acesso em Junho/2021.

BOTKIN, D.B.; KELLER, E.A. **Ciência ambiental**: Terra, um planeta vivo. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

COSTA, G. L., **CALOR E EFEITO ESTUFA: UMA PROPOSTA DIDÁTICA FUNDAMENTADA NA TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**, Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Universidade Estadual de Maringá, 2023. Disponível no site: <http://www.dfi.uem.br/dissertacao/mnpef/uem.php>.

HALLIDAY, D. **Fundamentos de física, volume2**: gravitação, ondas e termodinâmica. 10. Ed. Rio de Janeiro, LTC: 2020.

JUNGES, A.L.; SANTOS, V.Y.; MASSONI, N.T. Efeito estufa e aquecimento global: uma abordagem conceitual a partir da física para educação básica. **Experiências em Ensino de Ciências**. 13.v, nº 5, 2018. 126-151 p.

JUNGES, A.L.; SANTOS, BUHLER, A.J.; MASSONI, N.T.; SIEBENEICHLER, A.F.S. O “Efeito Estufa” na sala de aula: um experimento de baixo custo para demonstrar a absorção de radiação infravermelha por gases estufa como o dióxido de carbono. **Caderno brasileiro de Ensino de Física, v.37, n.2, p. 849-864, ago. 2020.**

LOPES, H. Turma de Ouro. Experimento – Propagação de calor – Irradiação Youtube. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=cHuCEJkZRgA>>. Acesso em: maio/2021.

LUZ, A.M.R.; ÁLVARES, B.A.; GUIMARÃES, C.C. **Física**: contexto e aplicações: ensino médio. 2. Ed. São Paulo: Scipione, 2016.

MOREIRA, M.A. A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula. Brasília, 2006. Ed. UNB.

\_\_\_\_\_. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Revista Currículum. n. 25, pp. 29-56, 2012.

\_\_\_\_\_.; MASINI, E.F.S. **Aprendizagem significativa**: a teoria de David Ausubel. São Paulo: Moraes, 1982.

[https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&locale=pt\\_BR](https://phet.colorado.edu/sims/cheerpi/greenhouse/latest/greenhouse.html?simulation=greenhouse&locale=pt_BR). Acesso em: maio/2021

SPACHI, P. Condução de Calor (Prof. Paulo Spachi). Youtube. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=dazOL4t9uFQ>>. Acesso em: maio/2021.

TEIXEIRA, M. M. Garrafa Térmica. Prepara Enem. Disponível em: <<https://www.preparaenem.com/fisica/garrafa-termica.htm>> Acesso em: maio/2021.

XAVIER, C.; BENIGNO, B. **Física aula por aula**: mecânica dos fluidos, termologia, óptica. 1 ed. São Paulo: FTD, 2010.

WWF-BRASIL, As mudanças climáticas. WFF. Disponível em: <[https://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/reducao\\_de\\_impactos2/clima/mudancas\\_climaticas2/](https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/reducao_de_impactos2/clima/mudancas_climaticas2/)>. Acesso em: maio/2021.

YAMAMOTO, K.; FUKE, L.F. **Física para ensino médio, vol. 2**: termologia, óptica, ondulatória. 4.ed. São Paulo: Saraiva, 2016

ZABALA, A. **A Prática Educativa**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

## **APÊNDICE – TEORIA DE APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

David Ausubel (1918-2008), pesquisador americano e representante do cognitivismo, desenvolveu a Teoria da Aprendizagem cujo conceito mais importante é o de Aprendizagem Significativa em que a aprendizagem ocorre por meio da interação entre conhecimentos prévios e novos conhecimentos.

A existência do conhecimento prévio serve para ancorar as novas informações, pois sem ele a aprendizagem pode ser mecânica, que é exatamente o oposto da aprendizagem significativa proposta por Ausubel. Os conhecimentos prévios relevantes para a aquisição de novas informações são chamados de subsunçores, que são definidos por Moreira da seguinte forma:

Subsunçor ou ideia âncora é o conhecimento específico já existente na estrutura cognitiva do indivíduo. Na aprendizagem significativa há interação entre conhecimentos prévios e novos. A atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles (MOREIRA, 2012, p. 2).

Progressivamente o subsunçor ficará mais rico em significados, mais elaborados, facilitando novas aprendizagens e servindo de “âncora” para novos conhecimentos. A forma de aprendizagem significativa, em que um conceito passa a subordinar conhecimentos prévios, e um subsunçor passa a incorporar outro, é chamada de Aprendizagem Significativa Superordenada. A aprendizagem

significativa mais comum é a chamada Aprendizagem Significativa Subordenada, na qual um novo conhecimento adquire significado na ancoragem significativa com algum conhecimento prévio especificamente relevante (MOREIRA, 2012).

Ausubel define como Aprendizagem Mecânica a aprendizagem de novas informações com pouca ou nenhuma associação com conceitos relevantes existentes na estrutura cognitiva, armazenada de forma arbitrária, sem interação entre a nova informação e a informação armazenada. Em relação à aprendizagem mecânica, Moreira faz a seguinte colocação:

Aprendizagem mecânica é constituída por armazenamento literal, arbitrário, sem significado, não requer compreensão, resulta em aplicação mecânica e situações conhecidas. Enquanto na aprendizagem significativa há incorporação substantiva, não arbitrária, com significado, implica compreensão, transferência, capacidade de explicar, descrever e enfrentar novas situações (MOREIRA, 2012, p.12)

Para Ausubel, o mais importante na aquisição da aprendizagem significativa é conhecer o que o aluno já sabe. Moreira acrescenta outros pontos a serem considerados: a disposição do aluno para aprender, não somente memorizar e que o material sea potencialmente significativo, que em sua concepção é:

Para um material ser potencialmente significativo necessita de duas condições: a natureza do material e a natureza da estrutura cognitiva do aprendiz. Quanto à natureza do material, deve ser "logicamente significativo", isto é, ser suficientemente não arbitrário e não aleatório, de modo que possa ser relacionado, de forma substantiva e não arbitrária, a ideias correspondentemente relevantes, que se situem no domínio da capacidade humana de aprender. No que se refere à estrutura cognitiva do aprendiz, nela devem estar disponíveis os conceitos de subsunçores específicos, com o qual o novo material é relacionável (MOREIRA, 2006, p. 19).

Se o conhecimento é adquirido de forma significativa, este é retido e lembrado por mais tempo, a capacidade de aprender novos conteúdos se dá de maneira organizada e diferenciada. Cada indivíduo apresenta uma estrutura cognitiva e a interação do conhecimento prévio se torna relevante e organizada, essa organização se traduz em um processo de modificação. A interação entre o que é novo ou antigo no conhecimento se modifica em cada indivíduo. E a autonomia do indivíduo se dá quando ele é capaz de captar e apropriar novas informações, apresentando atribuição nos significados de conceitos, facilitando e transformando em novos conhecimentos

(MOREIRA E MASINI, 1982). Quando o aluno não possui os subsunçores, é possível recorrer aos organizadores prévios.

Organizadores prévios são materiais apresentados anteriormente ao material a ser aprendido, podendo ser uma pergunta, uma leitura ou uma simulação, servindo de “ponte” entre o que o aprendiz já sabe e o que deve aprender. A principal função dos organizadores é, então, superar limites entre o que o aluno já sabe e aquilo que ele precisa saber, antes de aprender a tarefa apresentada (MOREIRA E MASINI, 1982, p. 11-12).

Organizadores prévios servem para facilitar a aprendizagem, na medida que funcionam como “pontes cognitivas” (MOREIRA, 2006, p. 23), superando limites entre os conhecimentos prévios e novos.

## REFERÊNCIAS

MOREIRA, M.A. A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula. Brasília, 2006. Ed. UNB.

\_\_\_\_\_. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Revista Currículum. n. 25, pp. 29-56, 2012.

\_\_\_\_\_.; MASINI, E.F.S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel.** São Paulo: Moraes, 1982.

## ANEXO – CONEXÃO E PROGRAMAÇÃO ARDUINO UNO

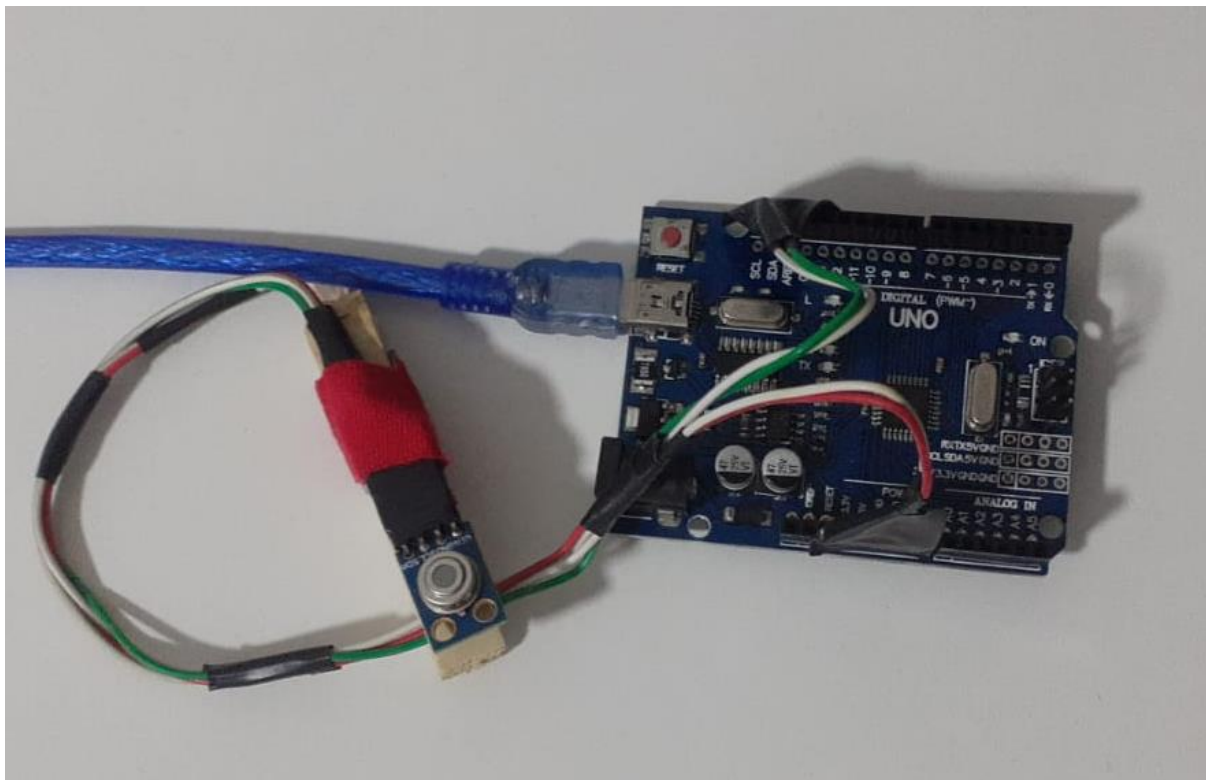
ARDUINO. UNO R3 | ARDUINO DOCUMENTATION. Disponível em: <<https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3>>. Acesso: Janeiro de 2021.

MLX90614. Disponível em: <<https://www.melexis.com/en/documents/documentation/datasheets/datasheet-mlx90614>>. Acesso: Janeiro de 2021.

Na Figura A1 está apresentado a conexão e integração do sensor MLX90614 (sensor de Temperatura Infravermelho) ao Arduíno Uno, utilizando os pinos SDA e SCL para comunicação I2C. O sensor MLX90614 faz a leitura da temperatura de objetos ou até mesmo a temperatura corporal sem que seja necessário o contato

direto com o sensor. A montagem do protótipo foi baseada na documentação disponibilizada no repositório da Melexis (MLX90614, 2019).

Figura A1 - Diagrama de Ligação Arduino Uno ao Sensor de Temperatura



**Fonte:** arquivos da autora (2021)

Montagem do protótipo:

Conecte um fio jumper do pino VCC do sensor MLX90614 a uma linha de energia positiva 5v no Arduino.

Conecte um fio jumper do pino GND do sensor MLX90614 a uma linha de terra GND do Arduino.

Conecte um fio jumper do pino SDA do sensor MLX90614 ao pino SDA do Arduino Uno.

Conecte um fio jumper do pino SCL do sensor MLX90614 ao pino SCL do Arduino Uno.

## CÓDIGO FONTE



De acordo com a documentação oficial, o Arduino Uno atua como uma placa microcontroladora, permitindo a leitura das temperaturas ambiente e do objeto, bem como a exibição dos dados no Monitor Serial. O código utilizado faz parte dos exemplos disponibilizados pela biblioteca do MLX90614. O código fonte é:

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>

Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();

double temp_amb;
double temp_obj;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Sensor de temperatura MLX90614");
  mlx.begin();
}

void loop()
{
  temp_amb = mlx.readAmbientTempC();
  temp_obj = mlx.readObjectTempC();

  Serial.println(temp_obj);
  delay(400);
}
```

Explicação do funcionamento do código é:

As primeiras duas linhas de código incluem as bibliotecas necessárias para a comunicação I2C (Wire.h) e para o uso do sensor MLX90614 (Adafruit\_MLX90614.h). Em seguida, é criado um objeto chamado "mlx" da classe Adafruit MLX90614, o qual será utilizado para interagir com o sensor.

As próximas linhas declaram duas variáveis do tipo "double" para armazenar as temperaturas ambiente e do objeto.

A função "setup()" é iniciada. Essa função é executada uma vez no início do programa. Dentro da função "setup()", a comunicação serial é iniciada com uma taxa de transmissão de 9600 bauds. Isso permite a comunicação entre o Arduino e o computador por meio do monitor serial.

Uma mensagem é enviada para o monitor serial informando que o programa está utilizando o sensor MLX90614.

O sensor MLX90614 é inicializado utilizando o método "begin()" do objeto "mlx".

A função "loop()" é iniciada. Essa função é executada continuamente após a conclusão da função "setup()".

Dentro da função "loop()", as temperaturas ambiente e do objeto são lidas do sensor MLX90614 utilizando os métodos "readAmbientTempC()" e "readObjectTempC()". Os valores lidos são armazenados nas variáveis correspondentes.

A temperatura do objeto é enviada para o monitor serial utilizando o método "println()" da classe "Serial". Isso permite que a temperatura seja exibida no monitor serial.

Em seguida, há um atraso de 400 milissegundos utilizando o método "delay()". Isso faz com que o programa espere por esse período de tempo antes de realizar uma nova leitura de temperatura.

Para observar os dados em gráficos, foi utilizado o recurso Serial Monitor que é disponibilizado pela *Integrated Development Environment* (IDE) do Arduíno