

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

JOSÉ ISMAEL DE CARVALHO GODINHO

A FÍSICA DO AQUECIMENTO GLOBAL: uma Unidade de Ensino Potencialmente
Significativa sobre conceitos termodinâmicos no EJATEC

São Luís
2026

JOSÉ ISMAEL DE CARVALHO GODINHO

A FÍSICA DO AQUECIMENTO GLOBAL: uma Unidade de Ensino Potencialmente
Significativa sobre conceitos termodinâmicos no EJATEC

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física em Rede Nacional (PROFIS), na Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Linha de Pesquisa: Processos de Ensino e Aprendizagem e Tecnologias de Informação e Comunicação no Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Moraes Diniz.

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Godinho, Jose Ismael de Carvalho Godinho.

A Física do aquecimento global: uma Unidade de Ensino
Potencialmente Significativa sobre conceitos termodinâmicos no
EJATEC / Jose Ismael de Carvalho Godinho Godinho. - 2026.
122 p.

Orientador(a):   Eduardo Moraes Diniz Diniz. Dissertação
(Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/ccet, Universidade
Federal do Maranhão, São Luis-ma, 2026.

1. Aquecimento Global. 2.	Termodinâmica; Ensino de
Física. 3. Ensino de Física. I.	Diniz,   Eduardo
Moraes Diniz. II. Título.	

JOSÉ ISMAEL DE CARVALHO GODINHO

A FÍSICA DO AQUECIMENTO GLOBAL: uma Unidade de Ensino Potencialmente
Significativa sobre conceitos termodinâmicos no EJATEC

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Ensino
de Física em Rede Nacional (PROFIS),
na Universidade Federal do Maranhão,
como parte dos requisitos necessários à
obtenção do título de Mestre em Ensino
de Física.

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA

Eduardo Moraes Diniz
Doutor em Física – Universidade Federal do Maranhão (Presidente)

Éder Nascimento Silva
Doutor em Física – Universidade Federal do Maranhão (Membro interno)

André Flávio Gonçalves Silva
Doutor em Educação em Ciências e Matemática – Universidade Federal do Maranhão
(Membro Externo)

A minha amada esposa Selma Godinho,
pela paciência, auxílio e pelas palavras de
apoio e incentivo nos momentos difíceis.
À minha mãe Sônia, meu pai José Alves
Godinho (in memoriam), meus filhos
Ítalo Pablo e Iago Victor, por sempre
acreditarem na execução deste trabalho.

Agradecimentos

À Deus.

À Universidade Federal do Maranhão.

À coordenação e professores do Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

Ao Prof. Dr. Eduardo Moraes Diniz pela paciência, disponibilidade, incentivo e orientação segura no decorrer de todo esse trabalho.

Ao Prof. Dr. Edson Firmino pelas ideias valiosas.

A todos os professores do PROFIS – Polo 47, pelos seus ensinamentos que serão de grande valia na minha vida pessoal e profissional.

Ao colega Francinaldo Santos Carvalho, pelo apoio e incentivo ao longo desta trajetória.

Aos meus alunos, fundamentais para a realização deste trabalho. Aos meus colegas por todo o apoio e carinho que recebi, vocês tornaram as aulas mais leves.

Este trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

A educação não muda o mundo. A educação muda as pessoas. Pessoas mudam o mundo.

Paulo Freire.

Resumo

O aquecimento global tem se refletido em alterações perceptíveis nos padrões climáticos. No Brasil, episódios recentes – como estiagens prolongadas, incêndios no Pantanal e enchentes no Rio Grande do Sul – indicam que diferentes regiões do país vêm sendo afetadas por eventos extremos. Embora a comunidade científica aponte de forma consistente a influência das atividades humanas nesse processo, esse entendimento não é igualmente compartilhado fora desse meio, onde ainda circulam interpretações divergentes e informações imprecisas. Considerando esse cenário, o ensino de Física pode contribuir ao oferecer instrumentos para que os estudantes analisem essas questões com base em conceitos científicos. Em sala de aula, isso implica ir além da apresentação formal dos conteúdos e explorar situações em que tais conceitos ajudam a interpretar fenômenos do cotidiano. O tema do aquecimento global, por exemplo, permite discutir noções da Termodinâmica a partir de demandas reais, como o aumento da concentração de gases de efeito estufa, as mudanças no uso do solo e o destino de resíduos. Partindo dessa perspectiva, este trabalho organiza uma proposta de ensino que busca aproximar esses conteúdos da realidade dos estudantes. Para isso, toma-se como referência uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, estruturada com base na teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel e em elementos da pedagogia de Paulo Freire. A unidade aborda conceitos centrais da Termodinâmica e propõe atividades em que esses conhecimentos são mobilizados na análise de situações relacionadas ao contexto ambiental. A proposta será desenvolvida com turmas da Educação de Jovens e Adultos integrada à Educação Profissional, no período noturno, em uma escola pública estadual de São Luís (MA). A escolha desse contexto considera as especificidades desse público, especialmente no que se refere à diversidade de trajetórias escolares e experiências de vida. Com a implementação da proposta, busca-se examinar de que modo a articulação entre conceitos termodinâmicos e questões ambientais podem favorecer a compreensão dos conteúdos trabalhados e ampliar as possibilidades de análise de problemas presentes no cotidiano dos estudantes.

Palavras-chave: Aquecimento global; Termodinâmica; Ensino de Física.

Abstract

Global warming has been reflected in noticeable changes in climate patterns. In Brazil, recent events—such as prolonged droughts, wildfires in the Pantanal, and severe flooding in Rio Grande do Sul—indicate that different regions of the country have been affected by extreme events. Although the scientific community consistently points to the influence of human activities in this process, this understanding is not equally shared outside that sphere, where divergent interpretations and inaccurate information still circulate. Considering this scenario, Physics teaching can contribute by providing students with tools to analyze these issues based on scientific concepts. In the classroom, this implies going beyond the formal presentation of content and exploring situations in which such concepts help interpret everyday phenomena. The topic of global warming, for example, allows for the discussion of Thermodynamics concepts through concrete problems, such as the increase in greenhouse gas concentrations, changes in land use, and waste management. From this perspective, this work organizes a teaching proposal aimed at bringing these contents closer to students' realities. To this end, it is based on a Potentially Meaningful Teaching Unit, structured according to David Ausubel's theory of meaningful learning and elements of Paulo Freire's pedagogical approach. The unit addresses central concepts of Thermodynamics and proposes activities in which this knowledge is applied to the analysis of situations related to environmental contexts. The proposal will be implemented with classes from Youth and Adult Education integrated with Professional Education, in evening high school courses at a public state school in São Luís (MA). The choice of this context takes into account the specific characteristics of this group, particularly regarding the diversity of educational trajectories and life experiences. Through the implementation of this proposal, the study seeks to examine how the articulation between thermodynamic concepts and environmental issues may contribute to a better understanding of the content and expand students' ability to analyze problems present in their daily lives.

Keywords: Global warming; Thermodynamics; Physics teaching.

Lista de figuras

Figura 1: Imagem de uma matéria sobre o aquecimento global.....	18
Figura 2: Emissão de gases poluentes na atmosfera por fábrica.....	19
Figura 3: Incêndio florestal.....	20
Figura 4: Imagem de terra seca no Nordeste brasileiro.....	21
Figura 5: Imagem da seca no Pantanal.....	21
Figura 6: Enchentes que ocorreram no Rio Grande do Sul a partir do dia 27 de abril de 2024.....	22
Figura 7: As temperaturas T_1 , T_2 , e T_3 de um corpo estão relacionadas à energia cinética média de suas moléculas.....	27
Figura 8: Sistema de captação de dados meteorológico.....	32
Figura 9: Vídeo de simulação das temperaturas da Terra ao longo dos anos feito pela NASA.....	33
Figura 10: Extração de núcleos de gelo retirados na Antártica.....	33
Figura 11: Gráfico mostrando a temperatura média na Antártica ao longo de centenas de anos.....	34
Figura 12: O aumento da entropia está associado ao aumento do número de estados possíveis.....	35
Figura 13: Fluxo de calor entre os corpos A com Temperatura T_A e corpo B com temperatura T_B ($T_A > T_B$).....	36
Figura 14: Sentidos das transferências de calor de acordo com as diferentes relações entre as temperaturas de um sistema e o ambiente.....	37
Figura 15: Processo de condução térmica de um material sólido.....	38
Figura 16: Correntes de convecção criadas na água de uma chaleira no fogão.....	41
Figura 17: Movimento de massas de ar quente e frio na atmosfera.....	41
Figura 18: Transmissão de calor por irradiação.....	43
Figura 19: Radiação absorvida e refletida pela terra(irradiação).....	44
Figura 20: Intensidade da radiação emitida versus o comprimento de onda para um corpo negro ideal.....	45
Figura 21: Lei Zero da Termodinâmica.....	47
Figura 22: Primeira Lei da Termodinâmica.....	48
Figura 23: Uma máquina a vapor simples.....	48
Figura 24: Mapa conceitual da Aprendizagem significativa de Ausubel.....	52
Figura 25: Aplicação do questionário 1 na turma 100 de logística-EJATEC.....	57
Figura 26: Vídeo apresentado aos estudantes.....	57
Figura 27: Alunos apresentando alternativas para redução do impacto ambiental na comunidade....	61
Figura 28: Aprendizagem Conceitual.....	63
Figura 29: Desenvolvimento da Consciência Crítica.....	64

Lista de siglas

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
EJATEC	Educação de Jovens e Adultos Integrada à Educação Profissional
GEE	Gases do Efeito Estufa
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
NOAA	Administração Nacional Oceânica e Atmosférica
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ONU	União das Nações Unidas
PCNs	Parâmetros Curriculares Nacionais
PNE	Plano Nacional de Educação
TAS	Teoria da Aprendizagem Significativa
UEPS	Unidade de Ensino Potencialmente Significativa
UNEP	United Nations Environmental Programme
WMO	World Meteorological Organization

Sumário

1 INTRODUÇÃO	15
2 EJATEC: LIMITES E PERSPECTIVAS E PERSPECTIVAS NO CUMPRIMENTO AO DIREITO EDUCACIONAL.....	18
2.1 Comparação entre os conteúdos de Física da EJATEC e Ensino Médio Regular	19
3 AQUECIMENTO GLOBAL E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA A VIDA NA TERRA E PARA A HUMANIDADE.....	22
3.1 Efeitos do aquecimento global no Brasil	24
3.2 O debate atual sobre o aquecimento global	28
4 CONCEITOS TERMODINÂMICOS	30
4.1 A atmosfera como um reservatório térmico	30
4.2 Temperatura	31
4.2.1 Temperatura do planeta.....	33
4.2.2 Medições de superfície.....	35
4.2.3 Modelos climáticos	36
4.2.4 Paleoclimatologia.....	37
4.2.5 Importância da Medição Precisa	38
4.3 Conceito de Calor.....	38
4.3.1 Processos reversíveis e irreversíveis	39
4.3.1 Conceitos fundamentais sobre calor	41
4.4 Mecanismos de transferência de calor	42
4.4.1 Condução térmica	42
4.4.2 Convecção	45
4.4.3 Radiação	47
4.4.4 Integração das formas de transmissão de calor no aquecimento global	50
4.5 Leis da termodinâmica	50
4.5.1 Lei zero da termodinâmica.....	51
4.5.2 Primeira lei da termodinâmica	51

4.5.3 Segunda Lei da Termodinâmica	53
4.5.4 Terceira lei da termodinâmica.....	54
5 RELAÇÃO DA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA COM A ABORDAGEM DE PAULO FREIRE E SUA IMPORTÂNCIA PARA O EJATEC NAS QUESTÕES AMBIENTAIS	55
5.1 Princípios da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel	56
5.1.1 Aprendizagem Significativa vs. Aprendizagem Mecânica	57
5.2 Abordagens educacionais de Paulo Freire	59
6 METODOLOGIA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	60
7 SEQUÊNCIA DIDÁTICA: ENSINO DE CONCEITOS TERMODINÂMICOS NO AQUECIMENTO GLOBAL	61
7.1 Objetivo Geral	61
7.2 Objetivos Específicos.....	61
7.3 Fase 1: Diagnóstico dos Conhecimentos Prévios (30 minutos)	62
7.2 Fase 2: Problematização: Discussão em Grupo (30 minutos).....	62
7.3 Fase 3: Apresentação de conteúdos (30 minutos).....	64
7.4 Fase 4: Síntese e aplicação	64
7.4.1 Atividade Prática: O efeito estufa em miniatura	65
7.4.2 Projeto de investigação	66
7.5 Fase 5: Avaliação formativa (30 minutos).....	67
8 RESULTADOS.....	67
8.1 Caracterização da aplicação da Unidade de Ensino.....	67
8.2 Resultados quantitativos da aprendizagem	68
8.2.1 Aprendizagem Conceitual (Ausubel).....	68
8.2.3 Desenvolvimento da Consciência Crítica (Freire)	68
9 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	68
9.1 Análise do questionário diagnóstico	68
9.2 Articulação entre diagnóstico e resultados da intervenção	69
9.3 Aprendizagem conceitual.....	72

9.4 Consciência crítica e engajamento	72
9.5 Limitações do estudo	72
10 CONCLUSÕES	72
APÊNDICE A - Questionário sobre conhecimentos e experiências prévias	77
APÊNDICE B - Plano de aula.....	79
APÊNDICE C – Experimento: O efeito estufa em miniatura	81
APÊNDICE D - Avaliação formativa	82
APÊNDICE E - Quadro 1	85
APÊNDICE F - Modelo de Diário de Registro de Observações	86
APÊNDICE G – Registro do uso de ferramentas de Inteligência Artificial.....	87
APÊNDICE H - Produto Educacional	88

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física no ensino médio tem um papel importante na formação dos estudantes, pois contribui para a compreensão de fenômenos naturais e tecnológicos que fazem parte da vida cotidiana. Nesse contexto, os conceitos da Termodinâmica, como conservação de energia, transferência de calor e as leis da termodinâmica, constituem conhecimentos fundamentais para a compreensão de diversos fenômenos físicos, incluindo aqueles relacionados ao clima terrestre.

A escolha de trabalhar esses conceitos a partir da temática do aquecimento global decorre da relevância que essa questão tem assumido na sociedade atual. As mudanças climáticas estão cada vez mais presentes nos debates científicos, políticos e sociais, afetando diretamente a vida das pessoas e exigindo uma compreensão mais aprofundada de suas causas e consequências. Dessa forma, a abordagem do aquecimento global pode contribuir para tornar o ensino de Física mais próximo da realidade dos estudantes, favorecendo a atribuição de significado aos conceitos estudados.

Além da aprendizagem dos conteúdos científicos, a escola tem a responsabilidade de contribuir para a formação de cidadãos críticos e conscientes de seu papel na sociedade. Nesse sentido, o crescimento do negacionismo climático, caracterizado pela rejeição das evidências científicas relacionadas às mudanças climáticas, torna ainda mais necessária a promoção de uma educação científica que estimule a análise crítica das informações e a tomada de decisões fundamentadas em conhecimentos confiáveis.

Assim, a integração entre conceitos termodinâmicos e a temática do aquecimento global representa uma oportunidade de desenvolver conhecimentos científicos ao mesmo tempo em que promove reflexões sobre questões socioambientais contemporâneas, aproximando a Física da realidade vivida pelos estudantes e fortalecendo sua formação cidadã.

Precisamos agir de forma responsável com base no entendimento de que o que fazemos hoje pode ter implicações futuras para a vida das pessoas e para o planeta. A educação para o desenvolvimento sustentável (EDS) contribui para mudar a maneira pela qual as pessoas pensam e agem para alcançarmos um futuro sustentável. (Unesco, 2017, não paginado.)

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, estabelece em seu Art. 27, inciso I, que os conteúdos curriculares da educação básica devem observar, entre outras diretrizes, a "difusão de valores fundamentais ao interesse social, aos direitos e deveres dos cidadãos, de respeito ao bem comum e à ordem democrática". Além disso, o inciso II do mesmo artigo destaca a necessidade de considerar "as condições de escolaridade dos alunos em cada estabelecimento", enquanto o inciso III enfatiza a orientação para o trabalho e a promoção de práticas sociais. Tais princípios reforçam a importância de uma educação comprometida com a formação cidadã e com a compreensão crítica das questões socioambientais. Nesse contexto, a educação ambiental é contemplada pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que a incorpora como tema contemporâneo transversal a ser desenvolvido ao longo da educação básica.

A BNCC destaca a educação ambiental como um componente essencial para o desenvolvimento de competências que permitam aos estudantes entenderem e atuarem sobre questões ambientais de maneira crítica e responsável. No Ensino Médio, a BNCC reforça a educação ambiental como parte das competências gerais a serem desenvolvidas pelos alunos, preparando-os para compreender os impactos das atividades humanas sobre o ambiente e para participarem ativamente de ações que promovam a sustentabilidade (BRASIL, 2018).

A educação é um dos instrumentos no combate ao negacionismo do aquecimento global, especialmente no entendimento dos conceitos termodinâmicos abordados e discutidos no ensino de Física. Ao fornecer conhecimento científico, promover o pensamento crítico e encorajar práticas sustentáveis, a educação pode preparar os estudantes para enfrentar os desafios das mudanças climáticas e contribuir para a construção de um futuro mais sustentável.

Neste contexto, a pesquisa fundamenta-se em duas referências teóricas centrais: a Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel (1968), e a Pedagogia Crítica, de Paulo Freire (2019). A teoria de Ausubel destaca que a aprendizagem ocorre de forma mais efetiva quando os novos conhecimentos se relacionam aos conhecimentos prévios dos estudantes, permitindo a construção de significados e a compreensão mais profunda dos conteúdos. Já a abordagem freireana enfatiza uma educação dialógica, crítica e contextualizada, na qual os estudantes são sujeitos ativos do processo educativo e relacionam o conhecimento científico à realidade social em que vivem.

A articulação dessas teorias oferece uma base consistente para a elaboração de uma sequência didática que integre conceitos de Termodinâmica aos efeitos do clima sobre o planeta Terra, especialmente o aquecimento global. A proposta busca promover uma aprendizagem ativa, crítica e contextualizada, aproximando os conteúdos de Física das experiências e questões

socioambientais vivenciadas pelos estudantes.

Assim, o objetivo principal desta pesquisa é desenvolver uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre conceitos termodinâmicos e os efeitos do aquecimento global na Terra com alunos do EJATEC, visando proporcionar uma compreensão contextualizada dessas temáticas, ampliar os conhecimentos científicos dos estudantes e incentivar atitudes de cuidado e responsabilidade em relação à natureza. Especificamente, os objetivos da pesquisa são:

- Identificar o nível de conhecimento prévio dos alunos sobre conceitos básicos de termodinâmica e aquecimento global, por meio de questionários diagnósticos e entrevistas iniciais. Serão investigados conhecimentos relacionados aos conceitos de calor, temperatura, energia térmica, transferência de calor, efeito estufa, gases de efeito estufa, causas e consequências do aquecimento global, bem como as relações entre as atividades humanas e as mudanças climáticas.
- Aplicar a sequência didática nas turmas do EJATEC, observando e registrando a participação dos estudantes, suas interações com os conteúdos abordados e o desenvolvimento das atividades propostas, buscando compreender como ocorre a construção dos conhecimentos ao longo do processo de ensino e aprendizagem.
- Promover e mediar debates sobre questões ambientais, incentivando os alunos a refletirem criticamente sobre os impactos das ações humanas no clima, os desafios socioambientais contemporâneos e as possíveis estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.
- Avaliar a eficácia da sequência didática por meio de atividades teórico-práticas, incluindo questionários, elaboração de mapas mentais, experimentos em sala de aula e discussões coletivas, analisando tanto a aprendizagem conceitual dos estudantes quanto possíveis mudanças em suas atitudes, percepções e práticas relacionadas às questões ambientais.

Assim sendo, o presente trabalho está estruturado da seguinte forma. Além desta introdução, o segundo capítulo aborda a legislação vigente do ensino de Física voltado para jovens e adultos; o terceiro capítulo descreve a questão do aquecimento global, na qual foi balizado este trabalho. Em seguida, no quarto capítulo, são apresentados os conceitos termodinâmicos; no quinto capítulo, apresentaremos a relação entre a aprendizagem significativa segundo Ausubel em uma perspectiva Freireana e o ensino na EJATEC; no sexto capítulo, são apresentados os resultados; no sétimo capítulo, os resultados obtidos, são analisados e discutidos; no oitavo capítulo conclui-se o trabalho, com a exposição das

considerações finais e perspectivas futuras.

2 EJATEC: LIMITES E PERSPECTIVAS E PERSPECTIVAS NO CUMPRIMENTO AO DIREITO EDUCACIONAL

EJATEC é a sigla para Educação de Jovens e Adultos Integrada a Educação Profissional. É uma modalidade de ensino que combina a Educação de Jovens e Adultos (EJA) com cursos técnicos profissionalizantes, definida pela Lei nº 13.415/2017 e regulamentações atuais da Educação de Jovens e Adultos e da Profissional. A EJATEC é oferecida por escolas públicas e privadas, e pode ser presencial ou a distância.

No modelo presencial, as aulas de EJA são ministradas em escolas de ensino regular, de segunda a sexta-feira, no período diurno ou noturno. As aulas de cursos técnicos são ministradas em escolas técnicas, de segunda a sexta-feira, no período diurno.

No modelo a distância, as aulas de EJA são ministradas online, e as aulas de cursos técnicos são ministradas online ou presencialmente, de acordo com a escola.

A EJATEC é uma importante política pública que visa garantir o direito à educação e à formação profissional para jovens e adultos que não concluíram o ensino fundamental ou médio na idade regular.

Os objetivos da EJATEC são:

- Oferecer aos jovens e adultos a oportunidade de concluir os ensinos fundamental e médio.
- Oferecer aos jovens e adultos uma formação profissional qualificada.
- Contribuir para a inclusão social e a redução da desigualdade.

Os benefícios da EJATEC são:

- Aumento das oportunidades de emprego e renda.
- Melhora da qualidade de vida.
- Ampliação da participação social.

A EJATEC é uma modalidade de ensino que oferece uma série de oportunidades para os jovens e adultos. É uma oportunidade de melhorar a qualidade de vida, ampliar as oportunidades de emprego e renda e participar ativamente da sociedade.

Alguns exemplos de cursos técnicos oferecidos na modalidade EJATEC: Administração, Agropecuária, Automação Industrial, Construção Civil, Eletrônica,

Enfermagem, Gastronomia, Informática, Logística, Mecatrônica, Mecânica, Moda, Saúde Bucal e Serviço Social.

Os cursos técnicos oferecidos na modalidade EJATEC são variados e atendem às diversas áreas de interesse dos jovens e adultos. Os cursos têm duração média de dois anos e são ministrados por professores qualificados.

A EJATEC é uma opção viável para jovens e adultos que buscam concluir os ensinos fundamental e médio e obter uma formação profissional qualificada. É uma modalidade de ensino oferecem flexibilidade, acessibilidade e qualidade, o que a torna uma opção atraente para um público diversificado.

A proposta curricular da educação de jovens e adultos integrada à educação profissional (EJATEC) foi construída e fundamentada em discussões democráticas, de aprimoramento de concepções e de estudos alinhados à política educacional de reformulação curricular para o Ensino Médio.

No Maranhão, a Educação de Jovens e Adultos (EJA) tem um importante diferencial que é sua integração ao Ensino Técnico e Profissional, que compreende o Programa EJATEC. Neste Programa, são ofertados cursos técnicos que, aliados a um ensino com qualidade, promovem a inclusão social de Jovens, Adultos e Idosos, que, na maioria dos casos, já estão integrados a um mercado de trabalho, porém com pouca ou nenhuma qualificação.

A EJATEC representa uma nova oportunidade de retomar os estudos a muitos maranhenses; alguns que, por razões diversas, estão há bastante tempo afastados da escola. A proposta da EJATEC compreende a sociodiversidade como fator constitutivo da Educação de Jovens, Adultos e Idosos. Discentes de diferentes idades, origens, raças e etnias, credos e ocupações, que tiveram suas trajetórias escolares interrompidas, compartilham a mesma sala de aula. Dessa forma, a sala de aula reúne fortes e diferentes sentimentos e expectativas geradas pela sociodiversidade cultural de tensões e interesses, tanto geracionais como de perfis.

2.1 Comparação entre os conteúdos de Física da EJATEC e Ensino Médio Regular

No componente curricular de Física do EJATEC, os conteúdos contemplam os principais eixos estruturantes da área, incluindo Mecânica, Termodinâmica, Eletricidade e Magnetismo, Óptica e ondulatória. Entretanto, a abordagem desses conteúdos considera as especificidades dos estudantes da Educação de Jovens e Adultos, valorizando seus conhecimentos prévios, experiências de vida e contextos de trabalho.

No eixo da Mecânica, são abordados conceitos relacionados ao movimento, às forças,

ao trabalho e à energia, bem como aplicações envolvendo máquinas simples e situações presentes no cotidiano. O objetivo não se limita à compreensão teórica dos fenômenos, mas busca favorecer a interpretação de situações práticas vivenciadas pelos estudantes em diferentes contextos sociais e profissionais.

Em Termodinâmica, são trabalhados conceitos como temperatura, calor, formas de transferência de energia térmica, dilatação térmica e princípios fundamentais da termodinâmica. Esses conteúdos são frequentemente articulados a questões contemporâneas, como o aquecimento global, as mudanças climáticas e o uso sustentável das fontes de energia, favorecendo a formação científica e cidadã dos estudantes.

No campo da Eletricidade e Magnetismo, são exploradas noções de carga elétrica, corrente, tensão, resistência, potência elétrica e circuitos simples, além de conceitos básicos de eletromagnetismo. A contextualização com equipamentos elétricos e eletrônicos presentes no cotidiano possibilita aos estudantes compreender fenômenos físicos relacionados ao consumo de energia e ao funcionamento de diferentes tecnologias.

Os estudos de Óptica contemplam a propagação da luz, os fenômenos de reflexão e refração e a formação de imagens em espelhos e lentes, permitindo relacionar os conceitos físicos a instrumentos amplamente utilizados, como óculos, câmeras e outros dispositivos ópticos. Já no eixo de ondulatória, são abordadas as características das ondas mecânicas e eletromagnéticas, os fenômenos sonoros e aspectos fundamentais do espectro eletromagnético, enfatizando suas aplicações tecnológicas e sociais.

A Física no EJATEC é organizada em eixos temáticos que relacionam conceitos científicos ao cotidiano e ao mundo do trabalho. A Tabela 1 apresenta os conteúdos e enfoques pedagógicos associados a cada eixo.

Tabela 1 – Principais eixos temáticos e enfoques pedagógicos da Física no EJATEC.

Eixo Temático	Conteúdos e Enfoques Pedagógicos
Mecânica	Movimento, forças, trabalho, energia, gravidade e máquinas simples, relacionados a situações do cotidiano, do mundo do trabalho e da resolução de problemas práticos.
Termodinâmica	Temperatura, calor, transferência de calor, dilatação térmica e princípios da termodinâmica, articulados às discussões sobre eficiência energética, fontes de energia, efeito estufa e aquecimento global.
Eletricidade e Magnetismo	Carga elétrica, corrente elétrica, tensão, resistência, potência, circuitos simples e conceitos básicos de eletromagnetismo, com aplicações em equipamentos e sistemas tecnológicos presentes no cotidiano.
Óptica	Propagação da luz, reflexão, refração, espelhos, lentes e formação de imagens, associados ao funcionamento de instrumentos ópticos e tecnologias de uso cotidiano.
Ondulatória	Ondas mecânicas e eletromagnéticas, som, luz e espectro eletromagnético, enfatizando suas aplicações tecnológicas, comunicacionais e sociais.

Fonte: Elaborado pela autor (2025).

Dessa forma, a Física no EJATEC não deve ser compreendida como uma versão simplificada do Ensino Médio regular. Trata-se de uma proposta curricular que mantém os conceitos essenciais da área, mas os desenvolve por meio de estratégias pedagógicas contextualizadas, interdisciplinares e significativas, considerando os tempos de aprendizagem, as experiências acumuladas e as necessidades formativas dos estudantes jovens e adultos.

Embora os conhecimentos fundamentais da Física integrem tanto o currículo do Ensino Médio regular quanto o do EJATEC, a organização didático-pedagógica desta modalidade é orientada pelas especificidades dos sujeitos da Educação de Jovens e Adultos, reconhecendo suas trajetórias de vida, experiências profissionais e saberes construídos ao longo de sua formação social. Nesse sentido, o ensino de Física no EJATEC busca promover a articulação entre os conceitos científicos e a realidade vivenciada pelos estudantes, favorecendo a compreensão dos fenômenos físicos a partir de situações concretas e significativas.

Essa perspectiva pressupõe que a aprendizagem ocorre de maneira mais efetiva quando os novos conhecimentos dialogam com as experiências prévias dos educandos. Assim, os conteúdos de Física são abordados de forma contextualizada, estabelecendo relações com o cotidiano, o mundo do trabalho e questões sociais, científicas e ambientais contemporâneas. Mais do que a simples transmissão de conceitos, busca-se criar condições para que os estudantes

compreendam criticamente os fenômenos naturais e tecnológicos presentes em sua realidade, fortalecendo sua formação científica, cidadã e profissional.

3 AQUECIMENTO GLOBAL E SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA A VIDA NA TERRA E PARA A HUMANIDADE

Devido às consequências danosas ao meio ambiente e aos seres humanos, o aquecimento global é classificado como um problema ambiental grave como mostrado na Figura 1. Aliás, por conta de seu agravamento, em 2023, o então secretário-geral da Organização das Nações Unidas (ONU), António Guterres, cunhou a expressão “ebulição global” para descrever a atual fase do aquecimento global.

Figura 1: Imagem de uma matéria sobre o aquecimento global.



Fonte: <https://pbs.twimg.com/media/F6VDTclW8AA36pg?format=jpg&name=900x900>

Em 1985, aconteceu na Áustria a conferência *Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts*, que reuniu 89 cientistas de 23 nações. Tal conferência foi fundamental para o estabelecimento de que um aquecimento global estava ocorrendo devido à ação humana. Em 1987, cientistas da estação Vostok¹ na Antártica analisaram cilindros de gelo (conhecidos como testemunhos de gelo) que revelaram a relação entre a concentração de CO₂ na atmosfera e a temperatura do planeta com consequências globais e que requer cooperação internacional. O segundo relatório do IPCC que ocorreu em 1995, forneceu material importante para o Protocolo de Quioto em 1997. Em 2001 o

¹ Vostok é uma estação de pesquisa russa no interior da Terra da Princesa Elizabeth, Antártica. Fundada pela União Soviética em 1957, a estação fica no Polo Sul de Cold, com a temperatura natural mais baixa da Terra de -89,2 °C (-128,6 °F; 184,0 K).

terceiro relatório focou a atenção nos impactos das mudanças climáticas e a necessidade de adaptação. Esse relatório tem uma posição mais afirmativa sobre os impactos que o homem exerce sobre o clima: “Existe nova e mais forte evidência de que a maior parte do aquecimento observado ao longo dos últimos 50 anos seja atribuível às atividades humanas” (IPCC, 2001).

Nos relatórios seguintes do IPCC (2007, 2013), os níveis de confiança na atribuição da influência humana no clima global aumentaram cada vez mais. O quinto Relatório do IPCC (2013) forneceu subsídios científicos para o Acordo de Paris e indicou que:

A influência humana no sistema climático é clara. Isto é evidente a partir do aumento gradativo das concentrações de gases estufa na atmosfera, da forçante radioativa positiva, do aquecimento observado, e da compreensão do sistema climático (IPCC, 2013, p. 15).

A Figura 2 mostra uma imagem de uma fábrica expelindo gases na atmosfera. Essa é uma das principais fontes de poluição e causa do efeito estufa.

Figura 2: Emissão de gases poluentes na atmosfera por fábrica



. Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/aquecimento-global.htm>

O relatório *Climate Change and Land*, do IPCC, publicado dia 08 de agosto de 2019, foi resultado de dois anos de trabalho de 103 cientistas de 52 países e trata da conexão entre o uso da terra e seus efeitos sobre a mudança climática (IPCC, 2019). O crescimento da população mundial faz com que aumente a produção e consumo de alimentos, o que contribui para o aumento das emissões de gases de efeito estufa, perda de ecossistemas naturais e diminuição da biodiversidade. De acordo com IPCC (2019) o sistema alimentar responde por cerca de 21-37% de todas as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Durante os anos de 2007 e 2016, a agricultura, silvicultura e outros usos da terra foram responsáveis por cerca de 13% do CO₂, 44% do metano (CH₄) e 81% das emissões de óxido nitroso (N₂O) de atividades humanas, o que representa 23% das emissões antrópicas de GEE (IPCC, 2019).

Esse relatório afirma que a influência humana no sistema climático é clara, e essa

conclusão se baseia em várias linhas de evidência, incluindo o aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, a forçante radiativa positiva (ou seja, o desequilíbrio energético causado pelo aumento desses gases), o aquecimento global observado e o entendimento aprimorado do sistema climático. É um dos documentos mais importantes e amplamente citados na ciência climática, e ele fornece uma base robusta para a compreensão atual do aquecimento global e das mudanças climáticas causadas por atividades humanas.

3.1 Efeitos do aquecimento global no Brasil

Os efeitos do aquecimento global no Brasil são variados e intensificam-se à medida que as temperaturas globais continuam a subir. Esses efeitos impactam diversas áreas, desde o meioambiente até a economia e a saúde pública.

O aquecimento global tem contribuído para o aumento da frequência e da intensidade das secas na Amazônia, que por sua vez exacerba o risco de incêndios florestais. Essas secas comprometem a capacidade da floresta de atuar como um sumidouro de carbono, transformando-a em uma possível fonte de emissões de CO₂. (BORMA; NOBRE, 2013).

Figura 3: Incêndio florestal.



Fonte: <https://metsul.com/numero-de-queimadas-dispara-na-amazonia/>

A ocorrência de ondas de calor no Brasil, especialmente na Amazônia, tem contribuído significativamente para o aumento da incidência de incêndios florestais (Figura 3). As altas temperaturas e a falta de umidade no solo criam condições propícias para a combustão, agravando a situação ambiental. Além disso, esses incêndios não apenas destroem vastas áreas de floresta, mas também liberam grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, contribuindo ainda mais para o aquecimento global.

A figura 4 apresenta um recorte das secas mais severas e prolongadas, que afetam a agricultura, os recursos hídricos e a qualidade de vida das populações locais. O aumento das temperaturas agrava a desertificação e a escassez de água da região semiárida do Nordeste brasileiro.

Figura 4: Imagem de terra seca no Nordeste brasileiro



. Fonte: <https://www.portavalenoticias.com.br/noticia/12785/nordeste-tera-seca-muito-forte-em-2024>

As secas no Pantanal, assim como as queimadas e tantos outros desastres ambientais, estão diretamente ligadas às mudanças climáticas. Além das milhares de vidas perdidas todos os anos e dos altos prejuízos financeiros, a perda de biodiversidade é mais uma das graves consequências dos extremos do clima (Figura 5).

Figura 5: Imagem da seca no Pantanal



. Fonte: <https://observatoriopantanal.org/>

O Sudeste e Sul do País, especialmente áreas urbanas como São Paulo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul, tem visto um aumento em eventos extremos, como enchentes e deslizamentos de terra, devido às chuvas intensas. Estes eventos são exacerbados pela urbanização e pela falta de infraestrutura adequada (Figura 6).

Figura 6: Enchentes que ocorreram no Rio Grande do Sul a partir do dia 27 de abril de 2024



Fonte: Marinha do Brasil (RS).

O Brasil tem registrado ondas de calor mais intensas e frequentes, que podem levar a problemas de saúde, como insolação, exaustão pelo calor e agravamento de condições respiratórias e cardiovasculares (Brasil, Ministério da Saúde, 2023).

O Ministério da Saúde (*op.cit*) afirma que aumento das temperaturas e mudanças nos padrões de precipitação afetam a distribuição de mosquitos transmissores de doenças como a dengue, zika e chikungunya, expandindo seu alcance para novas áreas. Ainda de acordo com o Ministério da Saúde, as culturas agrícolas, como soja, milho e café, são sensíveis às mudanças climáticas. Alterações no regime de chuvas e temperaturas extremas podem reduzir a produtividade, impactando a economia e a segurança alimentar.

O aumento das temperaturas e a mudança nos padrões de precipitação também afetam a produção pecuária, tanto pela redução da disponibilidade de pastagem quanto pelo aumento do estresse térmico nos animais. A hidreletricidade, que é a principal fonte de energia do Brasil, é vulnerável a mudanças nos padrões de precipitação. Períodos de seca prolongada podem reduzir a geração de energia e aumentar a dependência de fontes mais caras e poluentes, como as termelétricas.

Regiões turísticas, como o litoral brasileiro, podem sofrer com o aumento do nível do mar, que ameaça áreas costeiras e infraestruturas turísticas. O aumento do nível do mar ameaça regiões costeiras densamente povoadas, como Recife e o Rio de Janeiro, aumentando o risco de inundações e erosão costeira, o que pode deslocar comunidades e danificar infraestruturas.

Os efeitos do aquecimento global no Brasil são amplos e multifacetados, afetando a biodiversidade, a economia e a saúde pública. A adaptação a esses impactos e a implementação de políticas eficazes de mitigação são cruciais para reduzir os danos e garantir um futuro

sustentável para o país.

O tema das mudanças climáticas é, de fato, um assunto multidisciplinar que permite diversas abordagens. A partir da perspectiva da Física, podemos analisar os princípios que regem o clima, como a termodinâmica, a transferência de calor e o efeito estufa, que são fundamentais para compreender como as alterações na composição atmosférica impactam as temperaturas globais.

O tema sobre o aquecimento global, é fundamental compreender as causas antropogênicas e naturais desse fenômeno. A maioria dos cientistas concorda que a atividade humana, especialmente a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento, desempenha um papel central no aumento das concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera, levando ao aquecimento global (IPCC, 2021). Apesar disso, há debates contínuos sobre a contribuição de fatores naturais, como variações solares e atividade vulcânica, para as mudanças climáticas globais (HANSEN, 2013).

Os impactos do aquecimento global são amplamente documentados e preocupantes, incluindo a elevação do nível do mar, aumento da frequência de eventos climáticos extremos, perda de biodiversidade e alterações nos padrões de precipitação e temperatura (IPCC, 2022). Embora alguns argumentem que os efeitos podem ser menos severos ou até mesmo trazer benefícios localizados, como temporadas de cultivo mais longas em certas regiões, a maioria das projeções indica uma série de desafios ambientais, econômicos e sociais significativos no futuro (SCHLEUSSNER et al., 2016).

Em termos de políticas de mitigação, acordos internacionais como o Acordo de Paris representam esforços coletivos para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e limitar o aquecimento global a níveis considerados seguros pela comunidade científica (UNFCCC, 2015). Contudo, a eficácia dessas políticas é frequentemente questionada, especialmente em relação à implementação e ao cumprimento das metas estabelecidas pelos países signatários (Victor, 2017). A questão da justiça climática também surge, com países em desenvolvimento exigindo maior apoio financeiro e tecnológico dos países industrializados, que historicamente contribuíram mais para as emissões globais (HÖHNE et al., 2014).

A divulgação pública sobre as mudanças climáticas é crucial para promover a conscientização e a ação coletiva. No entanto, a disseminação de desinformação e o negacionismo científico continuam a ser desafios significativos, influenciando a percepção pública e a formulação de políticas eficazes (LEWANDOWSKY et al., 2012). É essencial que a comunicação científica seja clara, acessível e baseada em evidências robustas, como aquelas fornecidas pelos relatórios do IPCC, para construir uma compreensão compartilhada e

informada sobre a urgência das mudanças climáticas (IPCC, 2021).

Em síntese, abordar o aquecimento global requer uma resposta coordenada e global, integrando políticas de mitigação eficazes, educação pública abrangente e cooperação internacional. A ciência e a educação, especialmente dentro de disciplinas como a Física, desempenham um papel fundamental na compreensão dos mecanismos físicos subjacentes às mudanças climáticas e na busca por soluções sustentáveis para proteger nosso planeta e as gerações futuras.

3.2 O debate atual sobre o aquecimento global

O aquecimento global por se tratar de tema relevante na atualidade tanto para a ciência quanto para os governos, envolvendo ainda organizações internacionais, empresas e a sociedade civil na busca de alternativas sustentáveis.

Alguns pontos organizados a partir de debates mundiais já ocorridos tais como:

1. Há um consenso robusto na comunidade científica de que o aquecimento global é real e que as atividades humanas são a principal causa. Estudos mostram que a concentração de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO_2), aumentou significativamente desde a Revolução Industrial, levando a um aumento das temperaturas médias globais.
2. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) publica relatórios regulares que consolidam a pesquisa científica sobre mudanças climáticas. O último relatório, lançado em 2021, reforça a urgência de ações imediatas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e limitar o aquecimento global a $1,5^\circ\text{C}$ acima dos níveis pré-industriais.
3. Ainda segundo o IPCC, o aquecimento global está associado a um aumento na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como ondas de calor, tempestades, enchentes e secas. Esses eventos têm impactos devastadores em comunidades e ecossistemas ao redor do mundo.
4. O derretimento das calotas polares e das geleiras está contribuindo para a elevação do nível do mar, ameaçando áreas costeiras e ilhas baixas com inundações e erosão.
5. Mudanças no clima afetam os habitats naturais, colocando muitas espécies em risco de extinção e alterando ecossistemas inteiros.
6. O Acordo de Paris de 2015 é um marco importante, com 196 países comprometendo-se a limitar o aumento da temperatura global abaixo de 2°C , preferencialmente a $1,5^\circ\text{C}$. No entanto, a implementação desses compromissos tem sido desigual.

7. Alguns Países estão adotando políticas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, como a transição para energias renováveis, a implementação de impostos sobre carbono e a promoção de tecnologias limpas.

8. Ativistas e organizações da sociedade civil têm desempenhado um papel crucial na conscientização sobre o aquecimento global. Movimentos como *Fridays for future*, liderado pela ativista e ambientalista sueca Greta Thunberg, têm mobilizado milhões de jovens ao redor do mundo para exigir ação climática urgente.

9. Apesar do consenso científico, ainda existem grupos que negam a existência do aquecimento global ou a influência humana nele. Esses grupos frequentemente têm vínculos com indústrias de combustíveis fósseis e influenciam o debate político.

10. A questão da justiça climática é central no debate atual. Países em desenvolvimento, que historicamente têm contribuído menos para as emissões de gases de efeito estufa, são frequentemente os mais vulneráveis aos impactos das mudanças climáticas. Há uma demanda crescente para que os países desenvolvidos assumam maior responsabilidade e forneçam apoio financeiro e tecnológico para ajudar os países em desenvolvimento a se adaptarem e mitigarem os efeitos do aquecimento global.

A transição para uma economia de baixo carbono apresenta desafios significativos, incluindo a necessidade de inovação tecnológica, mudanças nas infraestruturas energéticas e a gestão dos impactos econômicos e sociais dessa transição. Algumas dessas inovações e soluções são investimentos em energias renováveis, como solar e eólica; tecnologias de captura e armazenamento de carbono para redução das emissões de CO₂; restauração de florestas, conservação de ecossistemas marinhos e agricultura sustentável que podem ajudar a sequestrar carbono e aumentar a resiliência aos impactos climáticos; educação sobre mudanças climáticas como ação essencial para capacitar as novas gerações a entenderem os desafios e a participarem ativamente na busca por soluções.

O debate atual sobre o aquecimento global é multifacetado, envolvendo aspectos científicos, políticos, econômicos e sociais. O consenso científico aponta para a necessidade urgente de ações coordenadas a nível global para mitigar os impactos das mudanças climáticas e garantir um futuro sustentável. A transição para um mundo de baixo carbono exige a colaboração de todas as partes interessadas, desde governos e empresas até a sociedade civil e indivíduos.

No capítulo seguinte faremos uma revisão dos conceitos de Física necessários para um bom entendimento de como a ação humana está influenciando o clima e das consequências decorrentes dessa influência.

4 CONCEITOS TERMODINÂMICOS

Termodinâmica, como um ramo da Física que estuda as transformações de energia entre diferentes formas, oferece uma base teórica essencial para compreender como as atividades humanas influenciam o sistema climático terrestre. Neste contexto, exploraremos conceitos como reservatório térmico, temperatura, calor, energia e as leis da termodinâmica são cruciais para elucidar os mecanismos físicos que regem o aquecimento global. Além disso, discutiremos as implicações desses conceitos para o entendimento das dinâmicas climáticas, abordando tanto processos naturais quanto os impactos das atividades antrópicas. Esta revisão prepara para uma análise mais aprofundada das interações entre o sistema climático e as ações humanas, essencial para a formulação de estratégias eficazes de mitigação e adaptação às mudanças climáticas globais.

4.1 A atmosfera como um reservatório térmico

O conceito de reservatório térmico na termodinâmica se refere a um sistema com capacidade praticamente infinita de absorver ou liberar energia na forma de calor, sem sofrer alterações significativas na sua temperatura. Esses reservatórios são ideais e mantêm a temperatura mesmo quando trocam grandes quantidades de calor com outros sistemas. Exemplos clássicos incluem oceanos profundos, grandes massas de gelo e a atmosfera terrestre.

A atmosfera da Terra sempre foi considerada um reservatório térmico eficiente, capaz de absorver e redistribuir grandes quantidades de calor sem mudanças expressivas na sua temperatura global. Ela desempenha um papel crucial no equilíbrio energético do planeta, recebendo energia solar, redistribuindo o calor e mantendo um ambiente estável para a vida. Em um cenário de equilíbrio natural, a atmosfera poderia continuar agindo como um reservatório térmico eficiente.

Com o aumento das emissões de gases de efeito estufa, como CO_2 , CH_4 e NO_2 , o equilíbrio térmico da atmosfera está sendo alterado. Esses gases impedem que o calor irradiado pela Terra escape para o espaço, o que resulta no acúmulo de calor na atmosfera. Esse processo, conhecido como intensificação do efeito estufa, leva ao aquecimento global.

Esse acúmulo de calor significa que a atmosfera não está mais funcionando como um reservatório térmico "infinito". Em vez de absorver e liberar calor sem grandes mudanças, como um reservatório ideal, a temperatura média da atmosfera está aumentando gradativamente. Isso se deve à capacidade limitada da atmosfera de dissipar o excesso de calor causado pelas

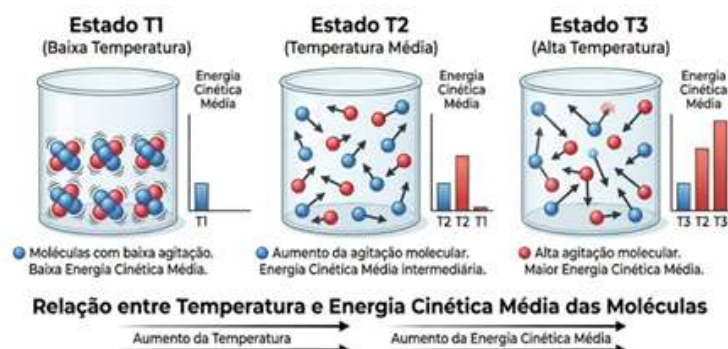
atividades humanas. Portanto, enquanto antes a atmosfera poderia ser considerada um sistema estável que moderava variações térmicas, agora o aumento contínuo das temperaturas sugere que ela está perdendo essa característica de um reservatório térmico eficiente. Como resultado, mudanças climáticas severas, aumento de eventos extremos e impactos no equilíbrio climático global estão sendo observados, evidenciando que o sistema atmosférico está em transformação e sofrendo consequências desse desequilíbrio energético.

4.2 Temperatura

Desde os primórdios da existência humana até os dias atuais, a temperatura tem desempenhado um papel importante na relação entre o ser humano e o ambiente. A descoberta e o domínio do fogo representaram um marco fundamental nesse processo, pois possibilitaram não apenas o aquecimento, mas também o preparo de alimentos, a proteção contra predadores e a ocupação de diferentes ambientes. Evidências arqueológicas indicam que o uso controlado do fogo está associado ao *Homo erectus*, há centenas de milhares de anos, configurando um avanço significativo no processo evolutivo humano (WRANGHAM, 2010).

Com o desenvolvimento da percepção das sensações térmicas de quente e frio e a descoberta do aquecimento, pesquisadores começaram a investigar mais profundamente esse fenômeno (Sampaio, 2005, *apud* Sá, 2016). Surgiram estudos que buscavam entender não apenas as sensações de calor e frio, mas também o comportamento da matéria em resposta a variações térmicas. Essas pesquisas levaram à conceituação da temperatura como uma grandeza física associada à energia cinética das moléculas de um corpo (YOUNG; FREEDMAN, 2008).

Figura 7: As temperaturas T1, T2, e T3 de um corpo estão relacionadas à energia cinética média de suas moléculas.



Fonte: <https://fisicaevestibular.com.br/novo/fisica-termica/termometria/conceitos-iniciais-temperatura-e-calor/>

Na termodinâmica, a temperatura é uma grandeza fundamental que descreve o estado

térmico de um sistema e está relacionada à energia interna e ao movimento das partículas constituintes. Ela mede a tendência de um sistema transferir energia na forma de calor, sendo uma das principais variáveis de estado, ao lado de pressão e volume.

A temperatura termodinâmica é definida de maneira absoluta e independente de substâncias específicas. No contexto da Lei Zero da Termodinâmica, ela determina que: Dois sistemas em equilíbrio térmico com um terceiro estão em equilíbrio térmico entre si, o que permite a definição de uma escala comum de temperatura. Na prática, a temperatura é a variável que determina a direção do fluxo de calor: o calor sempre flui espontaneamente do sistema de maior temperatura para o de menor temperatura.

Em sistemas microscópicos, a temperatura está diretamente associada à energia cinética média das partículas. Por exemplo, em um gás ideal:

$$\langle E_{cin} \rangle = \frac{3}{2} k_B T \quad (1)$$

Em que $\langle E_{cin} \rangle$ é a energia cinética média por partícula, k_B é a constante de Boltzmann e T é a temperatura absoluta.

A medição da temperatura pode ser feita em diferentes escalas:

- Celsius (°C): Baseada no ponto de congelamento (0°C) e ebulição (100°C) da água a 1 atm.
- Fahrenheit (°F): Usada em países como os EUA, tem intervalos menores por grau.
- Kelvin (K): Escala absoluta, usada em ciência, em que 0 K é o zero absoluto, a menor temperatura possível.

Na termodinâmica, a escala mais utilizada é a escala Kelvin, que é absoluta e baseada no zero absoluto (0 K), o ponto em que as partículas teriam energia mínima possível.

Papel na Termodinâmica

- Lei Zero da Termodinâmica: Define a temperatura como um indicador de equilíbrio térmico.
- Primeira Lei da Termodinâmica: Relaciona variações de energia interna, trabalho, e calor trocado.
- Segunda Lei da Termodinâmica: Vincula a temperatura com a eficiência dos processos térmicos e a entropia.

4.2.1 Temperatura do planeta

A Lei de Stefan-Boltzmann² é fundamental para entender o equilíbrio térmico da Terra e como sua temperatura é determinada pela radiação que ela emite para o espaço. Essa lei descreve a relação entre a temperatura de um corpo e a quantidade de energia que ele irradia, sendo expressa pela equação:

$$P = \sigma AT^4 \quad (2)$$

Em que P é a potência irradiada, A é a área da superfície do corpo, T é a temperatura absoluta do corpo e σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma \approx 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$).

Para o cálculo da intensidade da radiação solar recebida pela Terra, vamos adotar que o Sol é uma esfera de raio $6,957 \times 10^8 \text{ m}$. Assumindo que a Terra é muito menor que o Sol, a intensidade em um ponto localizado a uma unidade astronômica (distância média Terra-Sol) é a intensidade da radiação solar que chega à Terra. Por definição, intensidade é potência por unidade de área. Assim, a intensidade da radiação solar que chega à Terra é

$$I = \sigma T_{\text{Sol}}^4 \left(\frac{R}{r} \right)^2 \quad (3)$$

em que R é o raio do Sol ($6,957 \times 10^8 \text{ m}$) e r o raio médio da órbita da Terra (1 unidade astronômica, igual a $1,496 \times 10^{11}$). Finalmente, considerando que o valor da temperatura da superfície do Sol é de cerca de 5778 K, temos

$$I = 5,67 \times 10^{-8} \times 5778^4 \left(\frac{6,957 \times 10^8}{1,496 \times 10^{11}} \right)^2 \text{ W/m}^2 = 1367 \text{ W/m}^2 \quad (4)$$

A Terra recebe energia solar, parte dela é absorvida e outra parte é refletida de volta ao espaço. A temperatura média da Terra depende do equilíbrio entre a energia que chega do Sol e a energia que a Terra emite de volta ao espaço na forma de radiação térmica. Pela Lei de Stefan-Boltzmann, a energia irradiada pela Terra aumenta com a temperatura, mas também é influenciada pelo efeito estufa (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Para um planeta como a Terra, sem considerar a atmosfera, a temperatura de equilíbrio (quando a energia absorvida é igual à energia irradiada) pode ser determinada através da Lei de Stefan-Boltzmann fazendo-se algumas considerações. Primeiramente, a uma distância r suficientemente grande do Sol, a intensidade da radiação produzida é dada por

² Foi descoberta pelo físico austríaco Joseph Stefan (1835-1893) e deduzida teoricamente pelo físico austríaco Ludwig Eduard Boltzmann (1844-1906).

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} = \sigma \frac{R_{Sol}^2}{r^2} T_{Sol}^4 \quad (5)$$

Porém a Terra não absorve exatamente essa quantidade de radiação, basicamente por dois motivos: a área da Terra que recebe a radiação é diferente da área que emite (a Terra recebe radiação apenas em uma área circular, mas emite numa área esférica), o que reduz a intensidade absorvida por um fator 1/4 e a reflexão da radiação devido à superfície da Terra (albedo). Assim, a intensidade da radiação absorvida pela Terra é uma fração de I dado na equação (4):

$$I_{abs} = \frac{1 - \alpha}{4} I = \frac{1 - \alpha}{4} \sigma \frac{R_{Sol}^2}{r^2} T_{Sol}^4 \quad (6)$$

em que α é o albedo da Terra, cerca de 30%.

Para calcular a temperatura média aproximada da Terra, consideramos que o balanço energético está em equilíbrio, isto é, a energia proveniente do Sol que é absorvida pela Terra (com as considerações de refletividade e área de absorção) é igual à energia emitida pela Terra como um corpo negro. Em símbolos:

$$I_{emi} = I_{abs} \Rightarrow \sigma T_{Terra}^4 = \frac{1 - \alpha}{4} \sigma \frac{R_{Sol}^2}{r^2} T_{Sol}^4 \Rightarrow T_{Terra} = \left(\frac{1 - \alpha}{4} \frac{R_{Sol}^2}{r^2} \right)^{\frac{1}{4}} T_{Sol} \quad (7)$$

em que para a expressão para a intensidade emitida pela Terra foi utilizada a lei de Stefan-Boltzmann: $I_{emi} = \frac{\sigma A T_{Terra}^4}{4\pi R_{Terra}^2}$ com a área $A = 4\pi R_{Terra}^2$. Substituindo os valores numéricos na equação (7), a temperatura da Terra, devido apenas à radiação solar, seria de aproximadamente 255 K, ou -18,3°C. Esse valor é uma estimativa teórica sem incluir o efeito estufa, que eleva a temperatura média da Terra para valores mais altos e mais compatíveis com o clima habitável que observamos (aproximadamente 15 °C).

O efeito estufa e o aquecimento global são fenômenos inter-relacionados, mas possuem diferenças importantes:

O efeito estufa é um processo natural que ocorre quando certos gases presentes na atmosfera, chamados de *gases de efeito estufa* (como o dióxido de carbono, o metano, e o vapor d'água), retêm parte da radiação infravermelha emitida pela Terra após ser aquecida pelo Sol. Esse processo mantém a temperatura média da superfície terrestre em torno de 15 °C, o que é essencial para sustentar a vida como a conhecemos. (Tiba, C. ,2008, p.27).

Segundo Tollefson, J. (2015), o aquecimento global, por outro lado, refere-se ao aumento gradual da temperatura média global devido ao aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera. Este aumento é causado principalmente pela atividade humana, como a queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás) e o desmatamento. Com mais gases retendo o calor, a Terra se aquece além do nível natural, o que pode levar a mudanças climáticas e a uma série de consequências ambientais, como derretimento das calotas polares, elevação do nível do mar e eventos climáticos extremos.

A compreensão da temperatura e de seus efeitos sobre a matéria é crucial não apenas para entender fenômenos físicos cotidianos, mas também para explorar fenômenos globais complexos, como as mudanças climáticas. A relação entre temperatura e clima global envolve processos físicos complexos que são fundamentais para analisar os impactos das atividades humanas sobre o aquecimento global.

A medição da temperatura global é fundamental para monitorar o aquecimento global e entender as mudanças climáticas. Ela é realizada de várias maneiras, usando diferentes tipos de instrumentos e metodologias para obter uma imagem precisa e abrangente das mudanças na temperatura do planeta. Aqui estão alguns dos métodos principais:

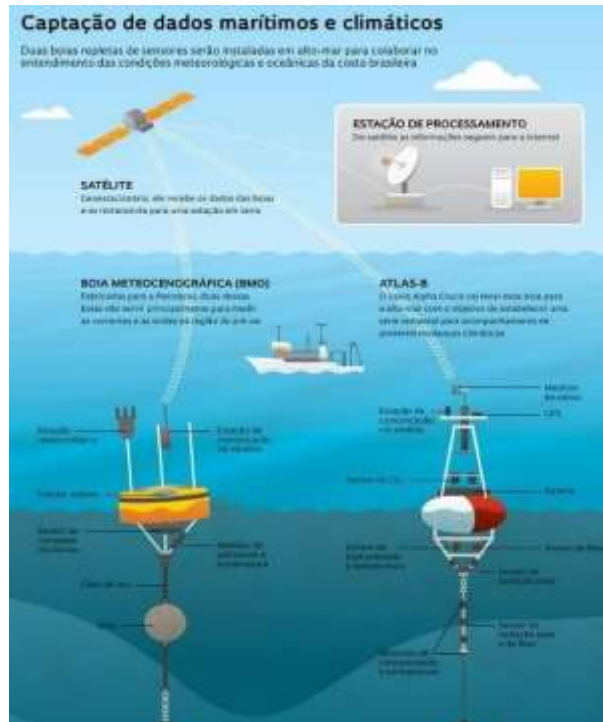
4.2.2 Medições de superfície

Para se aferir a temperatura, diversos equipamentos são utilizados. Listando alguns deles:

- Termômetros: os termômetros convencionais são usados em estações meteorológicas ao redor do mundo para medir a temperatura do ar próximo à superfície terrestre. Esses dados são coletados e compilados por organizações como a NOAA (Administração Nacional Oceânica e Atmosférica) e a NASA. De acordo com a NASA, mesmo com o sobe e desce dos termômetros e dos diferentes fenômenos climáticos que ocorrem no planeta, a superfície da Terra tem uma temperatura média de 15°C.
- Boias oceânicas: bóias equipadas com sensores de temperatura monitoram a temperatura da superfície do mar, que é uma parte crucial da temperatura global.
- Radiômetros de microondas e infravermelho: satélites equipados com radiômetros captam a radiação emitida pela superfície terrestre e pela atmosfera, o que permite calcular a temperatura. Isso oferece uma cobertura global, incluindo áreas remotas como os oceanos e as regiões polares.

- Perfil de temperatura atmosférica: satélites também podem medir a temperatura em diferentes altitudes na atmosfera, ajudando a entender como o aquecimento global está afetando a atmosfera em diferentes níveis.

Figura 8: Sistema de captação de dados meteorológico.

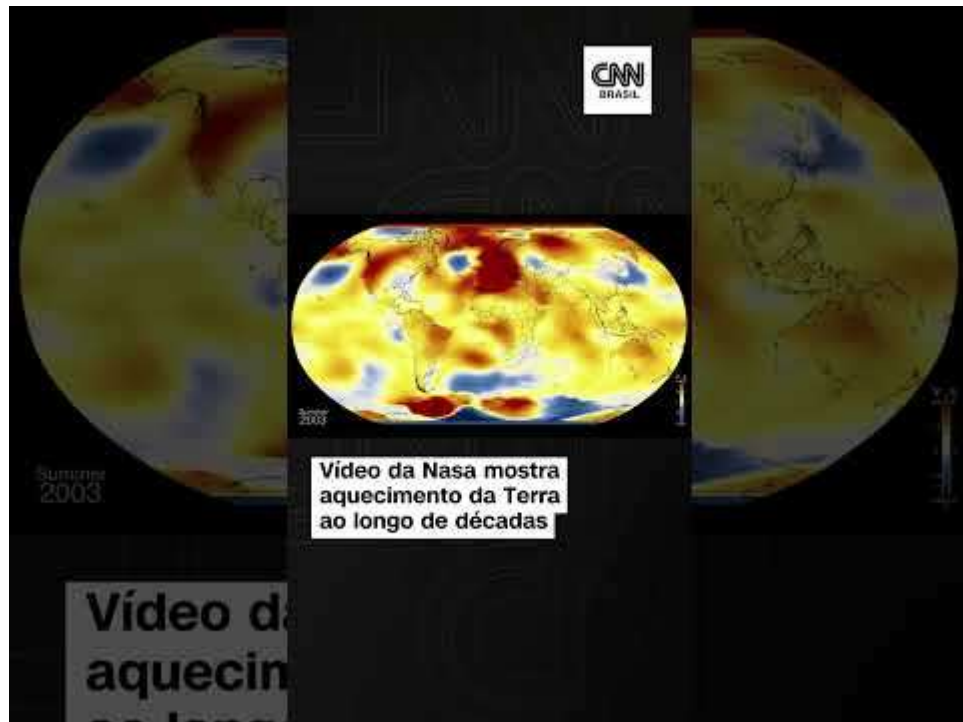


Fonte: http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/08/068-071_Boias_198-info1.jpg

4.2.3 Modelos climáticos

Os dados observados são utilizados em modelos climáticos (figura 9) para fornecer uma estimativa detalhada e consistente da temperatura global ao longo do tempo. Esses modelos ajudam a preencher lacunas onde não há medições diretas.

Figura 9: Vídeo de simulação das temperaturas da Terra ao longo dos anos feito pela NASA



. Fonte: <https://youtu.be/czf1qGertpI>

4.2.4 Paleoclimatologia

Para estudar a temperatura global antes das medições modernas, os cientistas usam proxies como anéis de árvores, núcleos de gelo e sedimentos oceânicos (Figura 10) para reconstruir a temperatura passada da Terra, mostrada na (Figura 11), através dos gráficos de Keeling³.

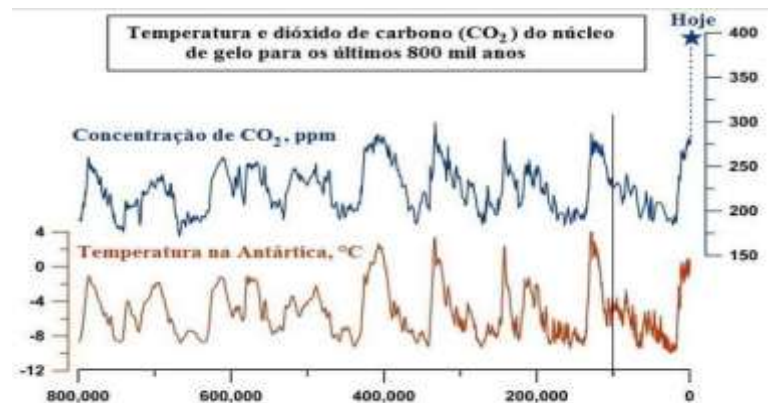
Figura 10: Extração de núcleos de gelo retirados na Antártica



. Fonte: <https://www.saberatualizado.com.br/2019/12/quais-sao-as-evidencias-paleoclimaticas.html>

³ Charles David Keeling foi um climatologista estadunidense. Dedicou a maior parte da sua vida profissional à medição dos níveis de gás carbônico no ambiente.

Figura 11: Gráfico mostrando a temperatura média na Antártica ao longo de centenas de anos.



Fonte: <https://www.saberatualizado.com.br/2019/12/quais-sao-as-evidencias-paleoclimaticas.html>

4.2.5 Importância da Medição Precisa

Medições precisas e contínuas da temperatura são essenciais para monitorar as tendências de aquecimento global, informar políticas climáticas e prever mudanças climáticas futuras e seus impactos. Essas medições são cruciais para compreender as consequências do aquecimento global, como o aumento do nível do mar, a intensificação dos eventos climáticos extremos e as mudanças nos ecossistemas globais.

A climatologia⁴ abrange a investigação de fenômenos como mudanças climáticas, variações sazonais, padrões de precipitação e temperatura, além de eventos extremos como secas e tempestades.

A climatologia também considera fatores como radiação solar, circulação atmosférica, interações oceano-atmosfera (como o fenômeno El Niño), e os impactos das atividades humanas, como a emissão de gases de efeito estufa. Esse campo é fundamental para entender as mudanças climáticas atuais e prever possíveis impactos futuros no ambiente e na sociedade.

4.3 Conceito de Calor

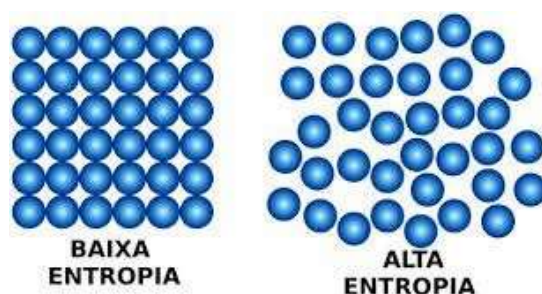
Na termodinâmica, o calor (dQ) é definido como a quantidade de energia transferida entre um sistema e sua vizinhança devido a uma diferença de temperatura. Essa transferência ocorre de forma que o sistema e o ambiente tendem ao equilíbrio térmico. O calor não é uma função de estado (ou seja, seu valor depende do caminho percorrido), mas sim uma forma de energia em trânsito.

$$dQ = TdS \quad (8)$$

⁴ A climatologia é o estudo do clima, que inclui a análise de padrões meteorológicos de longo prazo e as tendências atmosféricas em uma determinada região ou globalmente. Ela se diferencia da meteorologia, que se concentra em prever o tempo em curto prazo.

A expressão termodinâmica (8) representa a relação entre o calor dQ trocado pelo sistema, a temperatura T (em Kelvin) e a variação de entropia dS do sistema. Essa fórmula é válida para processos reversíveis (Figura 12), nos quais não há geração de entropia interna. A expressão da equação 8 indica que a quantidade de calor transferida em um processo reversível é proporcional à variação de entropia, com a constante de proporcionalidade sendo a temperatura. Essa relação é essencial na segunda lei da termodinâmica e ajuda a entender como o calor e a entropia estão ligados em processos que tendem ao equilíbrio.

Figura 12: O aumento da entropia está associado ao aumento do número de estados possíveis



Fonte: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/entropia-uma-grandeza-termodinamica.htm>

4.3.1 Processos reversíveis e irreversíveis

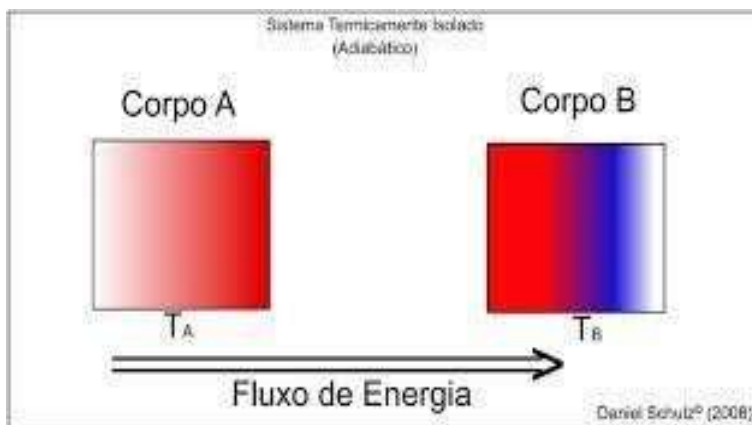
Segundo Callen, H. B. (1985), em um processo reversível, o sistema passa por uma série de estados de equilíbrio, e qualquer alteração pode ser “revertida” sem deixar efeitos residuais ou aumentar a entropia do universo. Na expressão (8) o calor trocado ocorre a uma taxa diretamente proporcional à variação de entropia, com a temperatura T constante ao longo do processo. Isso significa que a entropia aumenta exatamente em relação à quantidade de calor fornecida ao sistema. Esses processos são ideais e não ocorrem naturalmente, mas são úteis como aproximações para o estudo da termodinâmica.

Na prática, os processos são quase sempre irreversíveis. Aqui, a troca de calor não ocorre em equilíbrio perfeito e leva a um aumento adicional de entropia. Assim, para um processo irreversível, a relação é $dQ < TdS$, significando que a entropia do sistema cresce mais rapidamente do que em um processo reversível. Fontes de irreversibilidade incluem atrito, arrasto, dissipação de energia, gradientes de temperatura significativos, e outros fenômenos que geram entropia.

Segundo Tipler (2009) em seu livro “Física para Cientistas e Engenheiros”, o calor é definido como a energia transferida entre sistemas ou corpos devido a uma diferença de temperatura entre eles (Figura 13). Tipler enfatiza que o calor é uma forma de energia em trânsito, que flui espontaneamente

do objeto de maior temperatura para o de menor temperatura até que seja alcançado o equilíbrio térmico.

Figura 13: Fluxo de calor entre os corpos A com Temperatura T_A e corpo B com temperatura T_B ($T_A > T_B$).

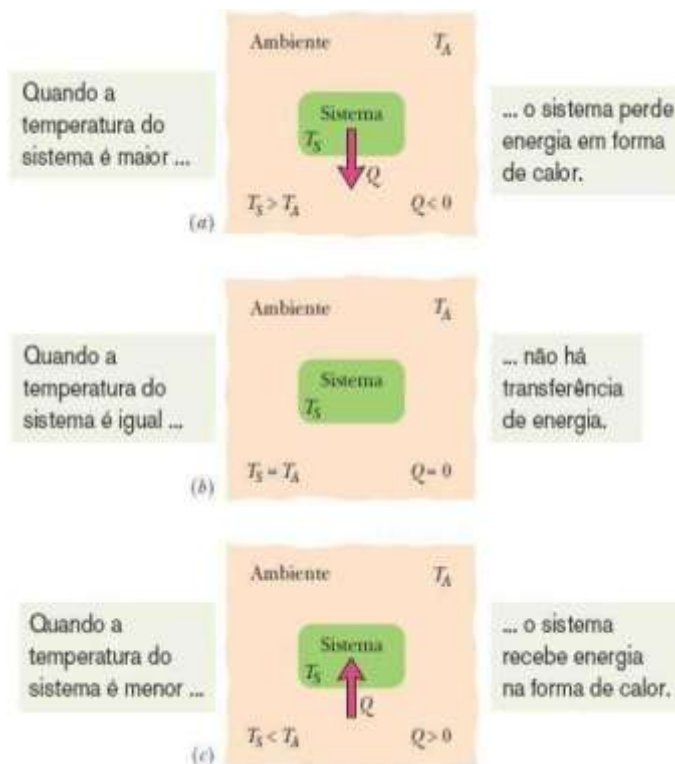


Fonte: https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/arquivos/trans_calor.jpg

Tipler (2009) também destaca a distinção entre calor e temperatura. Temperatura é uma medida da energia cinética média das partículas em um sistema, representando o quão quente ou frio um objeto está, enquanto que calor, refere-se à transferência de energia térmica causada por uma diferença de temperatura. Não é correto dizer que um objeto “possui calor”, mas sim que ele pode transferir ou receber calor.

O calor Q é a energia transferida de um sistema para o ambiente ou do ambiente para um sistema por causa de uma diferença de temperatura (Figura 14). O calor é medido em joules (J), calorias(cal) ou British thermal units (Btu); entre essas unidades, existem as seguintes relações: $1 \text{ cal} = 3,968 \times 10^{-3} \text{ Btu} = 4,1868 \text{ J}$.

Figura 14: Sentidos das transferências de calor de acordo com as diferentes relações entre as temperaturas de um sistema e o ambiente.



Fonte: Halliday, Resnick e Walker, vol 2.

Diferente da temperatura, que mede o grau de agitação das partículas em um corpo, o calor é a energia em trânsito entre corpos, causada por uma diferença de temperatura. Uma vez transferido, o calor pode alterar a energia interna de um sistema, causando aumento de temperatura ou mudanças de estado físico (como fusão ou vaporização).

4.3.1 Conceitos fundamentais sobre calor

Quando um sistema recebe energia na forma de calor, podem acontecer basicamente dois fenômenos: variação de temperatura ou mudança de fase (sólido para líquido, por exemplo). A variação das dimensões do sistema (dilatação térmica) não faz parte do escopo desta análise.

A energia transferida cujo efeito é a variação de temperatura é chamada calor sensível. Se uma quantidade de massa m de uma determinada substância sofre uma variação infinitesimal de temperatura dT , o calor sensível que produz essa variação de temperatura é dado por

$$dQ = mcdT \quad (9)$$

em que c é o chamado calor específico da substância. No Sistema Internacional de unidades é medido em $\text{J}/(\text{kg K})$, mas também pode ser medido em $\text{cal}/(\text{g } ^\circ\text{C})$, um conjunto de unidades mais convencional a estudos termodinâmicos.

Já a energia térmica necessária para fazer uma substância mudar de fase é chamada calor latente⁵. Essa mudança de fase, em substâncias simples, ocorre sem que haja variação de temperatura. O calor latente L é definido como a quantidade de energia térmica por unidade de massa quando ocorre uma mudança de fase. Em símbolos:

$$Q = mL \quad (10)$$

em que Q é a quantidade de calor transferida (inserida ou retirada) de uma amostra para uma determinada quantidade de massa m sofrer uma mudança de fase. O calor latente pode ser medido em J/kg , cal/g ou qualquer unidade conveniente de energia por massa.

4.4 Mecanismos de transferência de calor

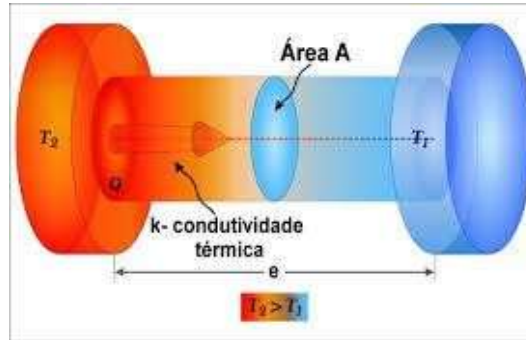
No contexto do aquecimento global, as formas de transmissão de calor desempenham um papel crucial na compreensão de como a Terra aquece e como esse calor se distribui pelo sistema climático. As formas de transmissão de calor são condução, convecção e radiação. A seguir, será detalhado como cada uma dessas formas se relaciona com o aquecimento global.

4.4.1 Condução térmica

A condução é o mecanismo de transferência de energia das partículas mais energéticas de uma substância para as adjacentes, menos energéticas, devido às interações entre elas. Em sólidos, isso ocorre através de vibrações da rede e transporte de elétrons livres; em fluidos, por colisões e difusão molecular. (Figura 15).

⁵ Vale ressaltar que uma mudança de fase pode ser provocada também por variação de pressão, ou seja, energia mecânica sendo transferida.

Figura 15: Processo de condução térmica de um material sólido.



Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/conducao-termica.htm>

A lei fundamental que rege a condução de calor é a Lei de Fourier (Bergman et. al., 2014). Ela estabelece que o fluxo de calor é proporcional ao gradiente negativo da temperatura. Em símbolos:

$$\vec{q}'' = -k\nabla T \quad (11)$$

em que $\vec{q}''$ é o vetor fluxo de calor (medido em W/m^2), k é a condutividade térmica do material (em geral uma função das coordenadas), medida em $\text{W}/(\text{m K})$, e ∇T é o gradiente de temperatura (medido em K/m). O sinal negativo indica que o calor flui na direção decrescente da temperatura, em conformidade com a segunda lei da Termodinâmica (Bergman et. al., 2014).

As equações de Fourier que descrevem o fluxo de calor e a propagação de ondas térmicas são essenciais para modelar o efeito estufa, já que permitem calcular a distribuição de temperatura na superfície terrestre e na atmosfera. No caso do efeito estufa, essas equações podem ser usadas para descrever o equilíbrio térmico, a absorção e reemissão de radiação, e a transferência de calor na atmosfera e na superfície.

A partir da lei de Fourier para a condução térmica e do princípio da conservação de energia a um volume de controle diferencial de dimensões dx , dy e dz , podemos encontrar uma equação para a variação de temperatura no espaço e no tempo. De acordo com a primeira lei da termodinâmica para um sistema fechado (ou volume de controle fixo):

$$\frac{dE_{\text{entrada}}}{dt} - \frac{dE_{\text{saída}}}{dt} + \frac{dE_{\text{geração}}}{dt} = \frac{dE_{\text{acúmulo}}}{dt} \quad (12)$$

que define o balanço energético para um paralelepípedo infinitesimal. Considerando a direção x , o calor que entra na face x é q_x . O calor que sai na face oposta ($x + dx$) é expresso pela expansão em série de Taylor (truncada no primeiro termo): $q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx$. A taxa líquida de transferência de calor para o volume na direção x é: $q_x - q_{x+dx} = q_x - \left(q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx \right) = -\frac{\partial q_x}{\partial x} dx$. Repetindo o

raciocínio para as direções y e z :

- Direção y : $-\frac{\partial q_y}{\partial y} dy$.
- Direção z : $-\frac{\partial q_z}{\partial z} dz$

Assim, a taxa líquida de transferência $\left(\frac{dE_{entrada}}{dt} - \frac{dE_{saida}}{dt}\right)$ é a soma das diferenças em cada eixo:

$$\frac{dE_{entrada}}{dt} - \frac{dE_{saida}}{dt} = -\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} dx + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy + \frac{\partial q_z}{\partial z} dz\right).$$

A taxa de geração de energia no volume de controle é simplesmente $\frac{dE_{geração}}{dt} = \frac{dq}{dt} dV$, onde $\frac{dq}{dt}$ é a taxa por unidade de volume. Finalmente, a taxa de acúmulo de energia é obtida a partir da expressão para o calor sensível, mostrada na equação (9): $\frac{dE_{acúmulo}}{dt} = \rho dV c_p \frac{\partial T}{\partial t}$, em que $dm = \rho dV$ é a massa do elemento infinitesimal de volume de controle, c_p é o calor específico a pressão constante e T é a temperatura absoluta. Somando as contribuições e dividindo pelo volume diferencial:

$$-\left(\frac{\partial q_x}{\partial x} dx + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy + \frac{\partial q_z}{\partial z} dz\right) + \frac{dq}{dt} dV = \rho dV c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (13)$$

Dividindo a equação (13) pelo volume $dV = dxdydz$, temos

$$-\frac{1}{dydz} \frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{1}{dxdz} \frac{\partial q_y}{\partial y} - \frac{1}{dxdy} \frac{\partial q_z}{\partial z} + \frac{dq}{dt} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (14)$$

Pela lei de Fourier em uma dimensão é $q_x = q_x''(dydz) = -k(dydz) \frac{\partial T}{\partial x}$ e similarmente para as demais direções. Substituindo na equação (14):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z}\right) + \frac{dq}{dt} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (15)$$

Que é a equação geral da difusão de calor. Para o caso simples da condutividade térmica k ser constante, o meio ser isotrópico e não haver geração de calor ($dq/dt = 0$), a equação (15) simplifica para

$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (16)$$

Definindo a difusividade térmica $\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$, e escrevendo o laplaciano $\nabla^2 T = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$, a equação (16) fica

$$\alpha \nabla^2 T = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (17)$$

No contexto do aquecimento global, a energia proveniente do Sol aquece a superfície terrestre, e essa energia é então conduzida para as camadas mais profundas do solo. A condução também ocorre

entre a superfície terrestre e as construções, como asfalto e edifícios. Embora a condução não seja o principal mecanismo de aquecimento global em grande escala, ela é importante em contextos locais, como em ilhas de calor urbanas, onde materiais como concreto e asfalto absorvem e retêm calor, exacerbando as temperaturas locais.

4.4.2 Convecção

Convecção é a transferência de energia na forma de calor por meio do movimento de fluidos, como líquidos e gases (Figura 16). No caso da atmosfera terrestre, isso envolve o movimento de massas de ar quente e frio.(Figura 17)

Figura 16: Correntes de convecção criadas na água de uma chaleira no fogão



Fonte: Ilustração: Fouad A. Saad / Shutterstock.com

Figura 17: Movimento de massas de ar quente e frio na atmosfera



Fonte:<http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo2B/Refrigeracao/conveccao.htm>

A convecção térmica ocorre quando o fluido aquecido se torna menos denso e sobe, enquanto o fluido mais frio (mais denso) desce. Esse movimento cria correntes de convecção que ajudam a redistribuir o calor dentro do sistema. Existem dois tipos principais de convecção:

- Convecção natural: causada por diferenças de temperatura que geram movimento no fluido.
- Convecção forçada: ocorre quando há um agente externo (como uma bomba ou ventilador) impulsionando o movimento do fluido.

A quantidade de calor transferida por convecção entre uma superfície e um fluido ao redor pode ser descrita pela lei de resfriamento de Newton:

$$\frac{dQ}{dt} = hA(T - T_{amb}) \quad (18)$$

em que h é o coeficiente de transferência de calor por convecção, medido em $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, que depende das propriedades do fluido e das condições de fluxo, A é a área da superfície e T_{amb} é a temperatura do ambiente. O coeficiente h pode variar amplamente dependendo da velocidade do fluido, da sua viscosidade e das propriedades térmicas, tornando a convecção um processo complexo de modelar.

No contexto do aquecimento global, a convecção térmica na atmosfera é responsável por fenômenos como ventos, tempestades e o transporte de calor da superfície terrestre para as camadas superiores da atmosfera. Com o aumento das emissões de gases de efeito estufa, o efeito estufa retém mais calor na atmosfera inferior, aquecendo a superfície e intensificando os processos convectivos. Esse aquecimento adicional causa vários fenômenos climáticos, como:

- Intensificação das correntes de convecção, pois o calor adicional próximo à superfície aumenta o gradiente de temperatura vertical, o que pode fortalecer as correntes convectivas, levando a um clima mais instável.
- Aumento da umidade atmosférica, já que temperaturas mais altas intensificam a evaporação, aumentando a quantidade de vapor d'água na atmosfera. Como o vapor d'água é um gás de efeito estufa, ele amplifica o aquecimento global em um ciclo de retroalimentação.
- Contribuição para eventos climáticos extremos como tempestades e furacões, que são alimentados por processos convectivos intensos. Com o aquecimento global, esses eventos podem se tornar mais frequentes e intensos, pois o aumento do calor e da umidade na atmosfera fornece “combustível” para esses fenômenos.

Nos oceanos, a convecção térmica também é essencial para a circulação oceânica, que distribui calor ao redor do planeta. O aquecimento global tem efeitos diretos sobre essa circulação, como por

exemplo a alteração das correntes oceânicas, pois o aquecimento e o derretimento de gelo polar introduzem grandes volumes de água doce fria nos oceanos, modificando a salinidade e a densidade das águas e o aumento da temperatura dos oceanos, uma vez que estes absorvem grande parte do calor extra gerado pelo efeito estufa. Esse aquecimento contribui para a elevação do nível do mar e modifica os ecossistemas marinhos. A alteração nas correntes pode impactar o clima global, afetando padrões de temperatura e precipitação em diversas regiões do mundo.

Modelos climáticos complexos utilizam equações diferenciais para simular a convecção térmica no sistema terrestre. Um exemplo é a equação de Navier-Stokes combinada com a Equação de Energia para descrever o comportamento dos fluidos atmosféricos e oceânicos, essencial para prever como o calor e a umidade são transportados ao redor do planeta em resposta ao aquecimento global.

Em resumo, a convecção térmica é uma parte fundamental da dinâmica climática. No contexto do aquecimento global, a intensificação dos processos convectivos e as alterações na circulação atmosférica e oceânica desempenham um papel importante na amplificação dos efeitos do aquecimento, contribuindo para eventos climáticos extremos e afetando ecossistemas em escala global.

4.4.3 Radiação

A transmissão de calor por radiação é o processo pelo qual a energia térmica é transferida por ondas eletromagnéticas (como infravermelho, luz visível ou ultravioleta) de um corpo para outro, sem necessidade de um meio material. Isso significa que o calor pode ser transmitido no vácuo, como ocorre entre o Sol e a Terra (Figura 18).

Figura 17: Transmissão de calor por irradiação.



Fonte: <https://blog.professorbrunofernandes.com.br/9ano/resumos-9ano/resumo-de-fisica-transmissao-de-calor-3/>

A maior parte da radiação solar incidente (principalmente luz visível e radiação ultravioleta) atravessa a atmosfera terrestre é refletida de volta para o espaço por nuvens, partículas atmosféricas e pela própria superfície terrestre. Da radiação que entra, parte é absorvida pela superfície terrestre e pelos oceanos, outra parte é refletida. A Terra é aquecida por esses raios, reemitindo radiação na faixa do infravermelho. Como ilustrado na Figura 19, uma parcela da radiação irradiada pela superfície terrestre fica retida na atmosfera, os gases de efeito estufa absorvem e reemitem novamente radiação infravermelha em várias direções, sendo que parte da radiação é perdida para o espaço e parte volta para a superfície. Dessa forma, mantém-se o equilíbrio energético e evitam-se grandes amplitudes térmicas.

Figura 18: Radiação absorvida e refletida pela terra(irradiação).



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-3-Desenho-esquemático-do-efeito-estufa-da-Terra-10_fig3_333609522

Algumas características da transmissão de energia por radiação a tornam bem diferentes dos processos de condução e convecção. Por exemplo: a radiação não requer um meio físico, sendo possível transmissão de energia mesmo com os meios separados pelo vácuo e, como a energia viaja através de ondas eletromagnéticas, a velocidade de propagação da energia é a velocidade da luz (aproximadamente 300.000 km/s). Além disso, a radiação é um processo de emissão contínua de energia, já que todos os corpos com temperatura acima de 0 K emitem radiação térmica com intensidade e comprimento de onda dependentes da temperatura.

Uma vez que, o Sol e a Terra emitem radiação, é necessário entender a diferença entre o

espectro de emissão solar e o terrestre. A potência da radiação emitida depende da temperatura do corpo, podendo ser determinada através da Lei de Stefan-Boltzmann, que aqui escrevemos adaptada para introduzir um novo parâmetro, a emissividade ε , que varia entre 0 e 1, sendo 1 o valor para corpos negros ideais.

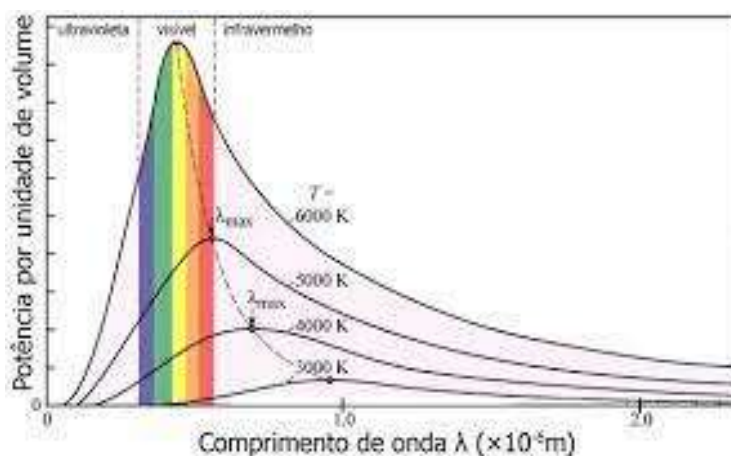
$$P = \varepsilon \sigma A T^4 \quad (19)$$

A lei de Wien é uma lei física empírica que relaciona o comprimento de onda da máxima emissão de radiação com a temperatura de um corpo negro (ver Figura 20). Esse comprimento de onda é representado por $\lambda_{m\acute{a}x}$ e seu valor é dado por

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{b}{T} \quad (20)$$

em que $b = 2,898 \times 10^{-3}$ Km é a constante de deslocamento de Wien. Apesar de ser uma lei empírica, a lei de Wien pode ser demonstrada a partir da lei de Planck para a radiação do corpo negro (YOUNG; FREEDMAN, 2016).

Figura 19: Intensidade da radiação emitida versus o comprimento de onda para um corpo negro ideal.



Fonte: <https://noic.com.br/olimpiadas/fisica/cursos/teorico/aula-7-2-radiacao-do-corpo-negro/>

Para o Sol, cuja temperatura na superfície é aproximadamente 5778 K, a lei de Wien prevê um pico de emissão próximo a 500 nm, na região do visível (ver Figura 20). Estrelas que brilham em tons mais azulados são mais quentes, enquanto que as que brilham em tons mais avermelhados são mais frias. Para o corpo humano cuja temperatura da pele é de 36°C ou 309 K, o pico de emissão ocorre em cerca de 9,4 micrômetros, situado na região do infravermelho e, portanto, invisível a olho nu. Um metal quando aquecido, começa a emitir no visível começando pelos tons mais avermelhados (menores comprimentos de onda). Excluindo-se fatores químicos que possam influenciar o tom das

chamas, as mais azuladas atingem temperaturas superiores que chamas amareladas. Quando um corpo irradia calor para o ambiente e também recebe radiação, o equilíbrio térmico ocorre quando as potências emitida e absorvida se igualam.

Relativamente à relevância quanto ao aquecimento global, este é amplamente impulsionado pelo aumento da concentração de gases de efeito estufa, como dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4), que absorvem e reemitem a radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre, impedindo que essa radiação escape para o espaço. O aquecimento global também é influenciado por mudanças no albedo da Terra, que é a capacidade de refletir a radiação solar. Superfícies cobertas de neve e gelo, que têm alto albedo, estão derretendo, reduzindo a reflexão e aumentando a absorção de calor. Além disso, o aumento da temperatura global está relacionado à maior retenção de radiação infravermelha pela atmosfera, o que intensifica o aquecimento global.

4.4.4 Integração das formas de transmissão de calor no aquecimento global

As formas de transmissão de calor por condução, convecção e radiação não atuam isoladamente; elas interagem para moldar o sistema climático da Terra. A radiação solar aquece a superfície terrestre, que então transfere parte desse calor para o ar por condução. O ar quente sobe devido à convecção, redistribuindo calor na atmosfera. A radiação infravermelha emitida pela Terra é parcialmente retida pelos gases de efeito estufa, aquecendo ainda mais a atmosfera. Mudanças em qualquer uma dessas formas de transmissão de calor pode levar a alterações no clima global. Por exemplo, o aumento na retenção de radiação (devido ao aumento de gases de efeito estufa) e as mudanças nos padrões de convecção podem causar mudanças drásticas nos padrões de temperatura, precipitação e eventos climáticos extremos.

Compreender como essas formas de transmissão de calor operam no contexto do aquecimento global é essencial para prever e mitigar os impactos do aquecimento global no clima global e nas sociedades humanas.

4.5 Leis da termodinâmica

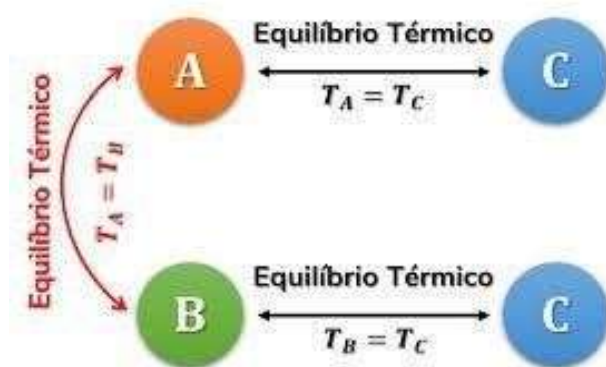
As leis da termodinâmica têm implicações significativas no contexto do aquecimento global, pois elas governam os processos de troca de energia que ocorrem na Terra, incluindo a absorção de radiação solar, a emissão de radiação térmica pela superfície terrestre e a dinâmica dos gases atmosféricos.

4.5.1 Lei zero da termodinâmica

Também conhecida como lei do equilíbrio térmico, a lei zero da termodinâmica pode ser enunciada da seguinte forma: se dois sistemas estão em equilíbrio térmico com um terceiro sistema, eles estão em equilíbrio térmico entre si. A Figura 21 ilustra esse enunciado.

Esta lei define a temperatura como uma propriedade fundamental e permite a definição, em princípio, de um termômetro. Ela estabelece a base para a medição de temperatura.

Figura 20: Lei Zero da Termodinâmica.



Fonte: <https://aprovatotal.com.br/leis-da-termodinamica>

A lei zero da termodinâmica é fundamental para entender como o aquecimento global afeta diferentes regiões do planeta. Diferentes partes da Terra, como oceanos, atmosfera, e superfície terrestre, tendem a atingir equilíbrios térmicos locais, mas o aquecimento global está alterando esses equilíbrios, levando a mudanças climáticas regionais significativas. Por exemplo, o desequilíbrio entre o aquecimento das superfícies terrestres e oceânicas causa alterações nos padrões de circulação atmosférica e correntes oceânicas, impactando o clima global.

4.5.2 Primeira lei da termodinâmica

A primeira lei da termodinâmica pode ser entendida como a generalização do princípio da conservação da energia, e pode ser enunciada da seguinte forma: a soma do calor trocado por um sistema e do trabalho realizado por ou em um sistema é igual à variação da energia interna desse sistema. Em símbolos:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W \quad (21)$$

em que é preciso seguir uma convenção para o sinal de cada termo:

- ΔU será positivo (negativo) se a temperatura do sistema aumentar (diminuir);
- ΔQ será positivo (negativo) se o sistema absorver (ceder) calor do (ao) meio externo;
- ΔW será positivo (negativo) se o sistema contrair (expandir).

A Figura 22 ilustra a razão física dessa convenção. Em termos diferenciais, a primeira lei da termodinâmica é simplesmente

$$dU = dQ + dW \quad (22)$$



Fonte: <https://www.infoescola.com/fisica/primeira-lei-da-termodinamica/>

No âmbito da Termodinâmica, utilizam-se noções mais específicas e menos genéricas que aquelas usadas no princípio da conservação da energia. Na Primeira Lei da Termodinâmica, usamos conceitos como energia interna, calor e trabalho, que são pertinentes ao âmbito das máquinas térmicas (Figura 23), aplicações tecnológicas de fundamental importância para a Termodinâmica.

Figura 22: Uma máquina a vapor simples.



Fonte: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/primeira-lei-da-termodinamica.htm>

No contexto do aquecimento global, a primeira lei implica que a energia recebida pela Terra do Sol (na forma de radiação solar) deve equilibrar-se com a energia que a Terra emite de volta para o espaço. Quando há um desbalanço – como ocorre quando gases de efeito estufa retêm mais calor na atmosfera – a energia interna do sistema Terra-atmosfera aumenta, resultando em um aumento da temperatura global. Como exemplo, o acúmulo de dióxido de carbono (CO_2) e outros gases de efeito estufa na atmosfera impede que parte da radiação infravermelha (calor) escape para o espaço, levando a um aquecimento adicional do sistema terrestre.

4.5.3 Segunda Lei da Termodinâmica

A Segunda Lei da Termodinâmica nos ajuda a compreender o aquecimento global ao relacionar a entropia e a irreversibilidade dos processos energéticos na Terra. Essa lei afirma que a entropia (ou desordem) de um sistema isolado tende a aumentar, o que implica que processos espontâneos no universo são naturalmente irreversíveis. No contexto do aquecimento global, grande parte das atividades humanas que geram emissões de gases de efeito estufa – como a queima de combustíveis fósseis, a produção industrial e o desmatamento – envolvem transformações de energia que são irreversíveis e produzem desperdício de energia na forma de calor e poluentes. Ao queimar combustíveis fósseis para obter energia, por exemplo, geramos não apenas trabalho útil, mas também calor desperdiçado, que aumenta a temperatura do ambiente local e contribui para o aumento da entropia do sistema global.

Esse calor adicional aprisionado na atmosfera, junto com os gases de efeito estufa (como dióxido de carbono e metano), torna difícil para o planeta se resfriar. O aumento de entropia do sistema atmosférico causa desequilíbrios no clima e dificulta a restauração do sistema a seu estado original.

O efeito estufa em si é um processo natural em que a atmosfera retém parte do calor irradiado pela Terra, permitindo que o planeta mantenha uma temperatura adequada para a vida. No entanto, o aumento das emissões de gases de efeito estufa intensifica esse processo, aprisionando mais calor do que o necessário para o equilíbrio térmico natural. Como resultado, ocorre um aumento de entropia, e a atmosfera tenta redistribuir esse calor em excesso, o que gera eventos climáticos extremos como tempestades, secas, ondas de calor e inundações. Estes fenômenos são tentativas da atmosfera de dispersar a energia e alcançar um novo estado de equilíbrio, embora sejam consequências indesejadas do aumento da entropia do sistema global.

A segunda lei também explica a irreversibilidade das mudanças climáticas causadas pelo aquecimento global. Quando o dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa são liberados na

atmosfera, eles aumentam o tempo de retenção de calor e contribuem para um sistema atmosférico mais caótico, com maiores dificuldades para retornar ao seu estado anterior. Isso significa que, mesmo com medidas de mitigação, as mudanças climáticas apresentam um certo grau de irreversibilidade, pois reverter o processo completamente é energeticamente desfavorável e requereria reduções massivas de entropia. A segunda lei da termodinâmica, portanto, nos alerta para as limitações de sistemas energéticos e econômicos que dependem de processos irreversíveis e poluentes. Para diminuir o aquecimento global, precisamos buscar fontes de energia que sejam mais eficientes e sustentáveis, como energias renováveis, e otimizar processos para minimizar o aumento de entropia.

Assim, a segunda lei da termodinâmica reforça a importância de escolhas energéticas e industriais que reduzam a dependência de combustíveis fósseis, limitando os processos que aumentam a entropia e mitigando os efeitos do aquecimento global.

4.5.4 Terceira lei da termodinâmica

Embora a terceira lei seja mais abstrata no contexto do aquecimento global, ela nos lembra dos limites de eficiência na conversão de energia térmica em trabalho. Isso é relevante na discussão sobre como os seres humanos podem lidar com o aumento de energia térmica na atmosfera, ou seja, há limitações fundamentais em como podemos usar ou dissipar essa energia de maneira eficiente.

No contexto de tecnologias de redução do aquecimento global, a terceira lei destaca os desafios de criar sistemas extremamente eficientes para a gestão do calor, especialmente em processos industriais.

As leis da termodinâmica explicam os princípios fundamentais por trás dos processos que impulsionam o aquecimento global. A compreensão desses princípios ajuda a explicar por que o aumento dos gases de efeito estufa leva ao aquecimento da Terra e porque esse aquecimento tem consequências tão amplas e muitas vezes devastadoras para o clima global. A termodinâmica também é fundamental na busca por soluções tecnológicas para mitigar os efeitos do aquecimento global, como a eficiência energética e a captura de carbono.

5 RELAÇÃO DA TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA COM A ABORDAGEM DE PAULO FREIRE E SUA IMPORTÂNCIA PARA O EJATEC NAS QUESTÕES AMBIENTAIS

Devido às interações com o mundo e pessoas a sua volta, ao entrarem em sala de aula, os alunos já possuem conhecimentos sobre o tema. Com esses conhecimentos prévios, eles são capazes de explicar muitos fenômenos, porém são limitados a situações particulares e nem sempre da maneira cientificamente aceita.

Os saberes desenvolvidos fora do ambiente escolar devem ser considerados durante o processo de ensino e aprendizagem. Neste sentido, uma abordagem contextualizada permite a inserção do conhecimento científico em uma realidade vivida pelos alunos.

[...] serve para problematizar a realidade vivida pelo aluno, extraí-la do seu contexto e projetá-la para a análise. Ou seja, consiste em elaborar uma representação do mundo para melhor compreendê-lo. Essa é uma competência crítico-analítica e não se reduza mera utilização pragmática do conhecimento científico. (Brasil, 2008, p. 51)

O ensino contextualizado leva em conta aspectos pessoais, sociais e culturais. Trazer os contextos do cotidiano dos alunos para os contextos de ensino torna as aulas mais interessantes e aprendizagem significativa, pois dá sentido aos conceitos estudados (KATO, 2007).

Aprendizagem significativa

[...] é aprendizagem com significado, compreensão, sentido, capacidade de transferência; oposta à aprendizagem mecânica, puramente memorística, sem significado, sem entendimento; dependente essencialmente do conhecimento prévio do aprendiz, da relevância do novo conhecimento e de sua predisposição para aprender (Moreira, 2011, p. 6)

Quando a aprendizagem significativa é também crítica, o aluno consegue “lidar construtivamente com a mudança sem deixar-se dominar por ela manejar a informação e usufruir e desenvolver a tecnologia sem tornar-se tecnófilo” Moreira (2010, p.7).

Na categoria Contextualização Sociocultural do PCNs (Parâmetros Curriculares Nacionais), são indicadas algumas competências e habilidades a serem desenvolvidas em Física, apresentadas a seguir:

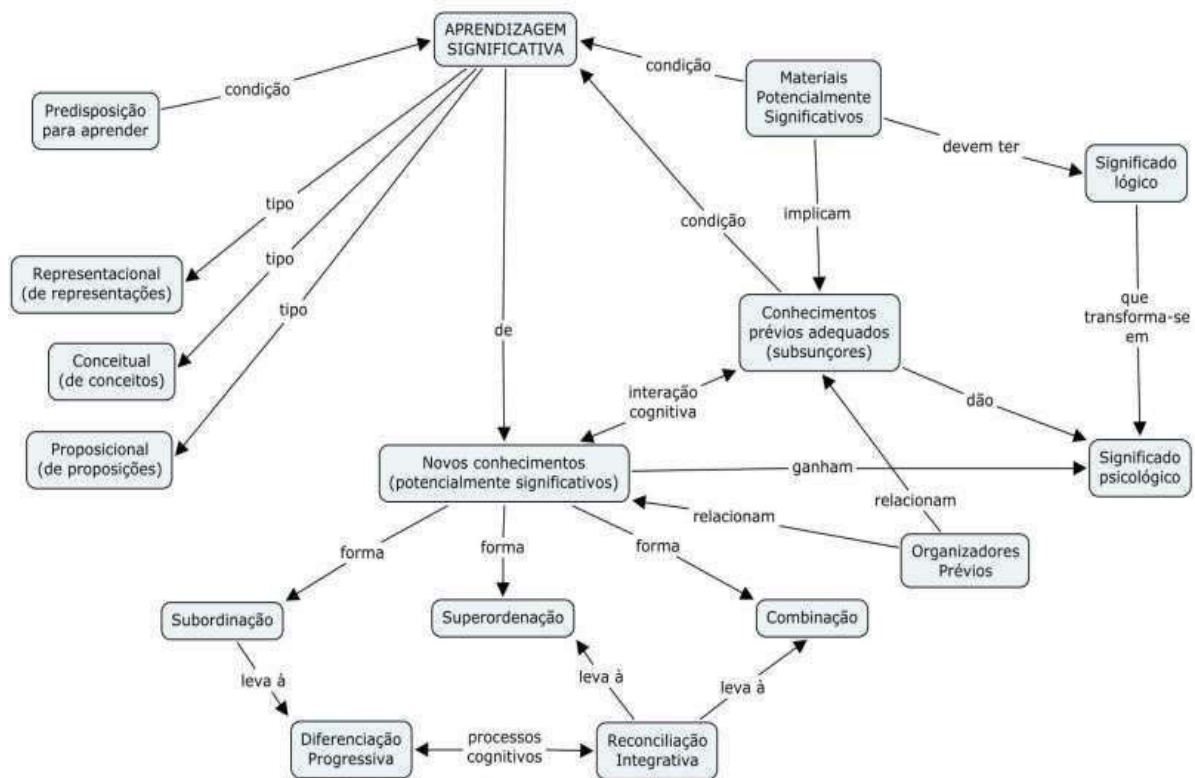
- Reconhecer a Física enquanto construção humana, aspectos de sua história e relações com o contexto cultural, social, político e econômico.
- Reconhecer o papel da Física no sistema produtivo, compreendendo a evolução dos meios tecnológicos e sua relação dinâmica com a evolução do conhecimento científico.
- Dimensionar a capacidade crescente do homem propiciada pela tecnologia.
- Estabelecer relações entre o conhecimento físico e outras formas de expressão da cultura humana.
- Ser capaz de emitir juízos de valor em relação a situações sociais que envolvam aspectos físicos e/ou tecnológicos relevantes (Brasil, 1999, p. 29).

5.1 Princípios da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel

A Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Paul Ausubel, é uma teoria educacional que foca em como as pessoas aprendem de maneira significativa, ou seja, de uma forma que as novas informações se relacionam com o conhecimento prévio do aprendiz, facilitando a retenção e a compreensão.

Os mapas conceituais e a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel estão intimamente relacionados, pois ambos focam em como organizar e estruturar o conhecimento de forma a facilitar o aprendizado significativo (Figura 24).

Figura 23: Mapa conceitual da Aprendizagem significativa de Ausubel.



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-2-Mapa-conceitual-da-Aprendizagem-significativa-de-Ausubel_fig2_355785257

5.1.1 Aprendizagem Significativa vs. Aprendizagem Mecânica

A aprendizagem significativa ocorre quando novas informações são integradas de maneira substancial ao conhecimento pré-existente do aluno. Isso significa que o aprendiz relaciona o novo conteúdo com conceitos e ideias já conhecidos, tornando a aprendizagem mais profunda e duradoura. Já a aprendizagem mecânica, ocorre quando a informação é armazenada na memória sem conexão significativa com conhecimentos anteriores. Isso leva a uma aprendizagem sem sequência, em que o conteúdo é facilmente esquecido.

5.1.1.1 Conceitos subsunçores

São conceitos amplos e inclusivos que já existem na estrutura cognitiva do aluno. Esses conceitos atuam como âncoras para novas informações, permitindo que a nova aprendizagem seja integrada de forma significativa. Por exemplo, os alunos já podem ter uma compreensão básica de que “mudança climática” se refere a alterações de longo prazo nos padrões climáticos globais ou regionais. Isso inclui variações na temperatura, precipitação, e outros fenômenos meteorológicos ao

longo do tempo.

5.1.1.2 Organizadores prévios

Ausubel (1968) introduziu a ideia de "organizadores prévios", que são informações ou conceitos apresentados antes do novo material, com o objetivo de preparar o aluno para integrar a nova informação. Esses organizadores podem ser mais gerais ou abstratos, servindo como um quadro de referência para a nova aprendizagem.

Como exemplo, antes de introduzir o tema “aquecimento global”, o professor pode revisar o conceito de “mudança climática”, discutindo como o clima da Terra tem mudado ao longo de milhões de anos.

5.1.1.3 Diferenciação progressiva

Refere-se ao processo de aprendizagem em que os conceitos gerais são ensinados primeiro, seguidos por informações mais específicas e detalhadas. Isso permite que o aluno construa um entendimento sólido e hierárquico do assunto, em que conceitos mais amplos e inclusivos são gradualmente diferenciados em conceitos mais específicos.

5.1.1.4 Reconciliação integrativa

Este princípio envolve a capacidade do aluno de reconciliar e integrar novas informações com conceitos contraditórios ou diferentes que já possui. Essa integração ajuda a evitar a formação de conceitos isolados ou fragmentados, promovendo uma compreensão mais coesa do conhecimento.

5.1.1.5 Aplicações práticas da teoria de Ausubel na educação

A teoria sugere que o ensino deve ser organizado de maneira que vá do geral para o específico, ajudando os alunos a relacionarem novos conteúdos com o que já sabem. É fortemente recomendado que os professores utilizem organizadores prévios para preparar os alunos para novos temas. A instrução deve enfatizar a conexão entre novos conhecimentos e o conhecimento pré-existente, ao invés de incentivar a simples memorização de fatos isolados.

Embora Ausubel não tenha escrito especificamente sobre educação ambiental, seus princípios podem ser aplicados a este campo.

- **Conhecimento prévio:** Ausubel destaca que o fator mais importante para a aprendizagem é o que o aluno já sabe. Na educação ambiental, isso significa identificar e construir sobre o conhecimento e experiências prévias dos alunos relacionados ao meio ambiente.
- **Organizadores prévios:** utilizar organizadores prévios, que são informações introdutórias que ajudam os alunos a assimilarem novos conhecimentos, pode facilitar a compreensão de

conceitos complexos sobre mudanças climáticas, biodiversidade e sustentabilidade.

- Aprendizagem contextualizada: relacionar novos conhecimentos a situações reais e contextos familiares aos alunos. Por exemplo, discutir problemas ambientais locais antes de abordar questões globais.

5.2 Abordagens educacionais de Paulo Freire

Paulo Freire, um dos mais influentes educadores brasileiros, desenvolveu uma abordagem pedagógica centrada na conscientização e na prática da liberdade. Em sua visão, a educação é um ato político que deve capacitar os indivíduos a compreenderem criticamente sua realidade e, assim, transformá-la. Este enfoque é particularmente relevante na educação de jovens e adultos (EJA) e nas questões ambientais.

Freire propõe uma educação libertadora, em que o conhecimento é construído de forma dialógica e contextualizada. Ele enfatiza a importância da consciência crítica, incentivando os alunos a questionarem e transformar a realidade ao seu redor através do conhecimento adquirido.

Freire acreditava que a educação de jovens e adultos deveria ser uma prática libertadora que promovesse a autonomia dos educandos. Ele defendia uma pedagogia do diálogo, em que os educadores e educandos compartilham conhecimentos e experiências, em vez de uma abordagem bancária, em que o professor deposita conhecimento no aluno passivo.

Para Freire, a EJA deveria:

- Contextualizar o ensino-aprendizagem: o conteúdo deve estar relacionado com a realidade dos educandos. Isso significa entender e valorizar as experiências de vida e o conhecimento prévio que os adultos trazem para a sala de aula.
- Promover a conscientização: os educandos devem ser incentivados a refletir criticamente sobre suas condições de vida e as estruturas sociais que os afetam.
- Fomentar a ação transformadora: a educação deve levar à ação prática que busca a transformação social.

Para o Programa Educacional para Educação de Jovens e Adultos Integrada à Educação Profissional, a aplicação da abordagem educacional de Paulo Freire é essencial nas questões ambientais. A teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel complementa essa abordagem ao enfatizar a conexão do novo conhecimento com os conceitos previamente adquiridos pelos alunos (Ausubel, 1968).

A aplicação da abordagem educacional de Paulo Freire no EJATEC deve incluir a conexão com a realidade local, ou seja, as questões ambientais discutidas devem ser relevantes para a comunidade dos educandos. Por exemplo, se a comunidade enfrenta problemas de saneamento básico, este deve ser um tema central na educação ambiental. A contextualização da aprendizagem permite que os alunos se vejam como parte integral do problema e da solução, reforçando a relevância dos estudos (Freire, 2019). Além disso, deve promover a conscientização crítica sobre o meio ambiente em que os educandos devem ser incentivados a entender como suas ações e as estruturas sociais maiores impactam o meio ambiente. Isso inclui compreender as causas das crises ambientais, como o consumo excessivo, a poluição e a degradação dos recursos naturais. A conscientização crítica leva os alunos a refletirem sobre suas práticas cotidianas e a se mobilizarem por mudanças sustentáveis (Freire, 2019). Finalmente, deve-se estimular a ação comunitária e sustentável, pois a educação deve capacitar os educandos a agirem para melhorar o meio ambiente. Isso pode incluir projetos de reciclagem, hortas comunitárias, campanhas de limpeza e iniciativas de conservação. A ação prática e transformadora é um dos pilares da pedagogia freireana, promovendo o engajamento ativo dos alunos na melhoria de sua comunidade (Freire, 2019).

Ao integrar a abordagem de Paulo Freire com a teoria da aprendizagem significativa, o EJATEC não apenas promove uma educação ambiental relevante e crítica, mas também capacita os educandos a se tornarem agentes de transformação em suas comunidades. A contextualização do conteúdo, a promoção da consciência crítica e o estímulo à ação prática são essenciais para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos.

6 METODOLOGIA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A presente proposta foi desenvolvida a partir da aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) em turmas da Educação de Jovens e Adultos com Formação Técnica (EJATEC), em uma escola pública de São Luís (MA). As atividades foram realizadas no período noturno, considerando as especificidades desse público, e estruturadas com base em uma abordagem interdisciplinar, aliada ao uso de metodologias ativas.

No que se refere aos conteúdos, priorizou-se o estudo de conceitos fundamentais da Termodinâmica, incluindo as leis da termodinâmica, eficiência energética, efeito estufa e balanço térmico da Terra, articulados à compreensão do fenômeno do aquecimento global.

Nesse contexto, o desenvolvimento de uma sequência didática que integre a teoria cognitivista

de David Ausubel e a abordagem educacional crítica de Paulo Freire possibilita a construção de uma metodologia mais dinâmica, significativa e contextualizada. Tal integração favorece a valorização dos conhecimentos prévios dos estudantes, ao mesmo tempo em que promove o diálogo, a problematização e a reflexão crítica acerca das questões ambientais contemporâneas (AUSUBEL, 2003; FREIRE, 2019).

Além disso, a organização da sequência didática como UEPS fundamenta-se na perspectiva de ensino potencialmente significativo proposta por Moreira, que enfatiza a estruturação lógica dos conteúdos e a promoção de aprendizagens com sentido para o estudante (MOREIRA, 2011).

A seguir, apresenta-se uma proposta de sequência didática que incorpora essas abordagens, com ênfase na construção dos conceitos termodinâmicos e sua aplicação à análise do aquecimento global

7 SEQUÊNCIA DIDÁTICA: ENSINO DE CONCEITOS TERMODINÂMICOS NO AQUECIMENTO GLOBAL

7.1 Objetivo Geral

Relacionar e discutir os conceitos básicos de termodinâmica com o aquecimento global, utilizando uma abordagem que valorize os conhecimentos prévios dos alunos e promova a conscientização crítica.

7.2 Objetivos Específicos

- Introduzir os conceitos de energia, calor e trabalho.
- Explicar a Primeira e a Segunda Lei da Termodinâmica.
- Relacionar os conceitos de termodinâmica com os fenômenos do aquecimento global.
- Promover a conscientização crítica sobre o impacto humano no aquecimento global.
- Promover a discussão sobre o aquecimento global.

A Sequência Didática Ensino de Conceitos Termodinâmicos no Aquecimento Global foi desenvolvida em cinco fases, com duração de 30 minutos cada, a saber: Fase 1 – Diagnóstico dos conhecimentos prévios; Fase 2 – Problematização; Fase 3 – Apresentação de conteúdos; Fase 4 – Síntese e aplicação; e Fase 5 – Avaliação formativa.

7.3 Fase 1: Diagnóstico dos Conhecimentos Prévios (30 minutos)

Essa atividade inicial teve duração de trinta minutos e teve por objetivo identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre energia, calor e aquecimento global. Foi aplicado um questionário sobre conhecimentos e experiências prévias (Apêndice A) destinado a entender o que os alunos já sabem sobre o aquecimento global e como percebem o impacto desse fenômeno em suas vidas.

Figura 24: Aplicação do questionário 1 na turma 100 de logística-EJATEC



. Fonte: o autor.

7.2 Fase 2: Problematização: Discussão em Grupo (30 minutos)

A fase de problematização também teve duração de trinta minutos e teve por objetivo refletir sobre o impacto humano no aquecimento global. Para isso, foi utilizado o vídeo do YouTube “OS PERIGOSOS SINAIS QUE MOSTRAM QUE O CLIMA VAI PIORAR MUITO | Mudanças climáticas #1”, com pouco mais de 8 minutos de duração (ver Figura 26)

Figura 25: Vídeo apresentado aos estudantes.



Fonte: <https://youtu.be/vTOIwZDNnII>

Nesta fase, buscou-se provocar a reflexão crítica dos estudantes acerca do papel das ações humanas no agravamento do aquecimento global. A problematização constitui um momento essencial no processo de ensino-aprendizagem, especialmente no contexto da EJATEC, por valorizar os conhecimentos prévios e as experiências de vida dos educandos.

A partir da exibição, o professor organizou uma discussão em grupo, mediando o diálogo por meio de perguntas orientadoras, como:

- Quais mudanças no clima vocês têm percebido no dia a dia?
- De que forma as ações humanas contribuem para essas mudanças?
- Quais consequências podem surgir para o meio ambiente e para a sociedade?

Essa etapa fundamentou-se na perspectiva dialógica de Paulo Freire, na qual o conhecimento é construído por meio do diálogo, da problematização da realidade e da participação ativa dos sujeitos. Ao estimular a reflexão crítica sobre situações concretas, o professor contribui para a formação de sujeitos mais conscientes e atuantes socialmente.

Além disso, essa fase também se articulou com a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel, ao considerar os conhecimentos prévios dos estudantes como ponto de partida para a construção de novos saberes. Dessa forma, a problematização cria condições favoráveis para a compreensão dos conceitos físicos que serão desenvolvidos nas etapas seguintes, estabelecendo conexões entre o cotidiano dos alunos e o conhecimento científico.

7.3 Fase 3: Apresentação de conteúdos (30 minutos)

Nesta fase, ocorreu a sistematização dos conhecimentos, em que o professor orientou a construção dos conceitos científicos a partir do diálogo com os estudantes da modalidade EJATEC. A abordagem priorizou uma linguagem acessível, respeitando as especificidades desse público, e busca relacionar os conteúdos com situações do cotidiano. O plano de aula correspondente a essa etapa encontra-se descrito no Apêndice B deste trabalho.

Inicialmente, foram apresentados os conceitos de energia, destacando suas diferentes formas (térmica, mecânica e elétrica) e suas transformações no dia a dia. Em seguida, o professor trabalhou a distinção entre calor e temperatura, enfatizando que o calor está relacionado à transferência de energia térmica, enquanto a temperatura indica o grau de agitação das partículas.

O conceito de trabalho, no contexto da Física, é introduzido de forma contextualizada, relacionando-o a situações simples, como empurrar um objeto ou levantar um peso, evidenciando a ideia de transformação de energia.

Na sequência, o professor apresentou a Primeira Lei da Termodinâmica, destacando o princípio da conservação da energia, demonstrando que a energia não se perde, mas se transforma. Essa explicação é apoiada por exemplos concretos, como o aquecimento da água no fogão (transformação de energia química em térmica), o funcionamento de um ventilador (energia elétrica transformada em energia mecânica), além de outras situações do cotidiano dos estudantes.

Durante toda a explicação, foram utilizados recursos como mapas conceituais no quadro ou projetor, perguntas orientadoras e incentivo à participação dos alunos, promovendo a construção coletiva do conhecimento.

Essa etapa é fundamental para que os estudantes da EJATEC compreendam não apenas os conceitos físicos, mas também sua importância para interpretar fenômenos do cotidiano e questões ambientais, como o aquecimento global.

7.4 Fase 4: Síntese e aplicação

Nesta fase, buscou-se consolidar os conhecimentos construídos ao longo da aula, promovendo a articulação entre teoria e prática. O objetivo foi possibilitar que os estudantes da EJATEC compreendessem os conceitos estudados de forma aplicada, relacionando-os a fenômenos reais, como o aquecimento global, e desenvolvendo uma postura investigativa e reflexiva diante das questões

ambientais contemporâneas.

De acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2003), a consolidação da aprendizagem ocorre quando os novos conhecimentos são integrados à estrutura cognitiva do estudante e passam a estabelecer relações com conceitos já existentes. Nessa perspectiva, a etapa de síntese constituiu um momento importante para a organização e integração dos conhecimentos construídos ao longo da unidade de ensino, favorecendo a atribuição de significados aos conceitos físicos trabalhados.

Destacou-se, nesse momento, a importância dos conhecimentos da Termodinâmica, ramo da Física que estuda as transformações de energia e os processos de transferência de calor. A compreensão desses conceitos mostrou-se fundamental para a interpretação de fenômenos ambientais contemporâneos, especialmente o efeito estufa e o aquecimento global. Ao relacionar os conteúdos científicos com situações presentes no cotidiano, buscou-se favorecer uma aprendizagem contextualizada e crítica, em consonância com a perspectiva de educação problematizadora defendida por Freire (2021), na qual o conhecimento escolar deve contribuir para a compreensão da realidade e para a formação cidadã dos educandos.

7.4.1 Atividade Prática: O efeito estufa em miniatura

A atividade prática, com duração de trinta minutos, teve como objetivo demonstrar, de forma simples e visual, como o acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera contribui para a retenção de calor e o aumento da temperatura global. O guia de experiência utilizado nesta atividade encontra-se descrito no Apêndice B deste trabalho.

Os estudantes, orientados pelo professor, realizaram um experimento utilizando dois recipientes transparentes com termômetros em seu interior, sendo um deles vedado e o outro mantido aberto. Ambos são expostos à mesma fonte de luz (lâmpada ou luz solar), e as temperaturas são registradas em intervalos de tempo previamente definidos.

Durante a atividade, os alunos observaram que o recipiente fechado apresenta maior elevação de temperatura, o que permite estabelecer uma analogia com o efeito estufa na atmosfera terrestre. O recipiente vedado representa a retenção de calor causada pelo acúmulo de gases, enquanto o recipiente aberto simula uma condição em que o calor se dissipa com maior facilidade.

A explicação científica do experimento foi mediada pelo professor, que relacionou a atividade aos conceitos termodinâmicos, como transferência de calor e conservação de energia, evidenciando a aplicação da Física na compreensão do fenômeno.

Após a realização do experimento, foi proposta uma discussão orientada, com questões que estimulam a reflexão, tais como:

- Como o experimento se relaciona com o aquecimento global?
- Quais são os principais gases de efeito estufa?
- Que ações podem ser adotadas para reduzir a emissão desses gases?

Essa atividade favoreceu a aprendizagem significativa ao conectar o conhecimento científico com a realidade dos estudantes.

Uma variação possível do experimento é adicionar um pote com gelo para simular o derretimento de calotas polares ao ser exposto ao calor.

7.4.2 Projeto de investigação

Complementando a etapa prática, os estudantes foram organizados em grupos para desenvolver um projeto de investigação com foco no impacto do aquecimento global na comunidade local. A duração dessa atividade foi também de trinta minutos.

O objetivo dessa atividade foi incentivar a autonomia, o trabalho colaborativo e o pensamento crítico. Os grupos investigaram problemas ambientais do seu contexto e propuseram soluções viáveis, promovendo a integração entre ciência, sociedade e cidadania.

A discussão com os alunos também foi baseada em perguntas norteadoras, como por exemplo: como esse experimento se relaciona com o aquecimento global? Quais são os principais gases de efeito estufa? O que podemos fazer para reduzir suas emissões?

Figura 26: Alunos apresentando alternativas para redução do impacto ambiental na comunidade.



Fonte: Acervo do autor (2026).

7.5 Fase 5: Avaliação formativa (30 minutos)

A etapa de avaliação formativa durou trinta minutos. Realizou-se uma avaliação formativa com o objetivo de verificar a compreensão dos estudantes e promover o desenvolvimento do pensamento crítico acerca dos conceitos trabalhados. A avaliação é concebida como um processo contínuo, que permite ao professor identificar avanços, dificuldades e possíveis necessidades de retomada dos conteúdos.

Como procedimento, foi aplicado um questionário avaliativo composto por questões abertas, abordando os conceitos de energia, calor, trabalho e a Primeira Lei da Termodinâmica, contextualizados com o tema do aquecimento global. As questões incentivam os estudantes a relacionar os conhecimentos científicos com situações do cotidiano, favorecendo uma aprendizagem significativa.

O instrumento avaliativo utilizado nesta etapa encontra-se disponível no Apêndice C deste trabalho.

8 RESULTADOS

8.1 Caracterização da aplicação da Unidade de Ensino

A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) intitulada “A Física do Aquecimento Global” foi aplicada junto a uma turma do curso Técnico em Logística do EJATEC, composta por 30 estudantes jovens e adultos com trajetórias escolares, profissionais e socioculturais diversas. A proposta foi desenvolvida em aulas noturnas, no contexto de uma escola pública de São Luís (MA), e fundamentou-se nos princípios da Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e na pedagogia crítica de Paulo Freire.

A UEPS articulou conceitos centrais da Termodinâmica, como calor, temperatura, energia interna, entropia, leis da Termodinâmica, efeito estufa e balanço energético da Terra, a situações-problema relacionadas ao aquecimento global, ao consumo energético, aos processos produtivos e aos impactos socioambientais, promovendo interdisciplinaridade, contextualização e problematização da realidade.

8.2 Resultados quantitativos da aprendizagem

Os dados obtidos após a aplicação da UEPS indicam avanços relevantes tanto no plano conceitual quanto no plano crítico-formativo, conforme sintetizado a seguir.

8.2.1 Aprendizagem Conceitual (Ausubel)

- 87% dos estudantes (26 alunos) conseguiram explicar corretamente a diferença entre calor e temperatura;
- 80% (24 alunos) relacionaram o conceito de entropia aos impactos ambientais e aos processos irreversíveis;
- 70% (21 alunos) aplicaram as leis da Termodinâmica à explicação do efeito estufa e do balanço energético da Terra.

8.2.3 Desenvolvimento da Consciência Crítica (Freire)

- 90% (27 alunos) demonstraram consciência crítica ao reconhecer a responsabilidade humana no aquecimento global;
- 75% (22 alunos) sugeriram mudanças em hábitos de consumo e uso de energia em seus cotidianos;
- 100% (30 alunos) participaram ativamente das rodas de conversa, debates e atividades dialógicas.

9 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

9.1 Análise do questionário diagnóstico

A análise do questionário diagnóstico revelou que os estudantes possuíam concepções iniciais fortemente ancoradas no senso comum. O aquecimento global era compreendido majoritariamente como “aumento do calor” ou “mudança do clima”, sem referência ao balanço energético da Terra ou às interações entre radiação, atmosfera e superfície.

Observou-se também confusão recorrente entre os conceitos de calor e temperatura, além de dificuldades em compreender entropia e transformação de energia. O efeito estufa era frequentemente associado de forma inadequada à poluição ou à camada de ozônio.

No eixo crítico-social, embora os estudantes reconhecessem genericamente a responsabilidade humana, não estabeleciam relações consistentes com os sistemas produtivos, o consumo de energia e as desigualdades socioambientais.

Esses dados confirmam a existência de concepções alternativas descritas na literatura e reforçam a importância de propostas pedagógicas que articulem ciência, contexto e problematização social.

9.2 Articulação entre diagnóstico e resultados da intervenção

A comparação entre os dados obtidos na atividade diagnóstica e aqueles produzidos ao longo da intervenção evidencia transformações significativas na compreensão conceitual dos estudantes e na forma como passaram a interpretar os fenômenos associados ao aquecimento global.

Tabela 2: Desenvolvimento da consciência crítica.

Aspecto	Situação inicial	Situação após a UEPS
Calor x Temperatura	Confusão conceitual	87% diferenciaram corretamente
Entropia	Pouco compreendida	80% relacionaram a impactos ambientais
Leis da Termodinâmica	Não aplicadas ao clima	70% aplicaram ao efeito estufa
Responsabilidade humana	Visão genérica	90% reconheceram papel social
Ação transformadora	Pouco explicitada	75% propuseram mudanças
Participação	Passiva	100% participaram ativamente

Fonte: o autor.

Contudo, a análise dos resultados não se restringe aos dados quantitativos apresentados na Tabela 2. A interpretação desses resultados foi realizada à luz dos critérios analíticos estabelecidos no Quadro 1, apresentado no Apêndice E, o qual serviu como referência para a categorização das respostas e para a identificação dos diferentes níveis de compreensão conceitual demonstrados pelos participantes ao longo da pesquisa.

Nesse contexto, a análise fundamentou-se em um processo de triangulação de dados, estratégia metodológica que possibilita ampliar a validade e a confiabilidade das interpretações ao integrar múltiplas fontes de evidência. Assim, os resultados da Tabela 2 foram examinados em

articulação com as respostas aos questionários inicial e final, as produções escritas desenvolvidas durante as atividades da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), os registros sistemáticos realizados no Diário de Registro de Observações (Apêndice F) e as anotações provenientes das discussões e interações ocorridas em sala de aula.

O Quadro 1 desempenhou papel central nesse processo analítico, uma vez que estabeleceu parâmetros para a identificação de indicadores relacionados à evolução conceitual dos estudantes, à qualidade de suas argumentações e à capacidade de estabelecer relações entre conhecimentos científicos e situações do cotidiano. Paralelamente, os registros contidos no Diário de Registro de Observações possibilitaram complementar os dados obtidos nos instrumentos escritos, fornecendo evidências sobre aspectos que dificilmente poderiam ser captados exclusivamente por meio das respostas aos questionários, tais como o nível de engajamento dos estudantes, a participação nas discussões coletivas, a formulação de hipóteses, a mobilização de conhecimentos prévios e os processos de negociação de significados construídos durante as atividades.

Desse modo, os resultados apresentados na Tabela 2 devem ser compreendidos como a síntese de um processo analítico mais amplo, sustentado pelos critérios definidos no Quadro 1 e corroborado pelas evidências qualitativas registradas no Diário de Registro de Observações. Essa articulação entre dados quantitativos e qualitativos permitiu uma compreensão mais aprofundada das aprendizagens construídas pelos estudantes, favorecendo a identificação de indícios de aprendizagem significativa e de evolução conceitual em relação aos conhecimentos científicos abordados na UEPS sobre aquecimento global.

Os resultados indicam avanços na compreensão dos conceitos científicos trabalhados. No diagnóstico inicial, observou-se que a maioria dos estudantes utilizava os termos calor e temperatura como sinônimos, evidenciando uma concepção alternativa amplamente descrita na literatura do Ensino de Física. Ao final da intervenção, 87% dos participantes conseguiram diferenciar corretamente esses conceitos nas atividades avaliativas e em suas explicações durante as discussões coletivas. Esse resultado também foi identificado nos mapas conceituais, que passaram a apresentar relações mais coerentes entre energia térmica, calor, temperatura e transferência de energia.

Em relação ao conceito de entropia, inicialmente pouco compreendido pelos estudantes, verificou-se um avanço na capacidade de relacioná-lo a processos físicos e ambientais. Nas produções escritas e nos debates realizados em sala, 80% dos participantes estabeleceram conexões entre degradação energética, irreversibilidade dos processos e impactos ambientais, demonstrando uma compreensão mais ampla do conceito em contextos reais.

As Leis da Termodinâmica também passaram a ser mobilizadas pelos estudantes na interpretação de fenômenos climáticos. Durante a atividade diagnóstica, poucos participantes relacionavam esses princípios aos processos que contribuem para o aquecimento global. Após a intervenção, 70% conseguiram utilizar conceitos associados às transformações e transferências de energia para explicar aspectos do efeito estufa, evidenciando maior capacidade de aplicação do conhecimento científico em situações contextualizadas.

No que se refere à dimensão crítica, os registros do diário de campo e as discussões em grupo revelaram mudanças significativas na percepção dos estudantes sobre a responsabilidade humana nas mudanças climáticas. Enquanto as respostas iniciais apresentavam explicações genéricas e pouco fundamentadas, ao final da UEPS 90% dos participantes reconheceram a influência das atividades humanas na intensificação do aquecimento global, utilizando argumentos relacionados ao consumo energético, à emissão de gases de efeito estufa e aos impactos ambientais decorrentes das ações antrópicas.

Também foram observados indícios de ampliação da consciência crítica e da capacidade de proposição de soluções. Nas atividades finais, 75% dos estudantes apresentaram sugestões de ações voltadas à redução dos impactos ambientais, incluindo medidas relacionadas ao uso racional da energia, à redução da produção de resíduos e à adoção de práticas sustentáveis em seus contextos de vida e trabalho. Tais manifestações não estavam presentes de forma significativa nos instrumentos aplicados antes da intervenção.

Quanto à participação, os registros de observação evidenciaram crescente envolvimento dos estudantes ao longo da sequência didática. A participação ativa de todos os integrantes da turma nas discussões, atividades investigativas e momentos de socialização dos resultados sugere que a metodologia adotada favoreceu o diálogo, a colaboração e a construção coletiva do conhecimento.

Dessa forma, os resultados apresentados indicam que a UEPS contribuiu para a evolução conceitual dos estudantes e para uma compreensão mais contextualizada dos fenômenos estudados. A convergência das evidências obtidas por diferentes instrumentos de coleta de dados fortalece a interpretação de que houve reorganização dos conhecimentos prévios e ampliação da capacidade de análise crítica dos participantes. Esses resultados são consistentes com os pressupostos da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2003), especialmente no que se refere à atribuição de significados aos novos conhecimentos a partir da interação com conceitos já existentes na estrutura cognitiva dos estudantes. Além disso, aproximam-se da perspectiva freireana de educação

problematizadora, ao evidenciar processos de reflexão crítica sobre questões ambientais presentes na realidade dos educandos.

9.3 Aprendizagem conceitual

A superação da confusão entre calor e temperatura por 87% dos estudantes indica diferenciação progressiva, conforme proposto por Ausubel (2003). A capacidade de relacionar entropia a impactos ambientais e aplicar as leis da Termodinâmica ao efeito estufa evidencia reconciliação integrativa e aprendizagem relacional, indo além da memorização de definições.

9.4 Consciência crítica e engajamento

O deslocamento de uma visão naturalizante para uma leitura histórico-social do aquecimento global, observado em 90% dos estudantes, está em consonância com a pedagogia freireana, na medida em que a educação é compreendida como uma prática de liberdade e de leitura crítica da realidade (FREIRE, 2019). A proposição de mudanças de hábitos e a participação integral nas atividades demonstram que a aprendizagem alcançou também os planos ético, político e atitudinal, conforme defendido por Freire (2019), ao afirmar que ensinar implica compromisso com a transformação social.

9.5 Limitações do estudo

Este trabalho possui algumas limitações, dentre as quais pode-se destacar o número restrito de participantes; o tempo limitado para aprofundamento conceitual e a heterogeneidade dos níveis de escolarização.

Tais limitações não invalidam os resultados, mas indicam possibilidades de ampliação em estudos futuros.

10 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo elaborar, aplicar e analisar uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre conceitos de Termodinâmica a partir da temática do aquecimento global no contexto do EJATEC. Os resultados indicam que a proposta foi eficaz para promover aprendizagem significativa, favorecer a articulação entre saberes científicos e cotidianos e estimular uma postura crítica e reflexiva nos estudantes.

O aquecimento global, enquanto tema gerador, mostrou-se potente para contextualizar a Física, aproximando-a de problemas reais, socialmente relevantes e vivenciados cotidianamente pelos estudantes, especialmente no contexto da educação de jovens e adultos integrada à formação técnica.

A articulação entre a Teoria da Aprendizagem Significativa e a pedagogia freireana revelou-se fecunda, ao possibilitar simultaneamente o desenvolvimento cognitivo, a consciência crítica e o engajamento social.

Como produto educacional do Mestrado Profissional, a UEPS constitui um material replicável, adaptável e pertinente a outros contextos da educação profissional e da EJA, contribuindo para a formação de sujeitos capazes de compreender cientificamente o aquecimento global e refletir criticamente sobre seu papel na construção de uma sociedade mais justa e ambientalmente responsável.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, Ane; TAVARES, Paulo et al. *Incêndios na Amazônia: causas e impactos*. Brasília, DF: IPAM, 2020.
- AUSUBEL, David Paul. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano, 2003.
- AUSUBEL, David Paul. *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- BERGMAN, Theodore L.; LAVINE, Adrienne S.; INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P. *Fundamentos de transferência de calor e de massa*. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2014.
- BORMA, Laura de Souza; NOBRE, Carlos Afonso (org.). *Secas na Amazônia: causas e consequências*. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- BRASIL. Lei n. 9.394, de 20 de dezembro de 1996. *Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional*. Brasília, DF: Presidência da República, 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19394.htm. Acesso em: 7 jun. 2024.
- BRASIL. Lei n. 13.415, de 16 de fevereiro de 2017. *Altera a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional*. Brasília, DF: Presidência da República, 2017.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, DF: MEC, 2018.
- BRASIL. Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. *Plano Nacional de Educação PNE 2014–2024: linha de base*. Brasília, DF: Inep, 2015.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. *Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília, DF: MEC/SEF, 1997.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio: parte III: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília, DF: MEC/SEMTEC, 2002a. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2024.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *PCN+ ensino médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília, DF: MEC/SEMTEC, 2002b. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2024.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Mudanças climáticas e saúde: impactos e estratégias de adaptação*. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2023.

CALLEN, Herbert B. *Thermodynamics and an introduction to thermostatistics*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1985.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa*. 61. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2019.

FREIRE, Paulo. *Pedagogia do oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2019.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. *Fundamentos de física*. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 4 v.

HANSEN, James. *Tempestades dos meus netos: mudanças climáticas e as chances de salvar a humanidade*. São Paulo: Senac, 2013.

HÖHNE, Niklas et al. Greenhouse gas emission reduction targets for developed countries: assessing ambition and fairness. *Climate Policy*, v. 14, n. 1, p. 122–147, 2014.

IPCC. *Mudanças climáticas 2001: a base científica*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

IPCC. *Mudanças climáticas 2013: a base da ciência física*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

IPCC. *Mudanças climáticas e uso da terra: relatório especial do IPCC*. Genebra: IPCC, 2019.

IPCC. *Mudanças climáticas 2021: a base da ciência física*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021.

IPCC. *Mudanças climáticas 2022: impactos, adaptação e vulnerabilidade*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.

KATO, Danilo Seithi. *O ensino de ciências e a contextualização*. São Paulo: Cortez, 2007.

KATO, Danilo Seithi. *O significado pedagógico da contextualização para o ensino de ciências: análise dos documentos curriculares oficiais e de professores*. 2007. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

LEWANDOWSKY, Stephan et al. Misinformation and its correction. *Psychological Science in the Public Interest*, v. 13, n. 3, p. 106–131, 2012.

MOREIRA, Marco Antonio. *Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares*. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A. *Aprendizagem Significativa Crítica*. Porto Alegre: UFRGS, 2010.

SÁ, Eliane Ferreira de. *História da temperatura e sua evolução conceitual no ensino de Física*. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2016.

SCHLEUSSNER, Carl-Friedrich et al. Differential climate impacts for 1.5°C and 2°C. *Earth System Dynamics*, v. 7, p. 327–351, 2016.

- TIBA, Cláudio. *Atlas de energia solar do Brasil*. 2. ed. Recife: UFPE, 2008.
- TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. *Física para cientistas e engenheiros*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- TOLLEFSON, Jeff. Climate change: the case of the missing heat. *Nature*, v. 505, n. 7483, p. 276–278, 2014.
- TOLLEFSON, Jeff. Global-warming limit of 2 °C hangs in the balance. *Nature*, v. 520, p. 14–15, 2015.
- UNESCO. *Educação para os objetivos de desenvolvimento sustentável: objetivos de aprendizagem*. Paris: UNESCO, 2017.
- UNFCCC. *Paris Agreement*. Paris: United Nations Framework Convention on Climate Change, 2015.
- VICTOR, David G. *Global warming gridlock*. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.
- WRANGHAM, Richard. *Pegando fogo: por que cozinhar nos tornou humanos*. Rio de Janeiro: Zahar, 2010.
- YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. *Física universitária com física moderna*. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

APÊNDICE A - Questionário sobre conhecimentos e experiências prévias

Escola: _____

Nome: _____

Data: ____/____/____ Turma: _____

Disciplina: Física

Responda:

1. O que você entende por aquecimento global?

2. Quais grandezas físicas você considera importantes para a compreensão científica do aquecimento global?

3. O que você entende por energia térmica?

4. Com suas palavras, explique o que você entende por calor e temperatura.

5. Existe alguma relação entre a troca ou transformação de energia e o aquecimento global?

Justifique sua resposta.

6. Você já ouviu falar sobre o efeito estufa? Em caso afirmativo, explique o que você entende sobre esse fenômeno.

7. Na sua opinião, de que maneira as ações humanas podem contribuir para o aumento da temperatura no planeta?

8. Você acredita que o conhecimento sobre o clima e o aquecimento global pode contribuir para a transformação da realidade? Explique.

9. Caso tivesse a oportunidade, que ações você proporia para reduzir os efeitos do aquecimento global em sua comunidade?

10. O que você faria, no seu dia a dia, para ajudar a diminuir o aquecimento global?

APÊNDICE B - Plano de aula

PLANO DE AULA – FÍSICA (EJATEC)

Tema: Energia, Calor, Trabalho e a Primeira Lei da Termodinâmica

Duração: 30 minutos

Modalidade: Aula Expositiva Dialogada

1. Objetivo Geral

Compreender os conceitos básicos de energia, calor e trabalho, relacionando-os à **Primeira Lei da Termodinâmica** e a situações do cotidiano.

2. Objetivos Específicos

- Identificar o conceito de energia e suas formas.
- Diferenciar calor e temperatura.
- Compreender o conceito de trabalho em Física.
- Relacionar os conceitos à conservação de energia (Primeira Lei da Termodinâmica).

3. Conteúdos

- Energia e suas transformações
- Calor e temperatura
- Trabalho (no contexto físico)
- Primeira Lei da Termodinâmica

4. Metodologia (Procedimentos)

Aula interativa mediada pelo professor, com participação ativa dos estudantes na construção do conhecimento., valorizando os conhecimentos prévios dos estudantes (característica importante no ensino de jovens e adultos).

Etapas:

a) Problemática inicial (5 minutos):

O professor inicia com perguntas do cotidiano, como:

- “Por que sentimos mais calor em dias muito quentes?”
- “De onde vem a energia que usamos no dia a dia?”

b) Desenvolvimento dos conceitos (20 minutos):

- Apresentação dos conceitos de **energia, calor e trabalho**, utilizando linguagem simples.
- Uso de **mapas conceituais** no quadro ou projetor para organizar as ideias.

- Exemplos do cotidiano:
 - Fogão aquecendo a água (calor)
 - Corpo em movimento (trabalho)
 - Conta de energia elétrica (energia)
- Introdução da **Primeira Lei da Termodinâmica**, destacando a ideia central:
“A energia não se perde, apenas se transforma.”

c) Interação e sistematização (5 minutos):

- Perguntas abertas para os alunos explicarem com suas próprias palavras.
- Retomada dos conceitos principais com participação da turma.

5. Recursos Didáticos

- Quadro e pincel
- Projetor (opcional)
- Mapas conceituais
- Exemplos do cotidiano

6. Avaliação

A avaliação será **diagnóstica e formativa**, observando:

- Participação nas discussões
- Compreensão dos conceitos nas respostas orais
- Capacidade de relacionar os conteúdos ao cotidiano

7. Observações

Considerar o ritmo e as experiências dos estudantes da EJA, valorizando seus saberes prévios e incentivando a participação ativa.

APÊNDICE C – Experimento: O efeito estufa em miniatura

Experimento: O efeito estufa em miniatura

1. Objetivo: Demonstrar como o acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera retém o calor, contribuindo para o aumento da temperatura global.

2. Materiais necessários

- 2 potes de vidro transparentes com tampa (ou garrafas cortadas)
- 2 termômetros digitais pequenos
- 1 lâmpada de mesa ou luz solar direta
- Filme plástico transparente (opcional, caso os potes não tenham tampa)
- Fita adesiva
- Cronômetro ou relógio

3. Procedimentos

3.1 Preparação:

- Coloque um termômetro dentro de cada pote.
- Feche um dos potes hermeticamente com a tampa ou filme plástico, vedando bem com fita adesiva. O outro pote deve ficar aberto.

3.2 Exposição à luz:

- Posicione ambos os potes sob a lâmpada ou em um local com luz solar direta.
- Certifique-se de que ambos recebam a mesma quantidade de luz.

3.3 Observação:

- Inicie o cronômetro e registre a temperatura inicial em cada pote.
- Após 5, 10 e 15 minutos, registre novamente as temperaturas de ambos os potes.

4 Análise:

- Compare os valores de temperatura. O pote fechado deve apresentar uma temperatura mais alta, simulando o efeito do acúmulo de gases na atmosfera.

APÊNDICE D - Avaliação formativa

Escola: _____

Nome: _____

Data: ____/____/____ Turma: _____

Disciplina: Física

Responda:

1 O que é calor?

- a) Uma forma de energia em trânsito que é transferida entre corpos com diferentes temperaturas.
- b) A temperatura de um objeto.
- c) O estado de um corpo em repouso.
- d) A medida da energia cinética das moléculas de um corpo.

2 Qual é a diferença entre calor e temperatura?

3 A Segunda Lei da Termodinâmica nos diz que:

- a) O calor flui naturalmente do corpo mais quente para o corpo mais frio.
- b) O calor pode fluir de um corpo frio para um corpo quente sem a necessidade de trabalho externo.
- c) A energia pode ser destruída em um sistema isolado.
- d) A entropia de um sistema fechado tende a diminuir com o tempo.

4 O que é o efeito estufa?

- a) O aumento da temperatura causado pela retenção de calor na atmosfera devido aos gases estufa.
- b) Um processo que ocorre apenas nas estufas agrícolas.
- c) O resfriamento da Terra devido à perda de calor para o espaço.
- d) A diminuição da camada de ozônio.

5. Como a atividade humana contribui para o aumento do efeito estufa?

6. Cite dois gases que contribuem para o aquecimento global e explique como eles afetam o clima da Terra.

7. Quais são algumas das consequências do aquecimento global para o meio ambiente e a sociedade?

8. Como você acha que a sua comunidade é ou será afetada pelo aquecimento global?

9. Que ações práticas você acha que podem ser adotadas por você ou por sua comunidade para ajudar

a combater o aquecimento global?

10. Explique por que os conhecimentos da Física, especialmente da Termodinâmica, são importantes para entender e combater o aquecimento global. Dê exemplos.

APÊNDICE E - Quadro 1

Quadro 1 – Utilizado como referência para análise dos resultados

Critério	Inicial	Em desenvolvimento	Satisfatório	Avançado
Compreensão dos conceitos físicos da Termodinâmica	Apresenta dificuldades na compreensão dos conceitos básicos.	Compreende parcialmente os conceitos, com algumas dúvidas.	Compreende e explica adequadamente os principais conceitos.	Utiliza os conceitos com segurança em diferentes situações.
Relação entre Física e aquecimento global	Apresenta relações superficiais ou baseadas no senso comum.	Reconhece algumas relações com apoio do professor.	Relaciona os conceitos físicos ao efeito estufa e às mudanças climáticas.	Analisa criticamente causas e consequências do aquecimento global.
Participação e argumentação	Participa pouco e apresenta respostas breves.	Participa quando incentivado e argumenta parcialmente.	Participa regularmente e apresenta argumentos coerentes.	Participa ativamente e argumenta com clareza e criticidade.
Relação com o cotidiano e atividade experimental	Tem dificuldade para relacionar teoria e prática.	Estabelece relações simples com mediação.	Relaciona o conteúdo ao cotidiano e compreende os resultados do experimento.	Interpreta resultados, propõe hipóteses e aplica o conhecimento à realidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Observação: O quadro apresentado no **Apêndice E** serve como referência para a análise das diferentes etapas da sequência didática, podendo ser adaptado ou ampliado conforme os objetivos da aula e a realidade de cada turma.

APÊNDICE F - Modelo de Diário de Registro de Observações

Escola: CE ANTÔNIO RIBEIRO DA SILVA

Turma: 200 **Professor(a):** ISMAEL GODINHO

Período de aplicação: OUTUBRO 2025

Data	Etapas da sequência didática	Observações da aula	Relação com questionários	Encaminhamentos pedagógicos
	Diagnóstico inicial	Ex.: Muitos estudantes confundiram calor e temperatura. Boa participação inicial.	Confirmado no Questionário Diagnóstico (questões 3 e 4).	Retomar conceitos básicos com exemplos do cotidiano.
	Problematização	Ex.: Turma demonstrou interesse ao discutir mudanças climáticas no bairro.	Relaciona-se às respostas sobre impactos locais (questões 8 e 9).	Explorar mais exemplos da comunidade.
	Construção conceitual	Ex.: Dificuldade na compreensão da diferença entre calor e energia interna.	Questões abertas mostraram dúvidas semelhantes.	Utilizar analogias e esquemas visuais.
	Atividade experimental	Ex.: Participação ativa no experimento. Estudantes levantaram hipóteses.	Respostas posteriores indicaram melhor compreensão do efeito estufa.	Incentivar comparação entre dados observados e teoria.
	Avaliação final	Ex.: Maioria explicou corretamente calor e temperatura.	Confirmado no Questionário Formativo.	Consolidar conteúdos e retomar pontos específicos.

APÊNDICE G – Registro do uso de ferramentas de Inteligência Artificial

Tabela 3 – Registro do uso de ferramentas de inteligência artificial generativa durante a elaboração da dissertação

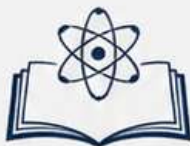
Data	Ferramenta	Finalidade	Resultado utilizado
15/03/2026	ChatGPT	Revisão textual	Ajustes de redação
22/03/2026	Gemini	Organização de tópicos	Estrutura inicial do capítulo

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Declaração de uso de Inteligência Artificial

Durante a elaboração desta dissertação foram utilizadas ferramentas de inteligência artificial generativa, especificamente o ChatGPT (OpenAI) e o Gemini (Google), como apoio à revisão textual, organização de ideias, elaboração de sínteses preliminares e esclarecimento de conceitos relacionados ao ensino de Física. As sugestões fornecidas pelas ferramentas foram submetidas à análise crítica do autor e confrontadas com a literatura científica utilizada na pesquisa. Nenhum resultado produzido pelas ferramentas foi incorporado sem revisão e validação acadêmica.

APÊNDICE H - Produto Educacional



EDUCAÇÃO • CIÊNCIA • TRANSFORMAÇÃO

JOSÉ ISMAEL DE CARVALHO GODINHO
EDUARDO MORAES DINIZ

A FÍSICA DO AQUECIMENTO GLOBAL

Uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa
sobre Conceitos Termodinâmicos no EJATEC



$$PV = nRT$$

$$Q = mc\Delta T$$

$$\Delta U = Q - W$$



São Luís – MA

2026



APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Prezado(a) professor(a),

Este material faz parte da dissertação “A Física do Aquecimento Global: uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre conceitos termodinâmicos no EJATEC” e apresenta uma proposta de trabalho para o ensino de Termodinâmica a partir do tema do aquecimento global.

A proposta foi pensada para o contexto do EJATEC, levando em conta o perfil dos estudantes e as dificuldades mais comuns no aprendizado de Física. O material está organizado como uma sequência de atividades que inclui levantamento de conhecimentos prévios, discussão de situações do cotidiano, desenvolvimento dos conteúdos, atividade experimental e avaliação. Essa organização pode ser adaptada conforme a realidade de cada turma.

Ao longo das aulas, são trabalhados conceitos como temperatura, calor, energia interna, leis da Termodinâmica e formas de transferência de calor. A aprendizagem desses conceitos é importante porque permite ao estudante compreender melhor fenômenos do dia a dia e interpretar questões atuais, como o aquecimento global, com base em explicações científicas.

Muitas vezes, esses temas são entendidos apenas a partir do senso comum. O estudo da Física ajuda a organizar essas ideias, dando mais clareza e consistência às explicações. Além disso, contribui para que o estudante desenvolva uma visão mais crítica sobre problemas que fazem parte da sua realidade.

Como parte da proposta, é realizado um experimento simples, com materiais de baixo custo, que simula o efeito estufa. A atividade permite observar a variação de temperatura e discutir como ocorre a retenção de energia em um sistema. O objetivo não é reproduzir o fenômeno real em todos os seus detalhes, mas oferecer um modelo que ajude na compreensão dos conceitos.

Este material, servirá de auxílio ao trabalho do professor, oferecendo uma possibilidade de abordagem dos conteúdos de forma mais próxima da realidade dos estudantes e favorecendo a compreensão dos conceitos de Física.

SUMÁRIO

1 O ensino de Física por meio de sequência didática no contexto do EJATEC	4
2 Fundamentação teórica dos conceitos termodinâmicos.....	5
3 Objetivos	8
3.1 Objetivo Geral	8
3.2 Objetivos Específicos	8
4 Público-alvo e contexto de aplicação.....	8
5 Metodologia	9
6 Desenvolvimento da Sequência didática	11
Fase 1 – Diagnóstico	12
Fase 2 – Problematização	14
Fase 3 – Apresentação dos Conteúdos	14
Fase 4 – Aplicação	15
Fase 5 – Avaliação	17
8 Resultados	20
9 Considerações finais	21
10 Referências.....	24
APÊNDICE A – Questionário Diagnóstico	26
APÊNDICE B – Plano de Aula	28
APÊNDICE C – Experimento: O efeito estufa em miniatura.....	30
APÊNDICE D – Avaliação Formativa	31
APÊNDICE E – Quadro 2: utilizado como referência para análise dos resultados.....	34
APÊNDICE F – Modelo de Diário de Registro de Observações.....	35

1 O ensino de Física por meio de sequência didática no contexto do EJATEC

O ensino de Física, principalmente nos conteúdos de Termodinâmica, ainda apresenta dificuldades em sala de aula. Em muitos casos, esses conteúdos são trabalhados de forma mais teórica e com mais matemática que Física, o que dificulta a compreensão dos estudantes. No contexto da Educação de Jovens e Adultos (EJA), essa situação se torna ainda mais desafiadora, devido às diferentes realidades escolares e dificuldades de aprendizagens de conceitos essenciais na formação básica.

Conceitos como calor, temperatura e energia fazem parte do cotidiano, mas, geralmente, são entendidos de forma baseada no senso comum. Isso faz com que muitos estudantes tenham dificuldade em explicar esses fenômenos de maneira mais clara do ponto de vista científico.

Diante disso, torna-se importante considerar os conhecimentos prévios dos estudantes no processo de ensino. Nesse sentido, Ausubel (2003, p. 1) afirma que “o fator mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe”. Assim, partir dessas ideias iniciais pode facilitar a compreensão dos conteúdos.

Além disso, também é necessário relacionar o ensino com a realidade dos estudantes. De acordo com Freire (1996, p. 25), “ensinar não é transferir conhecimento, mas criar as possibilidades para a sua produção”. Isso implica trabalhar os conteúdos de forma mais próxima do cotidiano e com a participação dos alunos.

Nesse contexto, o tema do aquecimento global pode ser utilizado como ponto de partida, pois está presente no dia a dia e envolve processos relacionados à transferência e transformação de energia. A partir desse tema, é possível trabalhar conceitos de Termodinâmica de forma mais contextualizada.

Diante disso, este trabalho tem como objetivo apresentar uma proposta de ensino de Termodinâmica voltada para o contexto do EJATEC, organizada como uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). A proposta busca partir dos conhecimentos prévios, desenvolver os conceitos de forma gradual e utilizar atividades experimentais simples para auxiliar na aprendizagem.

O trabalho está organizado em etapas que incluem fundamentação teórica dos conceitos termodinâmicos, metodologia, descrição da sequência didática, análise dos resultados e considerações finais.

2 Fundamentação teórica dos conceitos termodinâmicos

A Termodinâmica é um dos campos fundamentais da Física, voltado ao estudo das transformações de energia e dos processos de troca de calor entre sistemas. No contexto escolar, sua importância vai além do domínio conceitual, pois permite compreender fenômenos presentes no cotidiano e em questões ambientais atuais, como o aquecimento global.

Do ponto de vista histórico, a Termodinâmica se desenvolveu a partir da necessidade de compreender o funcionamento das máquinas térmicas durante a Revolução Industrial. Os estudos de Sadi Carnot foram fundamentais ao analisar o rendimento dessas máquinas (CARNOT, 1824). Posteriormente, Rudolf Clausius contribuiu para a formulação da Segunda Lei da Termodinâmica e para o conceito de entropia (CLAUSIUS, 1865). Já William Thomson (Lord Kelvin) participou da consolidação das leis da Termodinâmica (KELVIN, 1852).

Um dos conceitos iniciais nesse campo é o de temperatura, entendida como uma grandeza física associada ao estado térmico de um sistema. Em nível microscópico, está relacionada à energia cinética média das partículas. Essa compreensão permite superar a ideia comum de temperatura como apenas sensação térmica.

O calor, por sua vez, é definido como energia em trânsito, transferida entre sistemas devido à diferença de temperatura. Assim, não se trata de algo armazenado, mas de um processo de transferência de energia.

A energia interna corresponde à soma das energias microscópicas das partículas de um sistema. Variações de temperatura podem ser interpretadas como variações dessa energia, o que permite compreender processos de aquecimento e resfriamento.

Esses conceitos se organizam na Primeira Lei da Termodinâmica:

$$\Delta U = Q - W \quad 1$$

onde ΔU representa a variação da energia interna, Q o calor trocado e W o trabalho realizado pelo sistema.

No sistema climático, observa-se acúmulo de energia interna devido ao desequilíbrio entre energia recebida e energia emitida

A Segunda Lei da Termodinâmica introduz a ideia de que os processos naturais possuem uma direção preferencial. O calor flui espontaneamente do corpo mais quente para o mais frio, comportamento associado ao aumento da entropia:

$$\Delta S \geq 0 \quad 2$$

A Segunda Lei da Termodinâmica indica irreversibilidade.

Esse aumento de entropia está associado à dispersão da energia em escalas atmosféricas e oceânicas, dificultando seu retorno ao estado anterior de equilíbrio.

Figura 1 – Mecanismos de transferência de calor



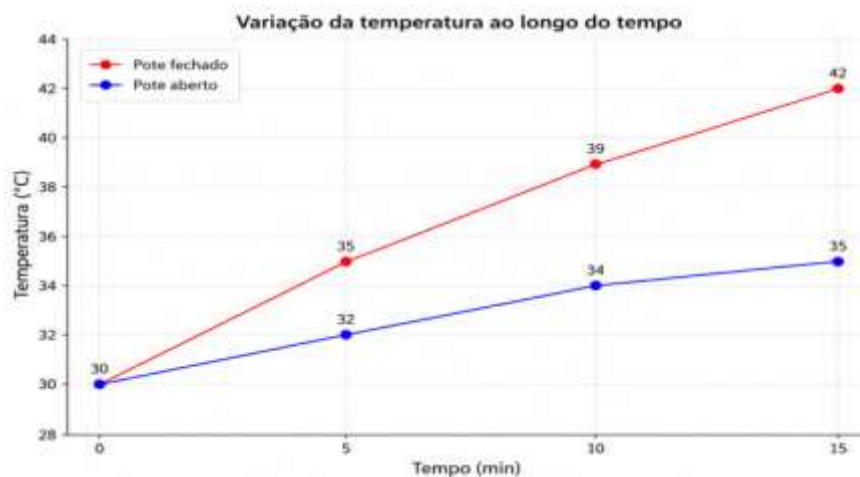
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

A figura 1 apresenta os três mecanismos de transferência de calor. A condução ocorre por contato direto entre partículas, a convecção envolve o movimento de fluidos e a radiação ocorre por meio de ondas eletromagnéticas. Esse último processo é fundamental para compreender as trocas de energia entre a Terra e o espaço.

A radiação tem papel central na compreensão do balanço energético da Terra. O planeta recebe energia do Sol principalmente por radiação e perde energia emitindo radiação térmica.

No caso do aquecimento global, esse equilíbrio é alterado. A presença de gases na atmosfera, como o dióxido de carbono, faz com que parte da radiação emitida seja absorvida e reemitida, reduzindo a perda de energia.

Figura 2– Variação de temperatura em função do tempo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O gráfico da Figura 2 apresenta a variação da temperatura ao longo do tempo em dois sistemas: um aberto e outro fechado, resultados do experimento realizado em sala de aula (Apêndice C). Observa-se que o sistema fechado apresenta maior aumento de temperatura.

Esse resultado pode ser interpretado a partir do balanço de energia. No sistema fechado, há menor troca de energia com o ambiente, favorecendo o aumento da energia interna e da temperatura. Já no sistema aberto, há maior dissipação de energia.

Esse comportamento permite estabelecer uma analogia com o efeito estufa, no qual a atmosfera dificulta a perda de energia térmica.

No contexto educacional, trabalhar esses conceitos de forma articulada é fundamental. De acordo com a BNCC, o ensino deve favorecer a compreensão de fenômenos naturais e sua relação com questões sociais e ambientais.

No caso da Educação de Jovens e Adultos integrada à formação técnica, essa abordagem se torna ainda mais relevante, pois permite relacionar conteúdos científicos com situações concretas.

Dessa forma, o ensino de Termodinâmica, quando associado a temas como o aquecimento global, contribui não apenas para a compreensão dos conceitos físicos, mas também para o desenvolvimento de uma visão mais crítica.

A organização da sequência didática como UEPS segue princípios de ensino potencialmente significativo, estruturando conteúdos de forma lógica, progressiva e contextualizada.

3. Objetivos

3.1 Objetivo Geral

Compreender os conceitos fundamentais da Termodinâmica e suas relações com o aquecimento global.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar conhecimentos prévios
- Diferenciar calor e temperatura
- Compreender as leis da Termodinâmica
- Relacionar Física ao aquecimento global
- Desenvolver consciência crítica ambiental

4. Público-alvo e contexto de aplicação

Este produto educacional foi elaborado para estudantes da Educação de Jovens e Adultos integrada à formação técnica (EJATEC), especialmente turmas do período noturno, considerando as características próprias dessa modalidade de ensino, como a diversidade de experiências de vida, trajetórias escolares interrompidas e a conciliação entre estudo e trabalho.

A proposta foi desenvolvida em escola pública da rede estadual localizada no município de São Luís-MA, conforme apresentado na figura 3. A escolha desse contexto ocorreu pela relevância social da EJA e pela necessidade de ampliar estratégias de ensino de Física que dialoguem com a realidade dos estudantes.

Figura 3 – Fachada da escola onde a proposta foi aplicada



Fonte: Acervo do autor (2025).

O contexto escolar apresenta desafios comuns ao ensino noturno, entre eles o tempo reduzido das aulas, o cansaço físico após a jornada de trabalho e diferentes níveis de domínio dos conteúdos básicos e falta de recursos pedagógicos tecnológicos. Tais aspectos foram considerados no planejamento desta sequência didática.

Nesse cenário, o ensino de Física demanda metodologias que favoreçam a participação dos estudantes, valorizem seus conhecimentos prévios e relacionem os conceitos científicos a situações concretas do cotidiano.

Assim, este produto educacional propõe o estudo de conceitos termodinâmicos a partir da temática do aquecimento global, buscando tornar a aprendizagem mais significativa, contextualizada e socialmente relevante.

5. Metodologia

A presente proposta caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa, realizada no contexto escolar a partir da elaboração e aplicação de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) voltada ao ensino de conceitos termodinâmicos no EJATEC. Trata-se de um estudo com caráter interventivo, pois busca enfrentar uma necessidade observada na prática docente por meio da construção e uso de um produto educacional em sala de aula.

A UEPS foi organizada em cinco fases: diagnóstico inicial, problematização, apresentação dos conteúdos, aplicação e avaliação, com duração média de 30 minutos cada, podendo ser adaptada conforme o tempo disponível, o perfil da turma e os recursos da escola.

A escolha dessa organização, apresentada no Quadro 1, partiu da necessidade de valorizar os conhecimentos prévios dos estudantes e favorecer maior participação durante as aulas.

Durante a aplicação da proposta, foi necessário ajustar a linguagem e o ritmo das atividades, considerando a heterogeneidade das turmas noturnas

Na nossa experiência vivenciada durante a aplicação da proposta, observou-se que muitos estudantes chegavam à escola cansados após a jornada de trabalho. Diante dessa realidade, foram desenvolvidas atividades mais curtas, dialogadas e relacionadas a situações concretas do cotidiano, buscando tornar as aulas mais dinâmicas e significativas. Em alguns momentos, também foi necessário retomar conceitos já trabalhados, principalmente quando surgiram dúvidas recorrentes entre os estudantes.

Quadro 1 – Organização geral da sequência didática

Etapas	Objetivo	Estratégia	Tempo
Diagnóstico	Identificar conhecimentos prévios	Questionário e diálogo	30 min
Problematização	Mobilizar interesse	Vídeo/notícia/debate	30 min
Conceitualização	Construir conceitos físicos	Aula dialogada	30 a 50 min
Experimentação	Relacionar teoria e prática	Experimento simples	30 min
Avaliação	Sistematizar aprendizagens	Produção escrita/oral	30 min

Fonte: Acervo do autor (2025).

Recomendações práticas

- Valorize as falas iniciais dos estudantes, mesmo quando houver equívocos conceituais;
- Use exemplos cotidianos: ventilador, fogão, garrafa térmica, calor urbano;
- Priorize explicações curtas seguidas de diálogo;
- Adapte o tempo conforme ritmo da turma;
- Em turmas cansadas, divida as etapas em encontros menores.

Como instrumento complementar de acompanhamento, foi criado um Modelo de Diário de Registro de Observações (Apêndice F), destinado ao registro sistemático de evidências percebidas durante a aplicação da proposta, tais como participação discente, dificuldades conceituais, interação entre os estudantes e avanços observados ao longo das etapas da sequência didática.

As informações analisadas foram obtidas por meio dos questionários aplicados, dos registros realizados no Diário de Observações e das interações desenvolvidas ao longo da sequência didática. Esses elementos contribuíram para compreender o processo de aprendizagem e os resultados da proposta aplicada.

6. Desenvolvimento da sequência didática

Fase 1: Diagnóstico inicial

No primeiro encontro, foi aplicado o questionário diagnóstico (Apêndice A), registrado na Figura 4, com questões relacionadas ao aquecimento global e conceitos térmicos básicos.

Analisando as respostas através de, verificou-se que muitos estudantes utilizavam calor e temperatura como sinônimos. Também surgiram explicações associando o aquecimento global apenas à poluição ou ao buraco na camada de ozônio.

Por outro lado, apareceram conhecimentos importantes sobre aumento do calor, queimadas, desmatamento e mudanças no clima.

Figura 4 – Estudantes respondendo ao questionário diagnóstico



Fonte: Acervo do autor (2025).

Aplicação de questionário breve sobre calor, temperatura, efeito estufa e mudanças climáticas.

Objetivo: mapear conhecimentos prévios e concepções espontâneas.

Resultados observados e colocados em diário:

- presença de concepções espontâneas;
- conhecimentos prévios sobre questões ambientais;
- boa participação inicial

Fase 2: Problematização

Nesta etapa, escolheu-se trabalhar com o vídeo *Os perigosos sinais que mostram que o clima vai piorar* (Figura 5), por apresentar linguagem acessível e temática próxima das discussões atuais vivenciadas pelos estudantes. A experiência docente mostra que recursos audiovisuais costumam favorecer maior atenção nas turmas do período noturno, especialmente no início de novas discussões. Por essa razão, o vídeo foi utilizado como estratégia de sensibilização, buscando provocar questionamentos e aproximar os conceitos físicos da realidade cotidiana da turma.

Figura 5 – Vídeo: Os perigosos sinais que mostram que o clima vai piorar.



disponível em: <https://youtu.be/vTOIwZDNnII>

Discussão a partir do vídeo curto sobre eventos climáticos extremos.

Questões norteadoras:

- Por que temos sentido mais calor nos últimos anos?
- Toda elevação de temperatura decorre apenas do Sol?
- Como a Física explica essas mudanças?

Em seguida, após assistirem ao vídeo, que apresentou discussões iniciais relacionadas aos conceitos de temperatura e calor, bem como desastres ambientais associados ao aquecimento global, os estudantes falaram sobre problemas presentes no dia a dia da comunidade, como o acúmulo de lixo nas ruas e em terrenos baldios, a construção de casas em áreas que deveriam ser preservadas e o desmatamento do mangue. Essas situações foram citadas principalmente em bairros próximos à escola, como Sá Viana, Bacanga e Vila Embratel.

Durante as diversas conversas em sala, apresentada na Figura 6, os alunos também comentaram mudanças percebidas no clima local, como calor mais intenso, chuvas irregulares, desconforto térmico em ambientes fechados e maior uso de ventiladores e aparelhos de ar-condicionado. Esses relatos ajudaram a relacionar o conteúdo trabalhado com experiências reais vividas pelos estudantes.

Figura 6 – Discussão em sala sobre mudanças climáticas



Fonte: Acervo do autor (2026).

Resultados observados:

- maior participação oral;
- envolvimento com o tema;
- valorização da realidade local.

O vídeo utilizado representa apenas uma possibilidade de encaminhamento didático, podendo ser substituído pelo professor por outro recurso que considere mais adequado aos objetivos da aula e à realidade da turma.

Esse momento mostrou-se importante para provocar reflexões sobre os temas apresentados, aumentar o interesse dos estudantes e criar um ambiente mais participativo para as etapas seguintes.

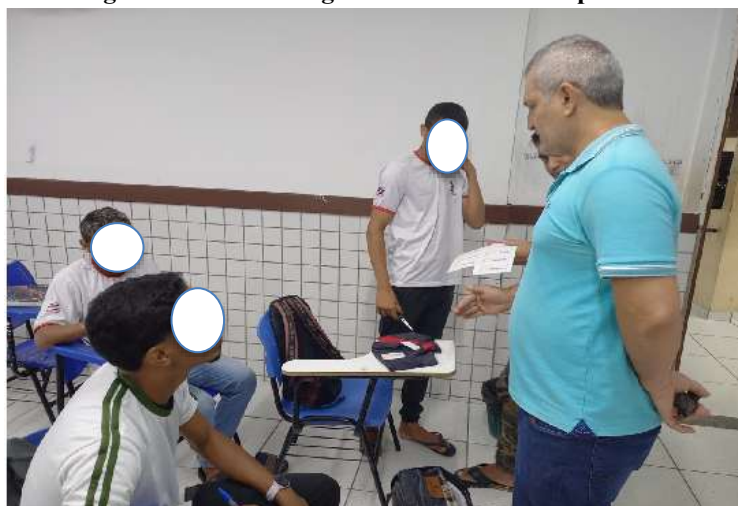
Fase 3 - Apresentação dos Conteúdos

Na apresentação dos conteúdos, trabalhamos os conceitos de maneira que os alunos participem, relacionando-os com situações do dia a dia, conforme o plano de aula descrito no Apêndice B. Ressalta-se que esse plano constitui uma sugestão, podendo ser adaptado de acordo com a realidade de cada turma.

Neste encontro, foram trabalhados os conceitos centrais da Termodinâmica:

- temperatura;
- calor como energia em trânsito;
- energia interna;
- condução, convecção e radiação;
- Primeira Lei da Termodinâmica;
- noções introdutórias da Segunda Lei da Termodinâmica.

Figura 5 – Aula dialogada sobre calor e temperatura



Fonte: Acervo do autor (2026).

Durante essa etapa, ficou evidente a necessidade de retomar conceitos básicos, principalmente a diferença entre calor e temperatura, que gerou dúvidas entre os estudantes.

Para facilitar a compreensão, foram utilizados exemplos simples, como o aquecimento de água no fogão e o funcionamento de ventiladores. A partir desses exemplos, a participação dos alunos aumentou, tornando a aula mais dinâmica.

Aos poucos, foi possível avançar para a discussão da Primeira Lei da Termodinâmica, sempre buscando manter a relação com situações concretas.

Fase 4 – Aplicação

A atividade prática apresentada na figura 6, teve como objetivo aproximar os conceitos trabalhados da realidade dos estudantes. Para isso, foi realizado um experimento simples sobre o efeito estufa, utilizando materiais de fácil acesso, cujo guia encontra-se descrito no Apêndice C.

Figura 6 – Variação da temperatura em sistema aberto e fechado



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O quadro 3, a seguir apresenta os valores utilizados no gráfico referente à atividade experimental sobre o efeito estufa em miniatura, realizado durante a sequência didática. Para reduzir interferências externas nas medições e tornar as condições do experimento mais adequadas, durante sua realização o aparelho de ar-condicionado da sala foi desligado. Os dados permitem comparar a variação da temperatura entre o sistema aberto e o sistema fechado ao longo do tempo.

Quadro 3 – Registro das medidas de temperatura realizadas pelos estudantes

Tempo (min)	Sistema aberto (°C)	Sistema fechado (°C)	Diferença (°C)
0	30	30	0
5	32	35	3
10	34	39	5
15	35	42	7

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Análise dos resultados

A análise dos resultados das medidas realizadas pelos alunos mostrou que a temperatura do sistema fechado aumentou mais que a do sistema aberto durante o experimento. Ao registrarem os valores, vários estudantes perceberam essa diferença e questionaram por que os dois recipientes, mesmo expostos à mesma fonte de luz, apresentavam temperaturas diferentes.

Durante a atividade, os alunos relacionaram os dados observados ao maior acúmulo de calor no recipiente fechado. Alguns citaram situações do cotidiano, como carros fechados ao sol e ambientes pouco ventilados, aproximando a prática de experiências conhecidas por eles.

Ao final, foi possível perceber melhor compreensão de que o sistema fechado dificultou a saída de energia térmica, favorecendo maior aumento de temperatura. Os próprios resultados obtidos pelos estudantes contribuíram para tornar mais clara a discussão sobre efeito estufa e aquecimento global, além de estimular maior participação da turma.

Após o experimento, realizou-se uma conversa para relacionar os resultados observados ao aquecimento global. Nesse momento, os estudantes conseguiram estabelecer ligações entre a atividade prática e os conceitos teóricos trabalhados em sala, demonstrando avanços na compreensão do tema.

Em seguida, foi proposta uma atividade em grupo, na qual os alunos discutiram possíveis soluções para problemas ambientais presentes em sua comunidade, ampliando a reflexão para além dos conteúdos conceituais.

Fase 5 – Avaliação

A avaliação foi realizada ao longo de todo o processo, considerando a participação dos estudantes, as discussões em sala e as respostas às atividades propostas.

Ao final, foi aplicado um questionário com questões abertas (Apêndice D), com o objetivo de verificar a compreensão dos principais conceitos trabalhados, apresentado na figura 7.

Figura 7 – Estudantes respondendo ao questionário de avaliação formativa



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

De modo geral, observou-se uma evolução na forma como os estudantes explicavam os fenômenos, especialmente em relação à diferenciação entre calor e temperatura e à compreensão do aquecimento global.

Além disso, muitos passaram a relacionar o tema com situações do cotidiano, indicando não apenas uma melhor compreensão dos conceitos, mas também maior consciência sobre o problema.

.

8. Resultados

O Quadro 2, apresentado no Apêndice E, foi elaborado pelo autor para auxiliar o acompanhamento da aprendizagem dos estudantes durante a aplicação da sequência didática. Sua organização baseia-se na avaliação formativa, entendida como um processo contínuo que permite observar avanços, dificuldades e necessidades dos alunos ao longo das atividades, e não apenas ao final do trabalho.

A escolha desse instrumento também considera a teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel, segundo a qual novos conhecimentos passam a ter sentido quando se relacionam ao que o estudante já sabe. Dessa forma, a rubrica possibilita perceber mudanças nas explicações dos alunos, na compreensão dos conceitos físicos da Termodinâmica e nas relações construídas entre o conteúdo estudado e situações do cotidiano.

Além disso, o quadro dialoga com a perspectiva de Paulo Freire, ao valorizar a participação, o diálogo e a leitura crítica da realidade. Por essa razão, não se restringe à verificação de respostas certas ou erradas, mas considera também a argumentação, o envolvimento nas discussões e a capacidade de relacionar o conhecimento científico aos problemas vividos na comunidade.

Dessa forma, o Quadro de Rubrica Avaliativa (Apêndice E) serve como referência para a análise de todas as etapas da sequência didática, auxiliando o professor no acompanhamento do desenvolvimento conceitual dos estudantes, da compreensão dos conceitos físicos da Termodinâmica, da participação nas atividades, do envolvimento no experimento e das relações estabelecidas entre Termodinâmica e aquecimento global. Por se tratar de um instrumento flexível, pode ser adaptado, ampliado ou reorganizado conforme os objetivos da aula, as características da turma e as necessidades do professor.

Complementando esse processo, os registros realizados no Diário de Observações (Apêndice F) mostraram que, após a etapa de problematização, os estudantes passaram a participar com maior frequência das discussões em sala. Esse resultado evidencia a importância de estratégias que aproximem os conteúdos de Física das experiências e situações presentes no cotidiano da turma.

Os avanços observados também podem ser confirmados no Quadro 4, que sintetiza a comparação entre a situação inicial e a situação após a aplicação da UEPS, evidenciando melhorias tanto na compreensão conceitual quanto no engajamento dos estudantes

Quadro4 –Comparação entre a situação inicial e a situação após a aplicação da UEPS

Aspecto	Situação inicial	Situação após a UEPS
Calor x Temperatura	Confusão conceitual	87% diferenciaram corretamente
Entropia	Pouco compreendida	80% relacionaram a impactos ambientais
Leis da Termodinâmica	Não aplicadas ao clima	70% aplicaram ao efeito estufa
Responsabilidade humana	Visão genérica	90% reconheceram papel social
Ação transformadora	Pouco explicitada	75% propuseram mudanças
Participação	Passiva	100% participaram ativamente

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Ao longo das atividades, foi possível perceber uma evolução na forma como os estudantes passaram a explicar os fenômenos, especialmente em relação à diferenciação entre calor e temperatura e à compreensão do aquecimento global.

Observa-se, ainda, o fortalecimento da consciência crítica dos alunos, evidenciado pela ampliação da compreensão das relações entre a Física, especialmente os conceitos termodinâmicos, e a preocupação com a sociedade e o meio ambiente.

9 Considerações Finais

A aplicação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), organizada a partir dos conceitos de Termodinâmica relacionados ao aquecimento global, apresentou resultados positivos no processo de aprendizagem dos estudantes da Educação de Jovens e Adultos (EJA). A análise dos dados permite observar avanços na compreensão dos conteúdos de Física, no desenvolvimento de uma postura mais crítica diante das questões ambientais e no maior envolvimento dos alunos nas atividades propostas.

No início da pesquisa, foi possível identificar dificuldades conceituais comuns no ensino de Termodinâmica, especialmente em relação aos conceitos de calor e temperatura. Em muitas respostas, os estudantes utilizavam os dois termos como sinônimos, vinculando-os apenas às sensações de quente e frio. Após o desenvolvimento da UEPS, verificou-se que 87% dos participantes passaram a diferenciar corretamente esses conceitos, compreendendo o calor como energia transferida entre corpos devido à diferença de temperatura e a temperatura como medida do estado térmico de um sistema.

Esse resultado indica que houve reorganização dos conhecimentos prévios dos estudantes. De acordo com Ausubel, Novak e Hanesian (1980), a aprendizagem torna-se significativa quando o novo conteúdo encontra relações com aquilo que o aluno já sabe. Nesse sentido, a proposta contribuiu para transformar ideias iniciais pouco precisas em conhecimentos mais elaborados.

Outro aspecto importante refere-se ao conceito de entropia. No diagnóstico inicial, esse conteúdo era pouco conhecido e, em alguns casos, sequer mencionado pelos estudantes. Ao final das atividades, 80% dos participantes conseguiram relacionar entropia ao desperdício de energia, à degradação ambiental e à irreversibilidade de certos processos naturais. Considerando o grau de abstração desse conceito, o resultado mostra que a aproximação com exemplos do cotidiano favoreceu sua compreensão.

Na EJA, esse dado merece destaque, pois os estudantes trazem consigo experiências de trabalho, família e convivência social que podem contribuir para a aprendizagem escolar. Ao relacionar entropia com situações concretas, como desperdício de energia elétrica, produção

excessiva de resíduos e poluição, o conteúdo passou a fazer mais sentido para os alunos. Como destaca Moreira (2011), o conhecimento prévio do estudante é elemento central para a aprendizagem significativa.

Também foram observados avanços na compreensão das Leis da Termodinâmica. Antes da intervenção, a maioria dos estudantes não estabelecia relações entre essas leis e fenômenos ambientais. Após a UEPS, 70% conseguiram aplicar tais princípios à explicação do efeito estufa e do aquecimento global, reconhecendo que o planeta realiza trocas de energia constantes e que alterações nesse equilíbrio interferem no clima.

Esse resultado demonstra que os estudantes passaram a perceber a Física para além de fórmulas e exercícios mecânicos. O conteúdo foi compreendido como instrumento para interpretar fenômenos reais, o que representa uma mudança importante no ensino de Ciências.

No campo da formação crítica, os resultados também foram expressivos. Inicialmente, predominavam respostas genéricas sobre as causas do aquecimento global, normalmente restritas à ideia de “poluição”. Após a realização da UEPS, 90% dos estudantes reconheceram de forma mais clara a responsabilidade humana nas mudanças climáticas, mencionando desmatamento, queima de combustíveis fósseis, consumismo e emissão de gases poluentes.

Esse avanço aproxima-se da perspectiva de Freire (1996), para quem a educação precisa contribuir para a leitura crítica da realidade. Quando o estudante compreende as causas sociais, econômicas e políticas de determinado problema, amplia-se sua capacidade de reflexão e posicionamento diante do mundo.

Além disso, 75% dos participantes apresentaram propostas para enfrentar os problemas discutidos. Entre as sugestões mais recorrentes estavam economia de energia, reciclagem, plantio de árvores, redução do uso de combustíveis fósseis e campanhas de conscientização. Tais respostas revelam que os estudantes não apenas compreenderam o problema, mas passaram a pensar em formas concretas de intervenção.

Essa dimensão propositiva dialoga com a ideia de práxis em Freire (1987), entendida como a união entre reflexão e ação transformadora. O conhecimento escolar, nesse caso, ultrapassa os limites da sala de aula e se aproxima das demandas reais da comunidade.

Outro dado relevante foi a participação discente. No início do processo, alguns estudantes demonstravam insegurança para se expressar, além de pouca participação nas discussões. No decorrer das atividades, esse cenário se modificou, sendo registrada participação ativa de 100% da turma em debates, tarefas coletivas e momentos de socialização.

Esse resultado sugere que metodologias baseadas no diálogo, na problematização e na valorização da experiência dos estudantes favorecem maior envolvimento, especialmente na EJA. Freire (1996) ressalta que o diálogo é condição fundamental para uma prática educativa democrática e humanizadora.

De modo geral, os resultados permitem afirmar que a UEPS alcançou seus objetivos ao articular aprendizagem conceitual, reflexão crítica e participação estudantil. O tema do aquecimento global mostrou-se adequado para relacionar conteúdos de Física a problemas contemporâneos vivenciados pelos próprios estudantes.

Conclui-se, portanto, que propostas pedagógicas fundamentadas na Aprendizagem Significativa e na pedagogia freiriana podem contribuir de forma consistente para o ensino de Física na Educação de Jovens e Adultos. Durante a aplicação observou-se que os estudantes participaram mais quando os conceitos apareceram ligados a situações que vivenciam diariamente, indicando maior sentido atribuído ao conteúdo estudado.

10 Referências

- AUSUBEL, D. P. Aquisição e retenção de conhecimentos: **uma perspectiva cognitiva**. Lisboa: Plátano, 2003.
- AUSUBEL, J. **Ensino de Ciências: Fundamentos e Metodologias**. São Paulo: Moderna, 2010.
- AUSUBEL, D. P. **Psicologia educacional: uma visão cognitiva**. Nova York: Holt, Rinehart e Winston, 1968.
- BONJORNO, José Roberto; BONJORNO, Regina F. S. Azenha; BONJORNO, Valter. **Física** São Paulo:FTD, 1999.
- BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Ministério da Educação. Brasília: MEC, 1996.
- BRASIL. Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Plano Nacional de Educação PNE 2014-2024: linha de base**. Brasília, DF, 2015
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **PCN+ ensino médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília, DF, 2002b. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: 07 jun. 2024.
- BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria da Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio: parte III: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Brasília, DF, 2002a. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2024
- BRASIL. **Parâmetros curriculares nacionais**. Ministério da Educação. Brasília: DF, 1997.
- CALLEN, H. B. **Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics**. 2 ed. Nova York: John Wiley & Sons, p. 37-39.

- FELÍCIO, A. Mudanças climáticas e aquecimento global. In: **Geografia do aquecimento global**. São Paulo: Editora Global, 2023. p. 102.
- FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1970.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- HALLIDAY, David; RESNICK, ROBERT. **Fundamentos de Física. Local: LTC**, 2006.
- KATO, D. S.; KAWASAKI, C. S. **O significado pedagógico da contextualização para o ensino de ciências: análise dos documentos curriculares oficiais e de professores**. 2007. Universidade São Paulo, São Paulo, 2007.
- KÖCHE, J. C. **Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa**. Petrópolis: Vozes, 2011.
- MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.
- MARTINS, L. R. **Mudanças Climáticas e o Aquecimento Global: uma Introdução Histórica e Científica**. Rio de Janeiro: Editora Ciência em Foco, p. 65.
- MOL, A.C de A. *et al.* **Sequências Didáticas Permeadas por Tecnologias**. Ebook (Mestrado Profissional em Novas Tecnologias Digitais na Educação), Centro Universitário Uni Carioca, Rio de Janeiro, 2022.
- MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.
- _____. **Grandes Desafios para o Ensino da Física na Educação Contemporânea. Revista do Professor de Física**, vol. 1, n. 1, Brasília, 2017.
- Disponível em:
<http://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/viewFile/25190/18899>
- Acesso em: 20 jul. 2024
- NOBRE, C. A.,; BORMA, L. S. Secas na Amazônia: causas e consequências para o equilíbrio climático. In: **Mudanças Climáticas e a Amazônia: Ciência, Impactos e Políticas Públicas**. São Paulo: Editora USP, 2009. p. 153.
- TIPLER, P. A.,; MOSCA, G. **Física para Cientistas e Engenheiros** 6. ed. Rio de Janeiro :LTC, 2009.
- ZABALA, A. **A Prática Educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICE A – Fase 1: Questionário sobre conhecimentos e experiências prévias (30 minutos)

ESCOLA: _____

Nome: _____

Data: ____ / ____ / ____ Turma: _____

Disciplina: Física

Responda:

1. O que você entende por aquecimento global?

2. Quais grandezas físicas você considera importantes para a compreensão científica do aquecimento global?

3. O que você entende por energia térmica?

4. Com suas palavras, explique o que você entende por calor e temperatura.

5. Existe alguma relação entre a troca ou transformação de energia e o aquecimento global? Justifique sua resposta.

6. Você já ouviu falar sobre o efeito estufa? Em caso afirmativo, explique o que você entende sobre esse fenômeno.

7. Na sua opinião, de que maneira as ações humanas podem contribuir para o aumento da temperatura no planeta?

8. Você acredita que o conhecimento sobre o clima e o aquecimento global pode contribuir para a transformação da realidade? Explique.

9. Caso tivesse a oportunidade, que ações você proporia para reduzir os efeitos do aquecimento global em sua comunidade?

10. O que você faria, no seu dia a dia, para ajudar a diminuir o aquecimento global?

APÊNDICE B – Fase 3: Plano de aula (30 minutos)

PLANO DE AULA – FÍSICA (EJATEC)

Tema: Energia, Calor, Trabalho e a Primeira Lei da Termodinâmica

Duração: 30 minutos

Modalidade: Aula Expositiva Dialogada

1. Objetivo Geral

Compreender os conceitos básicos de energia, calor e trabalho, relacionando-os à **Primeira Lei da Termodinâmica** e a situações do cotidiano.

2. Objetivos Específicos

- Identificar o conceito de energia e suas formas.
- Diferenciar calor e temperatura.
- Compreender o conceito de trabalho em Física.
- Relacionar os conceitos à conservação de energia (Primeira Lei da Termodinâmica).

3. Conteúdos

- Energia e suas transformações
- Calor e temperatura
- Trabalho (no contexto físico)
- Primeira Lei da Termodinâmica

4. Metodologia (Procedimentos)

Aula interativa mediada pelo professor, com participação ativa dos estudantes na construção do conhecimento., valorizando os conhecimentos prévios dos estudantes (característica importante no ensino de jovens e adultos).

Etapas:**a) Problemática inicial (5 minutos):**

O professor inicia com perguntas do cotidiano, como:

- “Por que sentimos mais calor em dias muito quentes?”
- “De onde vem a energia que usamos no dia a dia?”

b) Desenvolvimento dos conceitos (20 minutos):

- Apresentação dos conceitos de **energia, calor e trabalho**, utilizando linguagem simples.

- Exemplos do cotidiano:
 - Fogão aquecendo a água (calor)
 - Corpo em movimento (trabalho)
 - Conta de energia elétrica (energia)
- Introdução da **Primeira Lei da Termodinâmica**, destacando a ideia central:
“A energia não se perde, apenas se transforma.”

c) Interação e sistematização (5 minutos):

- Perguntas abertas para os alunos explicarem com suas próprias palavras.
- Retomada dos conceitos principais com participação da turma.

5. Recursos Didáticos

- Quadro e pincel
- Projetor (opcional)
- Mapas conceituais
- Exemplos do cotidiano

6. Avaliação

A avaliação será **diagnóstica e formativa**, observando:

- Participação nas discussões
- Compreensão dos conceitos nas respostas orais
- Capacidade de relacionar os conteúdos ao cotidiano

7. Observações

Considerar o ritmo e as experiências dos estudantes da EJA, valorizando seus saberes

APENDICE C – Fase 4 :Experimento

Experimento: O efeito estufa em miniatura

1.Objetivo: Demonstrar como o acúmulo de gases de efeito estufa na atmosfera retém o calor, contribuindo para o aumento da temperatura global.

2.Materiais necessários

- 2 potes de vidro transparentes com tampa (ou garrafas cortadas)
- 2 termômetros digitais pequenos
- 1 lâmpada de mesa ou luz solar direta
- Filme plástico transparente (opcional, caso os potes não tenham tampa)
- Fita adesiva
- Cronômetro ou relógio

3.Procedimentos

1. Preparação:

- Coloque um termômetro dentro de cada pote.
- Feche um dos potes hermeticamente com a tampa ou filme plástico, vedando bem com fita adesiva. O outro pote deve ficar aberto.

2. Exposição à luz:

- Posicione ambos os potes sob a lâmpada ou em um local com luz solar direta.
- Certifique-se de que ambos recebam a mesma quantidade de luz.

3. Observação:

- Inicie o cronômetro e registre a temperatura inicial em cada pote.
- Após 5, 10 e 15 minutos, registre novamente as temperaturas de ambos os potes.

4. Análise:

- Compare os valores de temperatura. O pote fechado deve apresentar uma temperatura mais alta, simulando o efeito do acúmulo de gases na atmosfera.

APÊNDICE D– Fase 5: Avaliação Formativa (30 minutos)

ESCOLA: _____**Nome:** _____**Data:** ____ / ____ / ____ **Turma:** _____**Disciplina: Física****Responda:**

1. O que é calor?

- a) Uma forma de energia em trânsito que é transferida entre corpos com diferentes temperaturas.
- b) A temperatura de um objeto.
- c) O estado de um corpo em repouso.
- d) A medida da energia cinética das moléculas de um corpo.

2. Qual é a diferença entre calor e temperatura?

3. A Segunda Lei da Termodinâmica nos diz que:

- a) O calor flui naturalmente do corpo mais quente para o corpo mais frio.
- b) O calor pode fluir de um corpo frio para um corpo quente sem a necessidade de trabalho externo.
- c) A energia pode ser destruída em um sistema isolado.
- d) A entropia de um sistema fechado tende a diminuir com o tempo.

4. O que é o efeito estufa?

- a) O aumento da temperatura causado pela retenção de calor na atmosfera devido

aos gases estufa.

- b) Um processo que ocorre apenas nas estufas agrícolas.
- c) O resfriamento da Terra devido à perda de calor para o espaço.
- d) A diminuição da camada de ozônio.

5. Como a atividade humana contribui para o aumento do efeito estufa?

6. Cite dois gases que contribuem para o aquecimento global e explique como eles afetam o clima da Terra.

7. Quais são algumas das consequências do aquecimento global para o meio ambiente e a sociedade?

8. Como você acha que a sua comunidade é ou será afetada pelo aquecimento global?

9. Que ações práticas você acha que podem ser adotadas por você ou por sua comunidade para ajudar a combater o aquecimento global?

10. Explique por que os conhecimentos da Física, especialmente da Termodinâmica, são importantes para entender e combater o aquecimento global. Dê exemplos.

APÊNDICE E - Quadro 2 – Utilizado como referência para análise dos resultados

Critério	Inicial	Em desenvolvimento	Satisfatório	Avançado
Compreensão dos conceitos físicos da Termodinâmica	Apresenta dificuldades na compreensão dos conceitos básicos.	Compreende parcialmente os conceitos, com algumas dúvidas.	Compreende e explica adequadamente os principais conceitos.	Utiliza os conceitos com segurança em diferentes situações.
Relação entre Física e aquecimento global	Apresenta relações superficiais ou baseadas no senso comum.	Reconhece algumas relações com apoio do professor.	Relaciona os conceitos físicos ao efeito estufa e às mudanças climáticas.	Analisa criticamente causas e consequências do aquecimento global.
Participação e argumentação	Participa pouco e apresenta respostas breves.	Participa quando incentivado e argumenta parcialmente.	Participa regularmente e apresenta argumentos coerentes.	Participa ativamente e argumenta com clareza e criticidade.
Relação com o cotidiano e atividade experimental	Tem dificuldade para relacionar teoria e prática.	Estabelece relações simples com mediação.	Relaciona o conteúdo ao cotidiano e compreende os resultados do experimento.	Interpreta resultados, propõe hipóteses e aplica o conhecimento à realidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Observação: O quadro apresentado no **Apêndice E** serve como referência para a análise das diferentes etapas da sequência didática, podendo ser adaptado ou ampliado conforme os objetivos da aula e a realidade de cada turma.

APÊNDICE F- Modelo de Diário de Registro de Observações**Escola:** _____**Turma:** _____ **Professor(a):** _____**Período de aplicação:** _____

Data	Etapas da sequência didática	Observações da aula	Relação com questionários	Encaminhamentos pedagógicos
	Diagnóstico inicial	Ex.: Muitos estudantes confundiram calor e temperatura. Boa participação inicial.	Confirmado no Questionário Diagnóstico (questões 3 e 4).	Retomar conceitos básicos com exemplos do cotidiano.
	Problematização	Ex.: Turma demonstrou interesse ao discutir mudanças climáticas no bairro.	Relaciona-se às respostas sobre impactos locais (questões 8 e 9).	Explorar mais exemplos da comunidade.
	Construção conceitual	Ex.: Dificuldade na compreensão da diferença entre calor e energia interna.	Questões abertas mostraram dúvidas semelhantes.	Utilizar analogias e esquemas visuais.
	Atividade experimental	Ex.: Participação ativa no experimento. Estudantes levantaram hipóteses.	Respostas posteriores indicaram melhor compreensão do efeito estufa.	Incentivar comparação entre dados observados e teoria.
	Avaliação final	Ex.: Maioria explicou corretamente calor e temperatura.	Confirmado no Questionário Formativo.	Consolidar conteúdos e retomar pontos específicos.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Aspectos sugeridos para observação

- Participação dos estudantes nas discussões;
- Interesse demonstrado nas atividades;
- Dificuldades conceituais recorrentes;
- Evolução nas respostas aos questionários;
- Relação entre conteúdo e cotidiano;
- Interação entre os estudantes;
- Envolvimento na atividade experimental;
- Desenvolvimento de posicionamento crítico sobre questões ambientais.

Considerações de uso

O diário de registro não tem caráter burocrático, mas analítico. Seu objetivo é oferecer ao professor elementos concretos para interpretar o processo de aprendizagem e confrontar as observações em sala com os dados obtidos nos instrumentos aplicados durante a pesquisa.

Dessa forma, torna-se um importante