



**O ENSINO DA TERMODINÂMICA SOB A PERSPECTIVA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS) E DA
INTERDISCIPLINARIDADE DELA DECORRENTE.**

Wagner da Costa Vieira

Maceió - Al

Março / 2020

Wagner da Costa Vieira

**O ENSINO DA TERMODINÂMICA SOB A PERSPECTIVA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS) E DA
INTERDISCIPLINARIDADE DELA DECORRENTE.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Alagoas no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Prof. Dr. Antônio José Ornellas de Farias

Maceió - AL

Março / 2020

Ficha catalográfica

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

V658e Vieira, Wagner da Costa.

O ensino da termodinâmica sob a perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e da interdisciplinaridade dela decorrente / Wagner da Costa Vieira. – 2020.

107, 81 f. : il., figs., grafs. e tabs. color.

Orientador: Antônio José Ornellas de Farias.

Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Física. Programa de Pós-Graduação em Física. Maceió, 2021.

Inclui produto educacional.

Bibliografia: f. 104-107.

1. Física – Estudo e ensino. 2. Educação digital. 3. Métodos de ensino. 4. Aprendizagem significativa. 5. Termodinâmica. I. Título.

CDU: 536.7: 371.3

**O ENSINO DA TERMODINÂMICA SOB AS PERSPECTIVAS
CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS) E SUAS
INTERDISCIPLINARIDADES.**

Wagner da Costa Vieira

Orientador

Dr. Antônio José Ornellas de Farias

Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Banca examinadora:

Dr. Antônio José Ornellas de Farias

Dr. Jenner Barretto Bastos Filho

Dr. Edel Alexandre Silva Pontes

Maceió - Al

Março / 2020

Dedico este trabalho, primeiramente a Deus que me deu força, coragem, sabedoria e paciência durante esta jornada e aos meus pais Valdomiro e Ana Maria que fizeram todos os esforços possíveis durante minha vida escolar para que eu chegasse a esta etapa da minha vida.

Agradecimentos:

A Deus, por ter me dado forças e proteção ao longo de todo o curso.

Aos meus pais, Valdomiro e Ana Maria, por terem me incentivado e acreditado em mim e pelos ensinamentos que me fizeram ser esta pessoa que sou hoje e por terem mostrado que a educação é o melhor caminho de transformação social.

Ao meu cunhado Robson, pelas madrugadas que passou me auxiliando nas gravações das vídeo-aulas das disciplinas de eletromagnetismos e mecânica quântica e no apoio na área de informática.

Ao meu orientador, professor Dr. Antonio Ornellas, pela sua paciência, dedicação e comprometimento na elaboração do produto educacional e desta dissertação, e pelos conhecimentos transmitidos ao longo deste projeto.

Aos colegas de cursos: José Maria, Paulo Martins, Paulo José, Sidnei Ramos e Franck Martins, pelo companheirismo e por dividirem comigo os bons e os maus momentos ao longo do curso;

À Sociedade Brasileira de Física (SBF) e à Universidade Federal de Alagoas por ofertarem este curso de mestrado profissional.

Aos professores Jenner Bastos, Elton Malta, Samuel Albuquerque, Socorro Pereira e Kleber Serra, pelo comprometimento e pelos ensinamentos ao longo de suas aulas.

Ao coordenador do programa e professor Pedro Valentim, por sua atenção e por sempre se mostrar solícito quando precisei.

À CAPES, pelo apoio financeiro através da disponibilização de bolsa de estudos.

A todos que fazem o Instituto de Física de uma maneira geral.

“Todo saber é vão, exceto quando há trabalho. E todo trabalho é vazio, exceto quando há amor. E quando trabalhais com amor, vós vos unis a vós próprios, e uns aos outros, e a Deus”.

Gibran Khalil

RESUMO

**O ENSINO DA TERMODINÂMICA SOB A PERSPECTIVA CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS) E DA INTERDISCIPLINARIDADE DELA
DECORRENTE.**

Wagner da Costa Vieira

Orientador:

Prof. Dr. Antônio José Ornellas de Farias

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal de Alagoas no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um produto educacional, uma programação digitalizada de ensino, que forneça inovações e ferramentas que venham a facilitar o processo de ensino-aprendizagem de Física sob as perspectivas Ciência Tecnologia e Sociedade (CTS), abordando conteúdos contextualizados e interdisciplinares com um enfoque social e um ensino voltado para a cidadania que possa produzir mudanças na vida dos alunos contrapondo-se ao modelo tradicional que ocorre na maior parte das escolas brasileiras. A aplicação deste trabalho foi realizada na Escola Estadual Moreira e Silva com a participação dos alunos de cinco turmas dos 3ºs anos matutino, onde pudemos utilizar uma série de recursos disponíveis no mesmo, como simulações virtuais de aprendizagem, vídeos e textos e experimentações além de aulas expositivas nas quais procuramos exercer o papel de mediador. Na análise dos resultados da aplicação do produto tomamos como fundamentos a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel para analisar a sua potencialidade. Constatamos que, ao fazer o uso de uma programação digitalizada de ensino de Física, e utilizando contextualizações, interdisciplinaridades, levantamento de conhecimentos prévios, os estudantes mostraram uma maior predisposição para aprender tornando o seu aprendizado mais significativo.

Palavras-chave: Ensino de Física, Programação Digitalizada de Ensino, Aprendizagem Significativa.

Maceió – Al

Março / 2020

ABSTRACT

THE TEACHING OF THERMODYNAMICS UNDER THE PERSPECTIVE SCIENCE, TECHNOLOGY AND SOCIETY (CTS) AND THE INTERDISCIPLINARITY OF IT ARISING.

Wagner da Costa Vieira

Orientador:

Prof. Dr. Antônio José Ornellas de Farias

Abstract of Master's Dissertation submitted to the Graduate Program of the Federal University of Alagoas in the Professional Master's Degree in Physics Teaching (MNPEF), as part of the necessary requirements to obtain the title of Master in Physics Teaching.

This work aims to develop an educational product, a digitalized teaching schedule, which provides innovations and tools that will facilitate the teaching-learning process of Physics from the perspective of Science, Technology and Society (CTS), addressing contextualized and interdisciplinary content with a social approach and teaching geared towards citizenship that can produce changes in the lives of students in contrast to the traditional model that occurs in most Brazilian schools. The application of this work was carried out at the Moreira e Silva State School with the participation of students from five classes of the 3rd morning years, where we were able to use a series of resources available in the same, such as virtual learning simulations, videos and texts and experiments in addition to classes in which we seek to exercise the role of mediator. In the analysis of the results of the application of the product, we take as a basis the Ausubel Theory of Meaningful Learning to analyze its potential. We found that, by making use of a digitalized Physics teaching program, and using contextualizations, interdisciplinarity, survey of previous knowledge, students showed a greater predisposition to learn, making their learning more meaningful.

Keywords: Physics Teaching, Digitalized Teaching Programming, Meaningful Learning.

Maceió - Al

March / 2020

Lista de figuras e tabelas

Figura 1: Uma visão esquemática do contínuo aprendizagem significativa – aprendizagem mecânica.

Figura 2: Esquema da Zona de Desenvolvimento Proximal.

Figura 3 – Capa de um e-book de Física.

Figura 4 – Ficha catalográfica de um e-book de Física.

Figura 5: Relação entre as escalas Celsius, Kelvin e Fahrenheit.

Figura 6: Junta de dilatação entre as placas de uma ponte.

Figura 7: Gráficos do volume e da densidade da água em função da temperatura

Figura 8: Esquema representativo do fluxo de calor por condução através de uma placa simples

Figura 9: Diagrama de mudança de fases de uma substância

Figura 10: Gráfico de uma transformação isotérmica

Figura 11: Gráfico de várias transformações isotérmicas

Figura 12: Gráfico de uma transformação isobárica.

Figura 13: Gráfico de uma transformação isocórica.

Figura 14: Trabalho infinitesimal dW em uma pequena expansão dx .

Figura 15: Nos gráficos percebe-se que na figura (a) o volume aumenta e a área o trabalho são positivos; na letra (b) o volume diminui e a área o trabalho são negativos e na letra (c) o volume aumenta e a área e o trabalho são positivos.

Figura 16: Representações de diversas transformações gasosas que têm os mesmos estados inicial e final e, que passam por estados intermediários diferentes.

Figura 17: Transformação cíclica

18: Esquema de uma máquina térmica

Figura 19: Esquema de ciclo de Carnot

Figura 20: Esquema do fluxo de energia em um refrigerador

Figura 21: Mestrando explicando os conceitos básicos de termologia e alguns alunos acompanhando por celulares através do produto educacional.

Figura 22: Quadro com a demonstração da relação entre as escalas termométricas.

Figura 23: Apresentação do simulador virtual PhET aos do 3º A e a realização de simulações

Figura 23: Gráfico de distribuição da potencialidade de acordo com o rendimento dos alunos com a utilização do produto educacional no 3º ano A

Figura 24: Realização de simulações virtuais pelos alunos no laboratório de informática.

Figura 25: Experimento de demonstração da condução de calor.

Figura 26: Gráfico de distribuição da potencialidade do P.E de acordo com o rendimento dos alunos do 3º ano F.

Figura 26: Aula expositiva sobre calorimetria e discussões de problemas cotidianos.

Figura 27: A) Realização de simulações virtuais pelos alunos B) Realização de experimento sobre calorimetria.

Figura 28: Gráfico de distribuição da potencialidade do P. E. com os alunos do 3º ano B.

Figura 29: Quadro resumo da aula expositiva sobre gases ideais.

Figura 30 – Momento de realização de simulações virtuais de aprendizagem perante os alunos.

Figura 31: Gráfico de distribuição da potencialidade do P.E de acordo com o rendimento dos alunos dos 3º ano D

Figura 32: Aula de aplicação do capítulo 6 do P.E.

Figura 33 – Proposição de uma atividade de pesquisa interdisciplinar.

Figura 34: Esquema de uma máquina térmica presente no P.E.

Figura35: Gráfico de distribuição da potencialidade do P.E de acordo com o rendimento dos alunos do 3º ano E.

Figura 36: Gráfico da distribuição da potencialidade do P.E de acordo com o rendimento dos alunos em todas as turmas.

Tabela 1: Coeficientes de dilatação linear de alguns materiais.

Tabela 2: Calores específicos de algumas substâncias.

Tabela 3: Calores latentes de mudanças de fase de algumas substâncias.

Tabela 4: Classificação da potencialidade do produto educacional de acordo a aprendizagem dos alunos.

Tabela 5: Distribuição da potencialidade com o rendimento dos alunos com a utilização do produto educacional no 3º ano A.

Tabela 6: Distribuição da potencialidade com o rendimento dos alunos com a utilização do produto educacional no 3º ano F.

Tabela 7: Distribuição da potencialidade com o rendimento dos alunos com a utilização do produto educacional no 3º ano B.

Tabela 8: Distribuição da potencialidade com o rendimento dos alunos com a utilização do produto educacional no 3º ano D.

Tabela 9: Distribuição da potencialidade com o rendimento dos alunos com a utilização do produto educacional no 3º ano E.

Tabela 10: Distribuição da potencialidade com o rendimento dos alunos com a utilização do produto educacional em todas as turmas.

Lista de siglas e abreviaturas

BNCC: Base Nacional Comum Curricular.

CTS: Ciência, Tecnologia e Sociedade.

IF: Instituto de Física.

LD: Livro Digital.

MNPEF: Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

PCN: Parâmetros Curriculares Nacionais.

PCNEM: Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.

PE: Produto Educacional.

SI: Sistema Internacional de unidades.

TICs: Tecnologias da Informação e Comunicação.

UFAL: Universidade Federal de Alagoas.

Sumário

Capítulo 1	13
Introdução	13
1.1Objetivos	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
1.1.3 Justificativa	15
1.2 Organização da pesquisa	16
Capítulo 2	17
Referencial teórico psicopedagógico	17
2.1 Aprendizagem Significativa	17
2.2 Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP)	20
2.3 O Ensino Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS)	21
2.4 Programação Digitalizada de Ensino	27
2.5 Avaliação Diagnóstica	30
Capítulo 3	32
Fundamentos da termodinâmica: dos princípios à sua natureza estatística	32
3.1 As leis da termodinâmica	32
3.2 Conceitos básicos: calor, temperatura, equilíbrio térmico, lei zero da termodinâmica e escalas termométricas	32
3.3 Dilatação térmica	34
3.3.1 Dilatação linear	35
3.3.2 Dilatação superficial	36
3.3.3 Dilatação volumétrica	37
3.3.4 Dilatação dos líquidos	37
3.3.5 Anomalia da água	38
3.4 Processos de transmissão de calor	39
3.4.1 Condução	39
3.4.2 Convecção	41
3.4.3 Radiação	41
3.5 Calorimetria	43
3.5.1 Capacidade térmica	43
3.5.2 Calor específico	43
3.5.3 Calor específico molar	45
3.5.4 Quantidade de calor sensível	45

3.6 Gases ideais.....	48
3.6.1 Teoria cinético-molecular dos gases ideais.....	48
3.6.2 Transformações gasosas especiais	49
3.6.3 Equação de estado de um gás ideal.....	51
3.7 Termodinâmica	53
3.7.1 Trabalho em uma transformação gasosa.....	53
3.7.2 Trajetória entre estados termodinâmicos	54
3.7.3 Primeira lei da termodinâmica	56
3.7.4 Aplicação da 1ª lei da termodinâmica em alguns casos especiais	56
3.7.5 Calores específicos molares	58
3.7.6 Processo adiabático de um gás ideal	60
3.8 Segunda lei da termodinâmica e a entropia	61
3.8.2 Segunda lei da termodinâmica em termos da entropia	63
3.8.3 Máquinas térmicas	64
3.8.4 Máquina de Carnot.....	65
3.8.5 Refrigeradores.....	67
3.8.6 Noções de mecânica estatística	68
Capítulo 4.....	71
4.1 Metodologia	71
4.2 Aplicação e análise dos resultados do capítulo 1 do P.E	73
4.3 Aplicação do capítulo 2 do P.E.....	79
4.4 Aplicação e análise dos resultados do capítulo 3 do P.E	82
4.5 Aplicação e análise dos resultados do capítulo 4 do P.E	85
4.6 Aplicação e análise dos resultados do capítulo 5 do P.E	89
4.7 Aplicação do capítulo 6 do P.E.....	92
4.8 Aplicação e análise dos resultados do capítulo 7 do P.E	94
4.9 Análise dos resultados obtidos na aplicação do P.E por completo	98
Capítulo 5.....	101
Considerações finais	102
Referências bibliográficas	104
Anexos	108

Capítulo 1

Introdução

O modelo de ensino de Física predominante nas escolas brasileiras é baseado na transmissão-recepção, na memorização de fórmulas e terminologias, na resolução excessiva de exercícios matemáticos, na falta de integração com outras disciplinas, na ausência de recursos educacionais e principalmente na falta de informações sobre as implicações dos conteúdos estudados e suas tecnologias na vida social do aluno, o que só faz aumentar o desinteresse e os índices de evasão e reprovação escolar.

Um dos motivos do desinteresse pelo aprendizado de Física é o fato de o aluno não conseguir relacionar o que está estudando e as suas necessidades de vida, o que tem o levado a questionar ao professor de que vai lhe servir aquele assunto ou por que está estudando aquilo, deixando muitas vezes o professor sem argumentos convincentes. Apesar de a Física ser uma ciência em constante evolução, o avanço das descobertas científicas e suas aplicações tecnológicas não são repassadas aos alunos, ocasionando uma ausência de relação entre o ambiente escolar e o mundo no qual o estudante está inserido.

Além do ensino de Física ser predominantemente receptivo, os recursos utilizados são basicamente o quadro e o livro didático, e na maioria das vezes não utilizam laboratórios de informática e ciências da escola.

Diante do cenário atual, se faz necessário algumas mudanças em nossas práticas pedagógicas e a implementação de novos recursos educacionais, a fim de que o aluno consiga demonstrar um maior interesse e consequentemente obter maiores índices de aprendizagem na disciplina de Física.

Hoje vivemos uma época em que a internet está presente na vida de praticamente todas as pessoas, principalmente dos estudantes, onde quase todos possuem aparelhos de mídia, principalmente aparelhos celulares digitais (smatphones).

Então, diante da quase universalidade no acesso a aparelhos de mídia e à internet e da necessidade de novos recursos educacionais, decidimos criar uma programação digitalizada de ensino sobre a área da Física Termodinâmica e suas aplicações, com o título: O Ensino da Termodinâmica sob a Perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e da Interdisciplinaridade dela decorrente. Estão

incorporados nesse trabalho recursos escritos, falados, animações em aulas de professor, objetos de simulação virtuais, escritos temáticos com ilustrações digitais, entre outros recursos digitais.

O ensino CTS propõe uma educação de aspecto humanista, interdisciplinar e contextualizada, que possibilite aos estudantes interrelacionar o conhecimento científico e tecnológico na sociedade para compreender o mundo, dando sentido ao que é questionado, ou seja, buscando o ensino de ciências baseado em temas que possuam problemas reais e atuais através de conceitos de ciência e tecnologia que sejam capazes de explicar os estudos em questão de maneira que possa explicar suas implicações sociais. Na perspectiva CTS, o professor é um co-protagonista que aponta caminhos e o estudante deve também ser necessariamente protagonista neste processo de construção do conhecimento.

Uma teoria da psicologia educacional muito importante para o aprendizado através das perspectivas CTS é a da Aprendizagem Significativa. Essa teoria, proposta por David Ausubel (1918 – 2008), leva em conta em conta a história do aluno e a proposição de situações que favoreçam a aprendizagem. Como princípio, a aprendizagem significativa ocorre a partir do que o aluno já sabe. A principal ideia desta teoria é que um novo conhecimento só irá adquirir algum significado quando interagir com os conhecimentos já estabelecidos na mente do aprendiz (os subsunções).

Nesta perspectiva, o produto educacional visa trabalhar os conteúdos da termodinâmica através de uma programação digitalizada de ensino no formato pdf e contando com diversos recursos, os quais já foram descritos anteriormente, que abordam o conteúdo estudado e suas aplicações tecnológicas e interdisciplinaridades.

A aplicação do produto educacional foi realizada na Escola Estadual Moreira e Silva e dividida em sete etapas, com duração de duas aulas de 60 minutos cada. Os capítulos 1, 3 e 4 nos 3ºs anos A, F e B respectivamente, já os capítulos 2 e 5 foram aplicados no 3º ano D e os capítulos 5 e 6 no 3º ano E.

Ao longo da aplicação do produto, utilizamos três momentos pedagógicos distintos:

No primeiro momento lançamos as problematizações, ou seja, propusemos situações-problema relacionadas ao conteúdo a ser estudado. A partir da mediação e do estímulo do professor, os alunos passaram a expor suas opiniões sobre o tema e o professor diagnosticou os seus conhecimentos prévios.

No segundo momento, passamos a mediar os conteúdos relativos às problematizações através de alguns recursos como aula expositiva, leitura do livro digital, realização de experimentos e simulações virtuais propostos e acesso a vídeos, home pages e artigos contidos nos hiperlinks.

Na terceira etapa, retomamos as situações-problema iniciais e verificamos o que os alunos conseguiram aprender através da interpretação e resolução dessas problematizações.

1.1Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um produto educacional, que é uma programação digitalizada de ensino, visando atualizar em recursos e metodologias o trabalho do professor em sala de aula e visando a melhoria do processo ensino-aprendizagem.

1.1.2 Objetivos específicos

Aplicar o produto em sala de aula com a finalidade de averiguar sua viabilidade como um recurso educacional didático pedagógico.

Promover a aprendizagem através da utilização da internet pelos alunos em sala de aula e nas atividades extraclasse.

Favorecer uma aprendizagem com atribuição de significados científicos.

Difundir com outros professores a necessidade de se trabalhar com recursos digitais de aprendizagem dentro de uma programação de ensino.

1.1.3 Justificativa

Mencionamos no início deste capítulo diversos fatores que levam o aluno a perder o interesse pelo estudo da Física, levando a casos extremos como reprovação e evasão escolar.

Pela nossa vivência em sala de aula de mais de 15 anos constatamos que se faz necessário uma mudança por parte dos professores em suas práticas pedagógicas, então propusemos a elaboração de um recurso digital de mídia baseado em uma perspectiva que busca modificar a forma que o ensino se dá atualmente e que ressalta o papel do aluno e do professor no processo ensino-aprendizagem.

Através do uso deste produto, explorando todas as suas potencialidades e o professor fazendo o papel de mediador é possível tornar as aulas bem mais atrativas e fazer com que o aprendizado ocorra de maneira significativa.

1.2 Organização da pesquisa

Nosso trabalho será apresentado em cinco capítulos. Neste capítulo mostramos como ocorre o ensino de Física na maior parte das escolas, os problemas resultantes deste tipo de ensino e a necessidade de mudança. Em seguida tratamos da criação do produto educacional falando do objetivo geral, objetivos específicos e a justificativa, além de nortear como ocorreu a pesquisa.

No capítulo 2, denominado referencial teórico psicopedagógico, vamos apresentar os conceitos/definições da teoria da aprendizagem significativa, de ensino CTS, avaliação diagnóstica, zona de desenvolvimento proximal e mídias digitais de aprendizagem.

No capítulo 3, denominado Fundamentos da termodinâmica: dos princípios à sua natureza estatística, iremos realizar uma abordagem desde os conceitos elementares até a sua natureza probabilística.

No capítulo 4, denominado de aplicação e análise dos resultados, iremos relatar todas as etapas da aplicação do produto educacional e os resultados obtidos com a finalidade de averiguar a potencialidade e viabilidade do mesmo.

No capítulo 5, realizamos as considerações finais, recapitulando tudo o que foi desenvolvido ao longo deste trabalho de pesquisa.

Capítulo 2

Referencial teórico psicopedagógico

2.1 Aprendizagem Significativa

A Teoria da Aprendizagem Significativa foi proposta pelo médico psiquiatra norte-americano David Ausubel (1918 – 2008) em 1963. Ausubel dedicou sua carreira acadêmica ao estudo da psicologia educacional e suas ideias cognitivistas se opunham às ideias behavioristas que predominavam na época. Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1980), aprender significativamente é ampliar e reconfigurar ideias já existentes na estrutura mental e com isso ser capaz de relacionar e acessar novos conteúdos.

Essa teoria leva em conta a história do aluno e ressalta o papel dos docentes na proposição de situações que favoreçam a aprendizagem, atuando como um mediador no processo de ensino aprendizagem. Ornellas, Cabral e Moreira (2012), afirmam que a aprendizagem significativa crítica é capaz de desenvolver no aprendiz uma capacidade de perceber o relativismo das respostas e das verdades nas questões científico-tecnológicas que lhe cerca.

A aprendizagem significativa ocorre a partir do que o aluno já sabe, ou seja, ele possui em sua estrutura cognitiva um conhecimento relevante, que Ausubel chamou de subsunçor. A ideia principal dessa teoria é que um novo conhecimento só irá adquirir algum significado quando interagir com os conhecimentos já estabelecidos na mente do aprendiz (os subsunçores).

“Em termos simples, subsunçor é o nome que se dá a um conhecimento específico, existente na estrutura de conhecimento do indivíduo, que permite dar significado a um novo conhecimento que lhe é apresentado ou por ele descoberto. Tanto por recepção como por descobrimento, a atribuição de significados a novos conhecimentos depende da existência de conhecimentos prévios especificamente relevantes e da interação com eles”. (Moreira, M.A. 2010, p. 2).

O conhecimento prévio é, segundo Ausubel, o fator primordial para que ocorra a aprendizagem significativa de novos conhecimentos, pois a partir das sucessivas interações com uma nova informação ele se modifica adquirindo novos significados.

Para que a aprendizagem significativa ocorra, é necessário que ocorram duas condições: o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo e a existência de predisposição do aluno para aprender. Segundo Moreira (2010), o material potencialmente significativo é aquele capaz de dialogar, de maneira apropriada e relevante, com o conhecimento prévio do estudante.

“É indispensável uma análise prévia daquilo que vai ensinar. Nem tudo que está nos programas e nos livros e outros materiais educativos do currículo é importante. Além disso, a ordem em que os principais conceitos e ideias da matéria de ensino aparecem nos materiais educativos e nos programas muitas vezes não é a mais adequada para facilitar a interação com o conhecimento prévio do aluno. A análise crítica da matéria de ensino deve ser feita pensando no aprendiz. De nada adianta o conteúdo ter uma boa organização lógica, cronológica ou epistemológica, e não ser psicologicamente aprendível”. (Moreira, M.A., Caballero, M.C. e Rodriguez, M.L., 1997, p. 36).

Os conteúdos curriculares não devem ser dissociados da realidade cotidiana e social do aluno e o professor deve atuar como um mediador do processo ensino-aprendizagem criando situações que favoreçam esse processo.

“O que precisa ser garantido pelo professor, independentemente do tipo de atividade oferecido, é que os estudantes lidem com situações-problemas diversas, que os provoquem a mobilizar seus conhecimentos para resolver uma tarefa”. (Brasil, 2017).

O material potencialmente significativo e a mediação do professor são de fundamental importância para que ocorra a correta aprendizagem significativa, porém de nada adiantará se os alunos não tiverem a predisposição de interagir com os novos conhecimentos atribuindo-lhes novos significados.

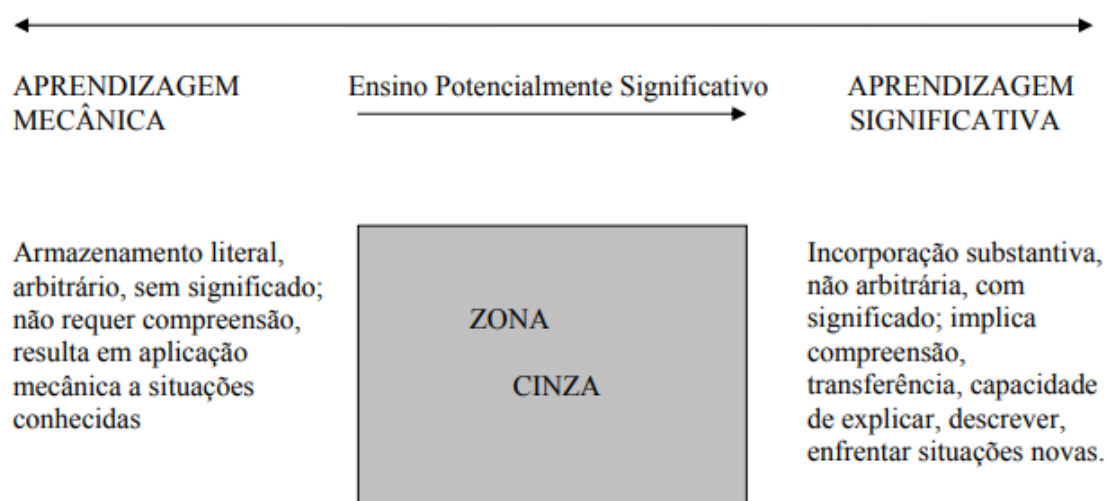
Apesar de muito se falar em ensino voltado para o aluno, a aprendizagem predominante em sala de aula é a aprendizagem mecânica, na qual ocorre apenas a memorização sem atribuição de significados, e que em um curto período é esquecida. Segundo Ausubel et al, (1980):

“Só se aprende atribuindo significados científicos a partir de uma base de elementos necessários para compreensão de uma nova

informação pelo aprendiz. Quando não existem esses elementos que vão servir como ancoradouros na mente do aprendiz a aprendizagem que pode ocorrer é de natureza mecânica, na qual se mentaliza um conhecimento, uma fórmula, apenas para sua retransmissão sem questionamentos sobre seu conteúdo e sem atribuição de significados aos conceitos científicos envolvidos”.

Apesar de a aprendizagem mecânica ser de rápido esquecimento e não atribuir significado àquilo que é estudado, ela não é uma forma contrária da aprendizagem significativa. Para Ausubel, elas são formas contínuas de aprendizagem e existe uma zona intermediária entre elas nesse contínuo.

Figura 1: Uma visão esquemática do contínuo aprendizagem significativa – aprendizagem mecânica.



Fonte: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>. Acesso em: 18/12/2019.

Moreira (2010), afirma que na prática a maior parte da aprendizagem ocorre na zona intermediária desse contínuo e defende que um ensino potencialmente significativo possa facilitar ‘a caminhada do aluno nessa zona cinza’.

Na aprendizagem mecânica tem-se que o esquecimento é quase que instantâneo e total, na aprendizagem significativa haverá um esquecimento sim, porém será residual que ficará “guardado” dentro do subsunçor e que pode ser reaprendido em pouco tempo sem maiores dificuldades.

2.2 Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP)

O conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) foi elaborado pelo psicólogo bielorrusso Lev Vygotsky (1896 - 1934) e tem fundamental importância no processo de aprendizagem e desenvolvimento do indivíduo. Para Vygotsky, no processo de aprendizagem existem o conhecimento real e o conhecimento potencial. O conhecimento real é aquele que já está consolidado na estrutura cognitiva e é a base para o aluno aprender, já o conhecimento potencial é aquele que o indivíduo não sabe, só que ele é capaz de aprender com a interação e a mediação de outro indivíduo mais experiente a partir do que já se sabe.

Na teoria sócio-interacionista de Vygotsky, a aprendizagem dos indivíduos ocorre através da interação com outros indivíduos mais experientes proporcionando uma aprendizagem mais significativa do conteúdo. De acordo com Souza e Rosso (2001), a aprendizagem sob a perspectiva de Vygotsky ocorre da seguinte maneira:

Orientado e regulado pelo outro, o sujeito investe esforços na tarefa de entender e dar sentido a objetos e fatos da sua realidade e, a partir desta dinâmica, passa a se auto-regular, a ter domínio sobre suas ações e escolhas. O papel de interação e de mediação assume, nesta perspectiva, papel e função primordial no desenvolvimento dos indivíduos e na organização da vida em sociedade (SOUZA E ROSSO, 2011, P. 5896).

Entre o conhecimento real e o conhecimento potencial existe uma “distância” e, para que o indivíduo aprenda, deve haver uma interação nessa região entre o conhecimento real do aprendiz com o indivíduo mais experiente (professor) e será alcançado o conhecimento potencial. Essa região é denominada de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) e é nela que ocorre o aprendizado (conhecimento potencial) devido à interação entre o conhecimento real e o sujeito mais experiente através de mediações.

Figura 2: Esquema da Zona de Desenvolvimento Proximal.



Fonte: <https://www.dicaseducacaoofisica.info/abordagem-construtivista-na-educacao-fisica/>. Acesso: 15 de jan. 2020.

O professor ao estabelecer seus objetivos com relação aos conteúdos, ele está traçando os conhecimentos potenciais que os alunos podem alcançar. É importante salientar que o conhecimento real ao tornar potencial (ocorrência da aprendizagem), volta a ser um conhecimento real e irão surgir novos conhecimentos potenciais.

2.3 O Ensino Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS)

O ensino das disciplinas científicas (Física, Química, Biologia e Matemática) é marcado por abordagens que beneficiam os conteúdos específicos de cada disciplina, como se a ciência não tivesse nenhuma ligação com a realidade, com os temas sociais e com o cotidiano. A Física, a Química, a Biologia e a Matemática são ciências que têm em comum a investigação da natureza e dos desenvolvimentos tecnológicos.

O ensino dessas disciplinas em sala de aula é determinado pela memorização de fórmulas e terminologias, falta de interdisciplinaridade e de contextualização. Essas características resultam na construção de uma visão ingênua, idealizada e sem saber a importância do meio científico na sociedade. Faz-se necessário encontrar meios que permitam modificar o rumo do ensino de ciências nas escolas.

Segundo a pesquisadora portuguesa Santos (1999):

Tudo se passa como se fazer ciência fosse algo desconectado da realidade, como se o saber científico não tivesse raízes em meios sociais e ideológicos, como se a produção científica nunca respondesse a motivações sócio-políticas e/ou instrumentais, como se não contemplasse temas da atualidade, como se não tivesse

utilidade social ou essa utilidade se restringisse a uma porta de acesso a estudos posteriores.

Para Leal e Selles (1997), a construção de uma visão ingênua de uma ciência é desinteressante e consequência do ensino de uma ciência idealizada e distante da realidade científica que não mostra os antagonismos, conflitos e lutas entre os grupos responsáveis pelo progresso científico.

O baixo nível de conhecimento científico das populações tem gerado uma série de críticas ao ensino de ciências por parte de educadores e formadores de opinião pública. Uma maneira de minimizar essa defasagem é orientar os currículos de ciência segundo perspectivas CTS de aspectos humanistas ligados a contextos reais.

O movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) teve origem nos países industrialmente mais desenvolvidos como os Estados Unidos e os da Europa na década de 1970 a partir das preocupações de educadores liberais, humanistas e de esquerda com problemas relacionados aos impactos causados pela ciência e pela tecnologia na sociedade, tais como poluição, desmatamento, esgotamento de recursos energéticos, iminência de guerra nuclear, etc.

O ensino CTS é definido por vários autores, dentre eles, Martins (2002) que afirma que é um movimento voltado para o ensino de ciências que se enquadra em uma filosofia que defende tal ensino em contextos da vida real, onde emergem ligações à tecnologia, com implicações sociais.

Schenetzler e Santos (1997) afirmam que a característica básica do ensino CTS é a colocação dos problemas sociais nos pontos de partida e de chegada das sequências de ensino. Segundo Caamaño (1995), os principais objetivos do movimento são: a compreensão da natureza e do trabalho científico; aplicações éticas e sociais no uso da ciência e da tecnologia e relacionamento da ciência com as aplicações tecnológicas e fenômenos do cotidiano.

Pogge e Yager (1987) defendem que o ensino de ciências deve preparar os cidadãos para tratar com responsabilidade as questões sociais relativas à ciência. Já Santos (1999) define como objetivo central do movimento a preocupação com a formação da cidadania através da articulação da ciência, tecnologia e sociedade, de modo que a ciência seja tratada como um processo social e histórico.

Com relação aos objetivos da educação escolar, o movimento CTS destaca a escola como meio para a formação para a cidadania. As principais preocupações são a

discussão do impacto social da ciência e da tecnologia; a neutralidade da ciência e tecnologia; e debates sobre qual é a natureza da ciência e do trabalho do cientista.

Existe uma preocupação com os conteúdos, Santos (1999) critica as abordagens de ensino de ciências centradas e denomina esses conteúdos desvinculados da realidade de conteúdos canônicos, propondo uma reforma curricular que incorpore conteúdos contextualizados.

Teixeira (2003), afirma que embora tenha havido uma transformação no ensino de ciências para atender as necessidades educacionais, o ensino fica demarcado por abordagens internalistas que privilegiam profundamente os conteúdos específicos de cada disciplina, desconsiderando os acontecimentos presentes na sociedade.

O atual ensino de ciências não acompanha a evolução científico-tecnológica e nem coloca suas implicações na vida das pessoas nas relações sociais e ambientais. É necessário que o aluno desenvolva sua cidadania sendo alfabetizado científica e tecnologicamente. Essa alfabetização visa criar no aluno uma postura crítica e autônoma sobre as decisões de sua vida na sociedade contemporânea em busca de uma melhor qualidade de vida.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) contemplam relações entre ciência, tecnologia e sociedade, no qual destacam a necessidade de falar sobre tecnologia nas aulas de ciências, suas aplicações, benefícios e consequências sociais. Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEMs) contemplam também a interdisciplinaridade e a contextualização como eixos centrais das atividades trabalhadas nas diferentes disciplinas.

Em termos gerais, a contextualização no ensino de Ciência abarca competências de inserção da Ciência e de suas tecnologias em um processo histórico, social e cultural e o reconhecimento e discussão de aspectos práticos e éticos da Ciência no mundo contemporâneo (BRASIL, 2002, p. 31).

Nessa perspectiva, uma série de orientações pode ser abordada no currículo de ensino de ciências:

- Ciência e Tecnologia na história: inclui a discussão da influência da ciência e da tecnologia na história da humanidade e os efeitos dos acontecimentos históricos na sua evolução;

- Ciência e Tecnologia na cultura: discussão sobre os aspectos estéticos, criativos e culturais da atividade científica e os efeitos do desenvolvimento científico sobre a literatura e as artes;

- Ciência e Tecnologia na sociedade: análise das relações da sociedade com os avanços da ciência no mundo contemporâneo, seu papel na vida humana, seus impactos, e suas contribuições para o desenvolvimento econômico e industrial.

Um exemplo é que em determinados períodos e circunstâncias, o conhecimento científico-tecnológico foi fator determinante para a hegemonia econômica de determinadas nações e que ambos estão interligados. Como por exemplo: o conhecimento de astronomia nas grandes navegações; as máquinas térmicas na revolução industrial inglesa; a física nuclear na segunda guerra mundial e na guerra “fria”; os semicondutores na era da informática. Ao fazer essa articulação, os estudantes têm a oportunidade de compreender e questionar processos sociais, econômicos e culturais passados e contemporâneos, e também associar as ciências da natureza a outras dimensões da vida humana.

Ao analisar as orientações sugeridas pelos PCNEMs observa-se uma enorme similaridade com as propostas para o ensino CTS, tanto nos objetivos manifestados quanto nos aspectos epistemológicos de ambos. Dentre esses principais pontos de convergência estão:

- O reconhecimento das transformações sociais na vida das pessoas geradas pelos novos conhecimentos científicos e tecnológicos;

- Defesa de uma ciência acessível a todos e de uma alfabetização científica sob enfoque social e um ensino voltado para a cidadania;

- Consideração das perspectivas profissionais, sociais e pessoais dos estudantes para a formação de valores e normas do comportamento;

- Comprometimento de professores e alunos na aprendizagem;

- Reconhecimento dos aspectos práticos e éticos da ciência no mundo contemporâneo se opondo à visão essencialista e triunfalista da ciência;

- Presença de interdisciplinaridade, em que os conhecimentos não se restringem a tópicos disciplinares;

- Acessibilidade da ciência a todos e seu aprendizado com questões do cotidiano;

- Consideração da escola como um lugar capaz de reunir teoria e prática, onde possam acontecer ações, discussões e reflexões.

Observa-se que as propostas do movimento CTS estão presentes nos documentos oficiais do governo, porém o que se observa na prática é um ensino de ciência feito baseado em conceitos por conteúdos impostos.

O ensino CTS prioriza o desenvolvimento da cidadania através de debates e discussões nas aulas de ciências sobre temas contemporâneos e cotidianos. O seu conteúdo está centrado em temas sociais e busca fazer com que o aluno consiga desenvolver uma visão crítica do mundo em que está inserido, possibilitando o senso de responsabilidade para a tomada de decisões em problemas reais de modo que possa dar maior significado ao que é aprendido.

Um dos objetivos propostos pelos PCNs com relação ao estudo de situações problema relativos a contextos reais é que através dele possa trazer maior significado à aprendizagem e ao desenvolvimento da tecnologia.

Santos e Mortimer (2002) destacam que a escolha de um tema sob perspectiva CTS deve possibilitar a exploração de suas dimensões sociais, para não correr o risco de promover uma falsa ilusão de que o aluno compreende o que é ciência e tecnologia.

A pouca cultura científica por parte dos professores de ciências na sua formação inicial dificulta a sua adesão ao ensino CTS, devido à falta de disciplinas que permitam compreender como diferentes saberes podem contribuir para a interpretação de temas de relevância social.

Segundo Rosa e Rosa (2005):

O ensino de física, em particular, não consegue atingir os níveis desejados, sendo praticado, na sua grande maioria, por professores que desconhecem as relações entre Sociedade, Tecnologia e Ciência, mantendo-se arraigados aos processos de ensino voltado à informação, sem qualquer vínculo com as concepções modernas de educação.

Para Auler (1998), existe uma incompatibilidade entre a perspectiva interdisciplinar proposta pelo movimento CTS e o modelo de formação disciplinar dos professores.

A implementação do ensino CTS requer investimentos na formação dos professores, nos recursos didáticos e nas políticas educativas. Faz-se necessário a realização de reformas curriculares e de programas para que se possam modificar a educação em ciências, tanto nos seus objetivos como na sua metodologia de ensino.

Faz-se necessário superar metodologias que se baseiam apenas em aulas expositivas, através do processo de transmissão-recepção de informações. Dentre as diversas atividades didáticas que podem ser aplicadas no ensino CTS destacam-se: experimentos laboratoriais, simulações virtuais de aprendizagem, soluções de problemas cotidianos, demonstrações, palestras, visitas técnicas e a museus de ciências, etc.

Teixeira (2003) defende uma mudança na visão na qual o professor contém a posse absoluta do conhecimento e os alunos adotam uma postura passiva. Dessa forma, busca manter um equilíbrio nas ações de docentes e discentes sem que o papel do professor seja menos decisivo no processo de ensino-aprendizagem de forma eficiente. Existem várias semelhanças entre o ensino CTS e a corrente pedagógica brasileira denominada de histórico-crítica ou crítico-social dos conteúdos.

A tendência histórico-crítica, segundo Libâneo (1994), acentua a primazia dos conteúdos no seu confronto com as realidades sociais. Nela, a atuação da escola consiste na preparação para o mundo adulto e suas contradições, fornecendo-lhe um instrumental, por meio de aquisição de conteúdos e da socialização, para uma participação organizada e ativa na democratização da sociedade.

O curso de formação dos docentes deve aliar formação política e formação técnica, o que não ocorre no ensino atual. Predomina o ensino de conteúdos específicos, seguido pelos conteúdos de formação psico-sócio-pedagógica, sem que haja uma formação política.

É necessário modificar as aulas que transmitem conhecimentos fragmentados, abstratos e que não abordam problemas sociais. Para isso deve-se investir na formação inicial e continuada dos docentes principalmente em disciplinas psico-teórico-pedagógicas e políticas, de modo que o professor possa ver a escola como o instrumento de transformação da realidade de maneira democrática, justa e sem opressão. Luz (2008) salienta que:

A Ciência e a Tecnologia aumentam sua participação no cotidiano da população em um ritmo cada vez mais veloz, principalmente no desenvolvimento científico e na fabricação de produtos tecnológicos. Neste sentido, seus produtos, ou seja, novas informações, novos aparatos ou sistemas, estão fazendo parte da sociedade numa rapidez cada vez maior. A sociedade, por sua vez, vem influenciando as pesquisas científicas e tecnológicas de uma forma marcante, por meio de decisões políticas, pelo incentivo ao

consumo ou necessidade de novas descobertas, principalmente na área de saúde (LUZ, 2008, p. 42).

Para que o ensino CTS seja adotado, faz-se necessário a modificação do perfil pedagógico do professor, de modo que ele assuma o papel de organizador dos trabalhos, administrando o tempo, recursos e a classe. Passando a ser um mediador do processo de ensino-aprendizagem contando com a participação dos educandos. Luz (2008) defende que:

A viabilidade de usar estratégias de ensino que contemplem a investigação através de problemas mais abertos, enfatizando aspectos que potencializem a participação dos estudantes visando estimular, negociar e buscar consenso para resolver problemas em grupo tem como objetivo oportunizar ao estudante desenvolver seu nível de consciência a ponto de propiciar a tomada de decisões frente às situações específicas que envolvem conhecimentos de Física e Tecnologia (LUZ, 2008, p. 35).

Muitos alunos que nunca tiveram interesse no ensino de Física passam a demonstrar estímulo no seu aprendizado a partir da construção de uma imagem real e contextualizada da ciência através da exploração de suas potencialidades em sala de aula. O enfoque CTS no ensino de Física permite ao estudante desenvolver competências na relação da Ciência e Tecnologia com aspectos sociais, ambientais e econômicos através da contextualização e da interdisciplinaridade.

2.4 Programação Digitalizada de Ensino

As mídias digitais (computador, tablet, smartphone, pen drive, nuvem,) estão cada dia mais presentes no cotidiano das pessoas; e em contínuo processo de aprimoramento, produzindo mudanças significativas nos hábitos de vida da população em geral. Esses recursos são denominados de Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC).

No sistema de educação brasileiro predomina o ensino baseado em aulas expositivas com o uso do quadro, nas quais o professor transmite o conteúdo e os alunos recebem as informações. Apesar do avanço do uso dessas mídias pela sociedade, esses recursos não são devidamente aproveitados no processo de ensino-aprendizagem, chegando-se ao ponto de até ser proibido seu uso em sala de aula, pois

são indevidamente utilizados para acessar redes sociais e aplicativos de mensagens, fazendo com que o aluno não preste atenção naquilo que é ensinado em aula. Observa-se que a maior parte dos alunos possui algum aparelho de mídia, principalmente smartphones, e sua utilização pode ser incorporada no processo de ensino a fim de potencializar a aprendizagem. De acordo com Duarte (2015):

Embora melhorar o ensino de Física não seja uma tarefa simples e fácil, acreditamos que o uso de novas ferramentas tecnológicas em ambientes de ensino pode auxiliar muito o desenvolvimento dos alunos, pois estes praticamente já vivem imersos no mundo digital. Mesmo porque muitos alunos não se adaptam ao ensino tradicional, cujos professores ficam presos ao uso da oralidade e da escrita no quadro durante toda aula. No entanto, estes alunos têm enorme interesse por aprender as inovações ligadas à tecnologia (DUARTE, 2015, p.2).

Um exemplo de aplicação das TIC é o livro digital, também denominado de e-book, que é um arquivo digital no qual além dos conteúdos, podem estar presentes recursos como figuras, imagens, animações, links de sites que contêm vídeos, experimentações, simulações virtuais de aprendizagem e áudios relacionados aos conteúdos estudados.

Diante da diversidade de recursos que um e-book pode reunir, seu uso é capaz de estimular o aluno a despertar o interesse pelo conteúdo estudado, fazendo com que seja um sujeito ativo na construção do seu conhecimento contando com a mediação do professor. O aluno como cidadão já está inserido no mundo da tecnologia tendo seu pleno domínio, então o uso desse recurso no processo educacional aliado a algumas psicologias educacionais existentes, como a aprendizagem significativa, podem produzir excelentes resultados.

Se faz necessário os professores e as escolas tentarem implementar metodologias ativas de ensino que abordem conteúdos que se relacionem com o cotidiano dos aprendizes, que sejam potencialmente significativos e que o aluno seja o protagonista de sua aprendizagem, e as mídias digitais são de fundamental importância nesse processo.

A implementação das TICs é proposta pela Base Nacional Comum Curricular:

Em resumo, incorporar as TDICs nas práticas pedagógicas e no currículo como objeto de aprendizagem requer atenção especial e não pode mais ser um fator negligenciado nas escolas. É preciso repensar os projetos pedagógicos com o olhar de utilização das

tecnologias e recursos digitais tanto como meio, ou seja, como apoio e suporte à implementação de metodologias ativas e à promoção de aprendizagens significativas, quanto como um fim, promovendo a democratização ao acesso e incluindo os estudantes no mundo digital. Para isso, é preciso fundamentalmente revisitar a proposta pedagógica da escola e investir na formação continuada de professores. (BNCC, 2018)

O uso de livros digitais no ensino de Física já é uma realidade, sendo inclusive objeto de dissertação, como a de Juliana Pereira Duarte (2018), com o tema: Desenvolvimento e Aplicação de um e-book no Ensino de Física. Nesse trabalho, a autora elaborou um e-book sobre cinemática escalar e aplicou junto aos seus alunos. Em seus relatos, destaca que o uso desse recurso como ferramenta mediadora de conhecimentos possibilita interações aluno-aluno, aluno-professor, aluno-cotidiano, sendo essencial sua abordagem em sala de aula, e que a aprendizagem ocorreu de maneira bem mais rápida do que através das aulas expositivas e os alunos consideraram bem mais interessante do que as aulas com que estavam acostumados.

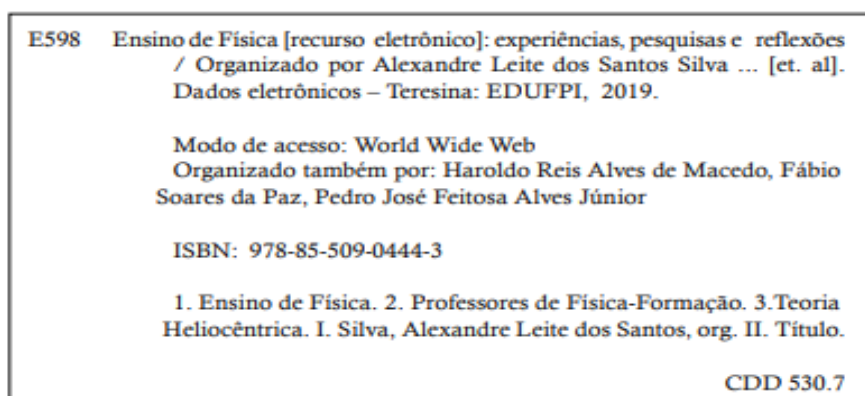
Hoje é possível encontrar diversos e-books de Física disponíveis na internet como, por exemplo, o e-book Ensino de Física: Experiências, Pesquisas e Reflexões de autoria de Alexandre Leite dos Santos Silva et al, 2019.

Figura 3 – Capa de um e-book de Física.



Fonte: Silva et al. (2019).

Figura 4 – Ficha catalográfica de um e-book de Física.



Fonte: Silva et al. (2019).

É importante observar na ficha catalográfica de um e-book que o livro trata-se de um recurso eletrônico e que o acesso a ele se dá através do modo World Wild Web, ou seja, através de acesso à internet.

2.5 Avaliação Diagnóstica

A avaliação diagnóstica é uma ação que visa diagnosticar os alunos no início de um processo de aprendizagem para identificar a realidade, os conhecimentos prévios e as dificuldades de aprendizagem de cada um. A partir desse levantamento, é possível que o docente organize suas futuras ações pedagógicas no processo de ensino e aprendizagem.

A nova Base Nacional Comum Curricular, proposta em 2017, defende que a verificação do que os estudantes sabem é condição fundamental para favorecer a escolha de estratégias didáticas que permitam ao professor provocar o estudante na construção de conhecimentos novos.

O que se observa no cotidiano das escolas é que as avaliações são predominantemente baseadas em notas, na qual os aspectos quantitativos prevalecem sobre os aspectos qualitativos. Dessa maneira, contraria o que preconiza a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Básica.

Existem diversas maneiras que o docente pode utilizar para aplicar a avaliação diagnóstica junto aos seus alunos, sempre buscando o protagonismo de cada um através do debate de ideias e fazendo com que se sintam estimulados e agentes ativos de suas aprendizagens. São exemplos de atividades: debates em grupo,

experimentações, estudo de caso, uso de tecnologias como celular, simulações virtuais de aprendizagem, textos e vídeos disponíveis na web.

A base nacional afirma que o professor deve garantir, independentemente do tipo de atividade oferecido, que os estudantes lidem com situações-problema diversas, que os provoquem a mobilizar seus conhecimentos para resolver uma tarefa.

A partir do momento em que o professor tem o diagnóstico de cada aluno da turma, ele passa a elaborar o seu plano de ação pedagógico, criando situações que visem a facilitar a construção do conhecimento e atribuição de significados àquilo que foi estudado, atuando como um mediador nesse processo.

Capítulo 3

Fundamentos da termodinâmica: dos princípios à sua natureza estatística

3.1 As leis da termodinâmica

A termodinâmica é a ciência que estuda as transferências de energia através das relações entre calor, trabalho e energia interna. Sendo regida quatro leis que regulam a natureza dessa ciência e efetua um relacionamento com outras áreas do conhecimento físico e com outras ciências como a Química e a Biologia.

- **Lei zero:** Regula o conceito de temperatura ao colocar que quando dois corpos distintos estão separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro, eles também estão em equilíbrio térmico entre si.

- **1ª lei:** É a lei de conservação da energia. Que relaciona a variação de energia interna do sistema do sistema com o calor e o trabalho. Expressando que, a variação de energia interna de um sistema é igual à diferença entre a quantidade de calor trocada e o trabalho termodinâmico realizado no processo.

- **2ª lei:** É impossível construir um dispositivo que, operando em ciclos termodinâmicos, transforme totalmente todo o calor recebido em trabalho. Assim, parte do calor precisa sempre ser rejeitado à realização de trabalho. Para isso, toda máquina térmica precisa atuar entre dois reservatórios de calor em diferentes temperaturas. A 2ª lei pode ser expressa conceitualmente que o calor flui espontaneamente sempre de um corpo de temperatura maior para um outro de temperatura menor quando em contato térmico.

- **3ª lei:** Regula que não podemos congelar um sistema termodinâmico no zero absoluto (o zero da escala Kelvin). Podemos também expressar que a entropia de um sistema tende a zero quando sua temperatura absoluta tender a zero.

3.2 Conceitos básicos: calor, temperatura, equilíbrio térmico, lei zero da termodinâmica e escalas termométricas.

No cotidiano é bem comum o uso de das palavras calor e temperatura e, na maioria das vezes, são empregadas de formas diferentes dos seus significados científicos, chegando até a serem confundidas e/ou consideradas sinônimas.

A matéria é constituída de átomos e moléculas que estão em constante movimento, ou seja, possuem uma energia cinética. Essa energia cinética associada ao movimento dessas partículas é denominada energia térmica. Pode-se definir temperatura como sendo a grandeza física que indica o grau de agitação das partículas de um corpo ou sistema. A temperatura é uma grandeza fundamental, ou seja, não é uma grandeza derivada de outras grandezas. Sua unidade de medida no Sistema Internacional (SI) é o Kelvin, proveniente da escala absoluta Kelvin.

O calor é uma forma de energia e os seus fenômenos podem ser analisados sob as perspectivas macroscópica e microscópica, que são complementares, ou seja, o que se observa macroscopicamente se justifica microscopicamente. A análise macroscópica dá-se pelos sentidos e analisa variáveis como volume e temperatura, um dos exemplos são as sensações térmicas que são dadas pelos sentidos.

A energia térmica pode ser transferida de um corpo (sistema) para outro, desde que exista uma diferença de temperatura entre eles. Assim, pode-se definir calor como sendo a energia em movimento entre dois ou mais sistemas devido a uma diferença de temperatura. Halliday, Resnick e Walker (2007, p. 190) definem calor como sendo a energia transferida de um sistema para o ambiente ou vice-versa devido a uma diferença de temperatura.

Na natureza o calor passa espontaneamente do sistema de maior temperatura para um sistema de menor temperatura até que suas temperaturas se igualem, cessando-se a transferência de energia e atingindo-se o equilíbrio térmico.

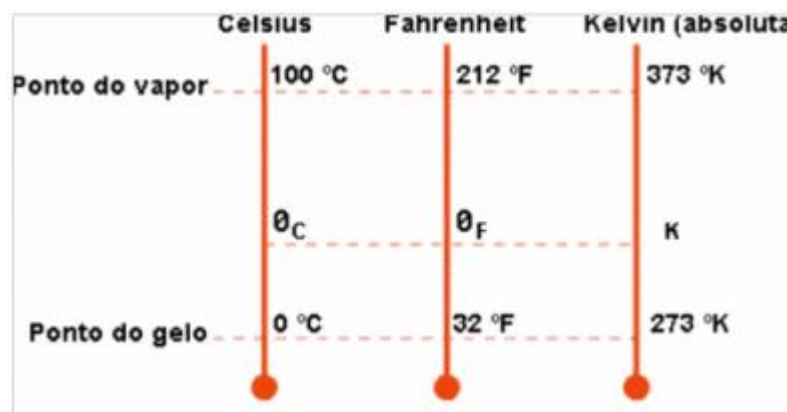
É importante lembrar que a energia também pode passar de um sistema para outro através de trabalho mecânico realizado por uma força.

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2007, p. 184), se dois corpos A e B estão separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro corpo T, consequentemente A e B estão em equilíbrio térmico entre si. Esse é o enunciado da lei zero da termodinâmica.

As três escalas termométricas mais utilizadas mundialmente são as escalas Kelvin, Celsius e Fahrenheit. A escala Kelvin é mais utilizada em laboratórios e procedimentos científicos; a escala Fahrenheit é utilizada predominantemente nos países de língua inglesa e, a escala Celsius é utilizada nas demais partes do mundo. A relação entre essas três escalas podem ser facilmente obtida, tomando-se como referência as temperaturas de congelamento e ebulição da água.

A temperatura de zero kelvin é a menor temperatura existente na natureza e, na prática esse valor é inatingível, pois contraria a terceira lei da termodinâmica que diz que se a entropia tende a zero a temperatura tende a zero, daí esse resultado só é atingível no caso de um processo reversível, o que não se verifica em nenhum processo natural.

Figura 5: Relação entre as escalas Celsius, Kelvin e Fahrenheit.



Fonte: <https://www.infoenem.com.br/calor-e-temperatura-conheca-as-escalas-termometricas/>.
Acesso em: 15/04/19

$$\frac{T_C - 0}{100 - 0} = \frac{T_F - 32}{212 - 32} = \frac{T_K - 273}{373 - 273} \rightarrow \frac{T_C}{100} = \frac{T_F - 32}{180} = \frac{T_K - 273}{100}$$

Dividindo todos os denominadores por 20, obtém-se:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_K - 273}{5}$$

Percebe-se que as variações de temperatura nas escalas Celsius e Kelvin são iguais.

3.3 Dilatação térmica

A temperatura é a grandeza física que mede o grau de agitação das partículas de um corpo. O aumento de temperatura é consequência do aumento da energia cinética dessas partículas que se afastam uma das outras atingindo um novo ponto de equilíbrio com as forças intermoleculares que mantêm essas partículas unidas em um corpo. Esse afastamento provoca o aumento do volume do corpo, a chamada expansão térmica. Quando ocorre a diminuição da temperatura de um corpo, consequentemente há uma diminuição da agitação das moléculas e, ocorre uma aproximação delas, ocasionando uma diminuição de seu volume, a chamada contração térmica.

Considera-se para fins de estudo que a dilatação térmica indica tanto a expansão quanto a contração térmica.

A dilatação térmica é de fundamental importância em situações cotidianas, principalmente nas obras de engenharia e, seus efeitos não podem ser desconsiderados em uma construção. Por exemplo, os espaços deixados entre as placas consecutivas em uma ponte; o espaço entre as placas cerâmicas; o espaço entre os trilhos consecutivos de uma linha férrea e; os fios de rede elétrica que são colocados com certa folga entre postes consecutivos.

Na dilatação dos sólidos ocorre uma variação de volume (variação nas três dimensões), só que a depender da predominância de uma (s) sobre a (s) outra (s), podem ser classificadas em dilatação linear, dilatação superficial e dilatação volumétrica. O que mais influencia na dilatação de um corpo quando submetido a uma diferença de temperatura é o material de que ele é constituído. Os metais têm maior facilidade de se dilatar do que os não metais.

3.3.1 Dilatação linear

Na dilatação linear, a variação de comprimento predomina sobre as demais dimensões, por exemplo, os trilhos de trem e os fios de alta tensão são situações em que ocorrem este tipo de dilatação.

Quando a temperatura de uma barra metálica de comprimento L_0 sofre uma variação de temperatura ΔT , sua variação de comprimento (ΔL) será:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

α é uma constante de proporcionalidade chamada de coeficiente de dilatação linear.

O coeficiente de dilatação linear depende do(s) tipo(s) de substância(s) que constitui (em) o material. A sua unidade é o $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ou K^{-1}

Material	α ($10^{-6} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1}$)
Super Invar (Fe+Ni+Cr)	0,04
Vidro de quartzo	0,7
Invar (Fe+Ni)	0,9
Diamante	1,2
Vidro pirex	3,2
Tungstênio	4,5
Vidro comum	8,6
Platina	8,8
Ferro	11,8
Aço	12,0
Ouro	14,2
Cobre	16,5
Prata	18,9
Alumínio	23,1
Chumbo	28,9

Tabela 1: Coeficientes de dilatação linear de alguns materiais.

3.3.2 Dilatação superficial

Predomina a variação de duas dimensões, ou seja, ocorre uma variação de área. A dilatação de uma placa ou chapa são exemplos de dilatação superficial.

Quando a temperatura de uma chapa de área A_0 sofre uma variação de temperatura ΔT , sua dilatação superficial é dada por:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta T$$

O coeficiente β é denominado coeficiente de dilatação superficial e, $\beta = 2 \cdot \alpha$.

Figura 6: Junta de dilatação entre as placas de uma ponte.



Fonte: <http://www.uniontech.com.br/junta-dilatacao-pontes>. Acesso em 15/04/19.

Vale salientar que se uma chapa metálica que apresenta um furo tiver sua temperatura variada uniformemente, as dimensões desse furo (diâmetro, perímetro e área) dilatam de modo como se fossem do mesmo material que constitui a chapa.

3.3.3 Dilatação volumétrica

Na dilatação volumétrica ocorre a variação das três dimensões de um corpo. É importante lembrar que nos líquidos só ocorre a dilatação volumétrica.

Quando um sólido ou líquido de volume V_0 sofre uma variação de temperatura ΔT , sua dilatação volumétrica será:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

O coeficiente γ é denominado coeficiente de dilatação volumétrica e, $\gamma = 3 \cdot \alpha$.

Da mesma forma que um furo numa chapa se dilata como se fosse constituído do material da chapa, sólido oco se dilata como se fosse maciço. Por exemplo, o volume interno de uma panela varia de acordo com a variação de temperatura como se fosse completamente ocupada pelo material que constitui a panela.

3.3.4 Dilatação dos líquidos

Foi mostrado na subseção anterior que a dilatação de um líquido é semelhante à dilatação de um sólido: $\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$, só que os líquidos não possuem formato definido e, estão sempre contidos em recipientes sólidos, que por sua vez também sofrem dilatação, então a medida da dilatação do líquido é feita de maneira indireta.

Os líquidos se dilatam mais que os sólidos, daí um recipiente completamente cheio transbordará ao sofrer aquecimento. Esse volume transbordado não é a dilatação real do líquido e sim a dilatação aparente, pois também ocorre uma dilatação no recipiente que o contém. Sabendo-se a dilatação do frasco, que nada mais é do que o aumento do volume interno do líquido pode-se determinar a dilatação real do líquido. Assim, $\Delta V = \Delta V_{ap.} + \Delta V_{rec.}$.

Vale destacar que a dilatação aparente do líquido e a dilatação do recipiente são diretamente proporcionais ao volume inicial (V_0) e à variação de temperatura (ΔT), daí:

$$\Delta V_{ap.} = V_0 \cdot \gamma_{ap.} \cdot \Delta T \quad \Delta V_{rec.} = V_0 \cdot \gamma_{rec.} \cdot \Delta T$$

$\gamma_{ap.}$ e $\gamma_{rec.}$ são respectivamente os coeficientes de dilatação aparente do líquido e de dilatação volumétrica do recipiente. Já foi visto que $\Delta V = \Delta V_{ap.} + \Delta V_{rec.}$, então substituindo as equações anteriores, tem-se:

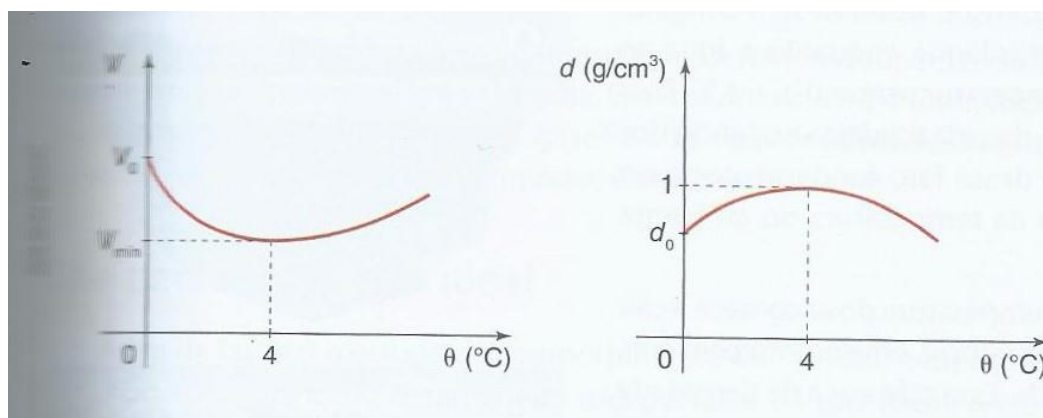
3.3.5 Anomalia da água

Foi estudado até aqui que os líquidos ao sofrerem aquecimento aumentam o seu volume e, ao serem resfriados diminuem o volume. Porém, no intervalo de 0 °C a 4 °C a água não possui esse comportamento térmico, ocorrendo o fenômeno inverso, ou seja, com o aumento da temperatura ocorre uma diminuição do volume e quando se atinge a temperatura de 4 °C atinge-se o volume mínimo. Continuando o aquecimento, após 4 °C volta a ocorrer a expansão do volume.

Sabe-se que a massa específica é a razão entre a massa da substância e o seu volume e, que a massa específica e o volume são grandezas inversamente proporcionais ($\mu \cdot V = constante = massa$), daí a 4 °C a massa específica tem o seu valor máximo. $V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T = V_0 \cdot \gamma_{ap.} \cdot \Delta T + V_0 \cdot \gamma_{rec.} \cdot \Delta T \rightarrow V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T = V_0 \cdot \Delta T \cdot (\gamma_{ap.} + \gamma_{rec.})$

Assim, $\gamma = \gamma_{ap.} + \gamma_{rec.}$

Figura 7: Gráficos do volume e da densidade da água em função da temperatura.



Fonte: Torres et al., 2013, p. 83.

Esse fenômeno anômalo ocorre devido ao tipo de ligação química entre as moléculas da água, as chamadas pontes de hidrogênio, que ligam átomos de hidrogênio. Esse comportamento anormal da água nesse intervalo de temperatura justifica alguns fenômenos físicos como o porquê de uma garrafa completamente

cheia de água ao ser colocado no congelador estourar e, o porquê de os lagos e alguns mares congelarem de cima para baixo tornando a vida aquática possível.

3.4 Processos de transmissão de calor

Sabe-se que o calor é transmitido de um corpo (sistema) para outro corpo (sistema) quando entre eles existe uma diferença de temperatura. Os processos de transmissão de calor são classificados de três maneiras: condução, convecção e irradiação. Apesar de serem estudados de maneira separada, na natureza esses processos ocorrem quase que simultaneamente quando os sistemas trocam calor.

3.4.1 Condução

É o processo de transmissão de calor no qual a energia térmica passa de partícula para partícula através de vibrações sem que elas sejam deslocadas.

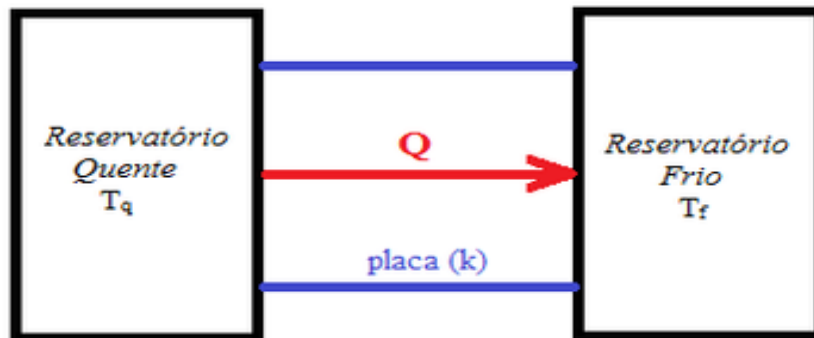
É importante ressaltar que a condução não transporta matéria e sim energia. Ela ocorre predominantemente nos sólidos, pois existe uma maior proximidade entre as moléculas, átomos e os elétrons que os compõem, daí a agitação de uma molécula ocorre mais rápida para a seguinte.

Os metais ou ligas são bons condutores de calor, já materiais como borracha, madeira, isopor e plástico impõem dificuldade à transmissão de calor por convecção e são classificados como isolantes térmicos.

A grandeza física que determina a capacidade de um material conduzir calor é o seu coeficiente de condutibilidade térmica (K) e depende do material que constitui a placa.

Considerando uma placa de área A , espessura L , entre duas fontes de calor (quente e fria), cujas temperaturas são T_q e T_f , o calor Q passa através da placa da face quente para a face fria em um intervalo de tempo Δt (figura 8).

Figura 8: Esquema representativo do fluxo de calor por condução através de uma placa simples.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Taxa_de_fluxo_de_calor. Acesso em 10 de dez 2019.

É possível determinar a quantidade de energia transferida na forma de calor por unidade de tempo (taxa de fluxo de calor) pela expressão:

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = K \cdot A \cdot \frac{T_q - T_f}{L}$$

Se uma placa for composta de mais de dois ou mais materiais que possuem condutividades e espessuras diferentes, a propagação de calor se dá em regime estacionário, ou seja, todos os pontos da placa têm a mesma temperatura e o fluxo de calor não depende do tempo. Nesse regime, as taxas de condução através dos dois materiais são iguais. Assim,

$$\Phi = K_2 \cdot A \cdot \frac{T_q - T_X}{L_2} = K_1 \cdot A \cdot \frac{T_q - T_f}{L_1}$$

A temperatura T_X é a temperatura na interface entre as duas placas. Isolando

$$T_X, \text{ tem-se: } T_X = \frac{K_1 \cdot L_2 \cdot T_f + K_2 \cdot L_1 \cdot T_q}{K_1 \cdot L_2 + K_2 \cdot L_1}$$

Substituindo a expressão acima em uma das equações do fluxo através de uma

$$\text{das placas, obtém-se: } \Phi = \frac{A \cdot (T_q - T_f)}{\frac{L_1}{K_1} + \frac{L_2}{K_2}}$$

De forma geral, sendo uma placa constituída por n materiais diferentes e espessuras diferentes, tem-se que a taxa de fluxo de calor pode ser calculada por:

$$\Phi = \frac{A \cdot (T_q - T_f)}{\sum \left(\frac{L}{K} \right)}$$

3.4.2 Convecção

É o tipo de transmissão de calor que ocorre nos fluidos (gases e líquidos) e a energia térmica é propagada através de deslocamento de matéria devido a uma diferença de densidade.

Um fluido ao ser aquecido sofre uma dilatação térmica, daí fica submetido à ação de uma força vertical com sentido para cima, denominada empuxo. O empuxo é proporcional ao volume do fluido deslocado, então esse fluido sofre um deslocamento para cima deixando espaço para que uma massa mais densa e com menor temperatura desça formando um movimento de sobe e desce, denominado correntes de convecção, até que seja atingido o equilíbrio térmico. Ao ser atingido o equilíbrio térmico, as correntes de convecção cessam.

A convecção térmica explica a formação das brisas marítima e terrestre que ocorrem nas regiões litorâneas e estão associadas à diferença de temperatura da terra e do mar. Apesar da areia e da água receberem o calor proveniente do sol, a areia sofre um aquecimento maior (possui um menor calor específico) que a água durante o dia. O ar sobre a areia sobe por convecção e o espaço deixado é preenchido pelo ar sobre a água produzindo assim a brisa marítima.

Durante a noite ocorre o processo inverso, a água está mais quente do que a areia, logo o ar sobre a água sobe por convecção e o ar sobre a terra sopra para o mar gerando a brisa terrestre.

Os jangadeiros utilizam as brisas litorâneas para facilitar a pesca em alto mar, saindo para pescar à noite, levados pela brisa terrestre, e retornando pela manhã, trazidos pela brisa marítima.

As correntes de convecção são muito importantes na sustentação de veículos aéreos que não possuem propulsão como os planadores e asas delta e na travessia continental de muitos pássaros, pois utilizam as correntes de convecção de ar quente (as térmicas) para permanecerem por um maior período no ar.

3.4.3 Radiação

É a forma de propagação de calor através de ondas eletromagnéticas. A irradiação não necessita de um meio material para se propagar, podendo se propagar

no vácuo. A maior fonte de calor por irradiação é o sol, que emite ondas eletromagnéticas e quando os corpos as absorvem aumentam as suas temperaturas.

Corpos foscos e de cores escuras absorvem mais energia térmica do que os corpos polidos e claros quando estão em um mesmo ambiente.

É importante destacar que as ondas eletromagnéticas que propagam calor são às vezes denominadas de radiação térmica para se diferenciar de outros tipos de ondas eletromagnéticas como a radiação nuclear (raios-x e raios gama) e os sinais eletromagnéticos (ondas de rádio e televisão).

A taxa que um corpo emite energia por radiação térmica ($P_{rad.}$) depende da área (A) da superfície do corpo e da temperatura absoluta (em Kelvin) dessa superfície (T) e pode ser calculada pela expressão: $P_{rad} = \delta \cdot \epsilon \cdot A \cdot T^4$, na qual $\delta = 5,6704 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$ é uma constante física denominada de constante de Stefan-Boltzmann. Já o termo ϵ é a emissividade da superfície do corpo, seu valor varia entre 0 e 1, e depende do material que constitui essa superfície.

Analisando essa equação, percebe-se que se a temperatura do corpo for 0 K, esse corpo não emite energia através da radiação. Porém, qualquer temperatura acima de 0 K, o corpo emite radiação térmica.

Uma superfície com emissividade $\epsilon = 1$ é denominado radiador do corpo negro, e possui emissão máxima de radiação, porém é uma situação idealizada e que não existe na natureza.

Se um corpo estiver em um ambiente a uma temperatura absoluta constante T_{amb} , a taxa com que esse corpo absorve energia através da emissão da radiação térmica do ambiente pode ser calculada por: $P_{abs} = \delta \cdot \epsilon \cdot A \cdot T_{amb}^4$.

Assim como os corpos irradiam calor para o ambiente também absorvem calor dele, daí a taxa de troca de calor entre o corpo e o ambiente é dado por:

$$P = P_{abs} - P_{rad} = \delta \cdot \epsilon \cdot A \cdot (T_{amb}^4 - T^4)$$

Analisando essa expressão, observa-se que se a taxa de troca for positiva, significa que o corpo absorve calor do ambiente e, se a taxa de troca for negativa, o corpo perde calor por radiação.

3.5 Calorimetria

Conforme já foi visto, dois corpos com temperaturas diferentes ao serem colocados em contato ou próximos, haverá uma passagem de calor do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura até que se atinja o equilíbrio térmico.

Fisicamente, um corpo (substância) ao sofrer uma variação de temperatura pode aquecer ou resfriar mantendo o seu estado físico, mas também pode absorver ou liberar calor à uma temperatura constante alterando o seu estado físico. Cada substância possui um coeficiente que depende de suas propriedades físicas como massa e o tipo de material.

3.5.1 Capacidade térmica

Segundo Halliday, Resnick e Walker (2007, p. 191), a capacidade térmica C de um objeto é a constante de proporcionalidade entre o calor Q recebido ou cedido por um objeto e a variação de temperatura do objeto.

$$Q = C \cdot \Delta T = C \cdot (T_f - T_i)$$

Onde T_f e T_i são as temperaturas inicial e final do objeto.

Em outras palavras, pode-se dizer que a capacidade térmica é a quantidade de calor necessária para variar em 1 K ou 1 °C a temperatura de um corpo.

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

Sua unidade é dada por unidade de energia por unidade de temperatura. As mais usuais são: $\frac{J}{K}$ (S.I), $\frac{J}{^\circ C}$, $\frac{cal}{K}$ e $\frac{cal}{^\circ C}$.

3.5.2 Calor específico

É uma propriedade térmica ligada à composição química de cada corpo, ou seja, está diretamente ligada ao tipo de material que constitui o corpo. Halliday, Resnick e Walker (2007, p. 191) definem o calor específico como sendo a capacidade térmica por unidade de massa. Assim,

$$c = \frac{C}{m} \rightarrow c = \frac{\frac{Q}{\Delta t}}{m} \rightarrow c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

Onde:

$c \rightarrow$ *calorespecífico*; $Q \rightarrow$ Quantidade de calor; $m \rightarrow$ massa do corpo e $\Delta T \rightarrow$ variação de temperatura.

O calor específico também pode ser interpretado como sendo a quantidade de calor necessária para variar em 1 ° C ou 1 K a temperatura de uma unidade de massa da substância. É devido ao calor específico que dois corpos de mesma massa, feitos de diferentes materiais ao receberem a mesma quantidade de calor não sofrem a mesma variação de temperatura.

Para cada estado físico, cada substância possui um valor para o seu calor específico, por exemplo, a água:

$$c_{\text{gelo}} = 0,50 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}, c_{\text{líquida}} = 1,00 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \text{ e } c_{\text{vapor}} = 0,48 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

As unidades mais usuais são: $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$, $\frac{\text{Btu}}{\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}}$ e $\frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot \text{K}}$ (S.I.).

A tabela a seguir com os calores específicos de algumas substâncias a 20 °C:

Substância	Calor específico ($\text{Cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$)
Prata	0,056
Ferro	0,113
Alumínio	0,217
Éter	0,56
Álcool etílico	0,58
Água	1,0

Tabela 2: calores específicos de algumas substâncias

Considerando o calor específico de uma substância nos estados sólido e líquido, supõe-se que durante a transferência de calor, a pressão é mantida constante e, geralmente igual à pressão atmosférica. Também pode-se considerar durante a transferência de calor o volume é mantido constante. Esses são os denominados calores específicos a pressão e a volume constantes e seus valores são praticamente iguais.

3.5.3 Calor específico molar

É a capacidade térmica por unidade de matéria (mol). Sabe-se que o mol é uma grandeza fundamental que representa $6,02 \cdot 10^{23}$ unidades elementares. Sua unidade no S.I é dada em $J/mol \cdot K$.

Por exemplo, os calores específicos molares do chumbo e do alumínio no estado sólido são respectivamente: $c_{chumbo} = 26,5 J/mol \cdot K$ e $c_{Al} = 24,4 J/mol \cdot K$.

3.5.4 Quantidade de calor sensível

É a quantidade de calor absorvida ou liberada (Q) por um sólido ou líquido, ao sofrer uma variação de temperatura (ΔT), sem que altere o seu estado físico.

Da equação que define o calor específico, pode-se obter a seguinte expressão:

$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$, que é denominada equação fundamental da calorimetria.

Ao analisar a equação fundamental da calorimetria, percebe-se que:

- Se a temperatura aumenta ($\Delta T > 0$), o corpo recebe calor ($Q > 0$).
- Se a temperatura diminui ($\Delta T < 0$), o corpo cede calor ($Q < 0$).

3.5.5 Calor latente (calor de transformação)

As mudanças de estado físico ocorrem sob temperatura constante e, define-se calor latente como sendo a quantidade de calor necessária para que uma unidade de massa da substância mude de estado físico. Assim,

$$L = \frac{Q}{m}$$

As unidades mais usuais são $\frac{J}{kg}$ (S.I), $\frac{J}{g}$ e $\frac{cal}{g}$.

Essa quantidade de calor (Q) é denominada de quantidade de calor latente e pode ser assim escrita: $Q = m \cdot L$.

$Q \rightarrow$ Quantidade de calor latente

$m \rightarrow$ massa

$L \rightarrow$ calor latente de mudança de fase

Tomando-se como exemplo os calores latentes da água:

calor latente de fusão: $L_f = 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$, calor latente de vaporização: $L_v = 540 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$,

calor latente de solidificação: $L_s = -80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$ e calor latente de condensação: $L_c = -540 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$.

De acordo com os sinais dos calores latentes, pode-se concluir que a fusão e a vaporização ocorrem com ganho de calor, ou seja, $Q > 0$. Os valores negativos indicam que a solidificação e a condensação ocorrem com perda de calor, $Q < 0$.

Figura 9: Diagrama de mudança de fases de uma substância.



Fonte: <https://www.infoescola.com/fisico-quimica/mudancas-de-estado-fisico/>.

Acesso em: 23/04/19.

As mudanças de fase que ocorrem com absorção de calor pela substância são denominadas transformações endotérmicas. São elas a fusão, a vaporização e a sublimação direta. Quando as mudanças de fase ocorrem com liberação de calor, são denominadas transformações exotérmicas. São elas a condensação, a solidificação e a sublimação inversa.

É importante ressaltar que a vaporização ocorre de três maneiras distintas:

- Ebulição:** Ocorre a passagem do estado líquido para o gasoso ao atingir a sua temperatura de ebulição. Por exemplo, a água fervendo na panela tornando-se vapor.
- Evaporação:** A passagem do estado líquido para o gasoso acontece de maneira lenta e ocorre na superfície do líquido. Por exemplo, as roupas secando no varal.
- Calefação:** É a passagem brusca do estado líquido para o gasoso ao receber uma elevada quantidade de calor de maneira rápida. Por exemplo, a água líquida ao ser jogada sobre uma panela aquecida.

Substância	Temperatura de fusão (°C)	Calor latente de fusão (cal/g)	Temperatura de ebulição (°C)	Calor latente de vaporização (cal/g)
Água	0	80	100	540
Álcool etílico	-114,4	24,9	78,3	204
Chumbo	327	5,5	1750	208
Cobre	1038	51	2582	1290
Hélio	-270	0,02	-269	6
Hidrogênio	-259	68	-252,8	108
Ferro	1535	64,4	2800	1515
Mercúrio	-39	2,82	356,5	68
Ouro	1063	15,8	2660	377
Zinco	419	28,13	906	-

Tabela 3: Calores latentes de mudança de fase de algumas substâncias.

3.5.6 Calorímetro

É um sistema isolado termicamente, no qual são realizados estudos de trocas de calor entre dois ou mais corpos no seu interior. Um calorímetro deve evitar ao máximo que o calor se propague através dele, e para isso deve ser fechado e suas paredes adiabáticas.

O calorímetro ideal apesar de não trocar calor com o meio externo pode ou não trocar calor com os corpos que estão no seu interior. Quando ele não participa das trocas energéticas, possui capacidade térmica desprezível; e quando participa das trocas de calor, possui capacidade térmica considerada. Caixas de isopor e garrafas térmicas comportam-se como calorímetros ideais.

A capacidade térmica do calorímetro é também denominada de equivalente em água do calorímetro, que representa a massa de água que sofreria a mesma variação de temperatura do calorímetro. Por exemplo, se o equivalente em água do calorímetro é 3 gramas, é o mesmo que para essa massa e com o calor específico da água líquida $c_{\text{água}} = 1,00 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$ a capacidade térmica do calorímetro ser:

$$C = m \cdot c \rightarrow C = 3 \cdot 1 \rightarrow C = 3 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}.$$

Dois ou mais corpos sob diferentes temperaturas, inseridos em um ambiente termicamente isolado (calorímetro), trocam calor entre si até atingirem o equilíbrio térmico e a soma algébrica das quantidades de calor trocadas pelos corpos é nula. Assim:

$$\Sigma Q = 0 \rightarrow Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0$$

Esse enunciado anterior é denominado de princípio geral das trocas de calor.

3.6 Gases ideais

Os gases perfeitos (ideais) são uma idealização dos gases reais que por motivos didáticos facilitam o estudo do seu comportamento. A constituição de um gás é de átomos ou moléculas que estão em um movimento contínuo e desordenado e que ocupam todo o volume que o contém.

As variáveis de estado, que são grandezas macroscópicas, analisadas são o volume, a temperatura e a pressão que estão diretamente ligados a valores estatísticos (valores médios) de algumas grandezas microscópicas do gás.

O volume do gás é o mesmo do recipiente que o contém, a pressão é a força de colisão das partículas nas paredes do recipiente por unidade de área e a temperatura é associada à energia cinética das partículas do gás.

3.6.1 Teoria cinético-molecular dos gases ideais

O modelo cinético molecular dos gases ideais explica as propriedades macroscópicas dos gases em função de sua estrutura atômica e molecular. De acordo com Sears, Freedman e Zemansky (2008, p. 150 e 151), as hipóteses dessa teoria são:

- Um recipiente de volume V contém um número total de moléculas N muito grande de partículas idênticas com a mesma massa m ;
- As moléculas se comportam como partículas puntiformes; o volume da molécula é muito pequeno comparado com a distância das partículas e com as dimensões do recipiente;
- As moléculas estão em movimento perpétuo: elas obedecem às leis de Newton do movimento. Cada molécula colide ocasionalmente com a parede do recipiente. Essas colisões são perfeitamente elásticas;
- As paredes do recipiente possuem massa infinita, são perfeitamente rígidas e não se movem.

3.6.2 Transformações gasosas especiais

As variáveis de estado de um gás (pressão, volume e temperatura) caracterizam o estado termodinâmico de um gás. A condição necessária para que se altere o estado termodinâmico de um gás, ou seja, para que ele sofra uma transformação gasosa é que pelo menos duas de suas variáveis de estado se modifiquem. Ao considerar certa massa gasosa constante (número de mols constante consequentemente) e alterar duas dessas variáveis e mantendo a outra constante, pode-se obter as seguintes transformações gasosas especiais:

- **Transformação Isotérmica:** É a transformação gasosa na qual a temperatura se mantém constante, variando a pressão e a temperatura.

De acordo com experimentos realizados sob temperatura constante, Boyle e Mariote concluíram que a pressão é inversamente proporcional ao volume do gás:

$P \cdot V = \text{constante}$, daí:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

Figura 10: Gráfico de uma transformação isotérmica

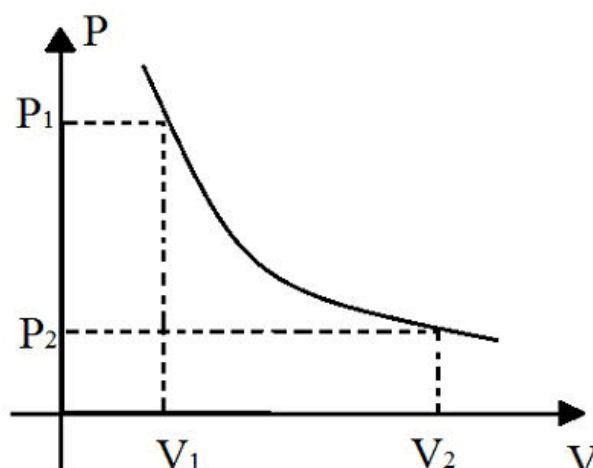
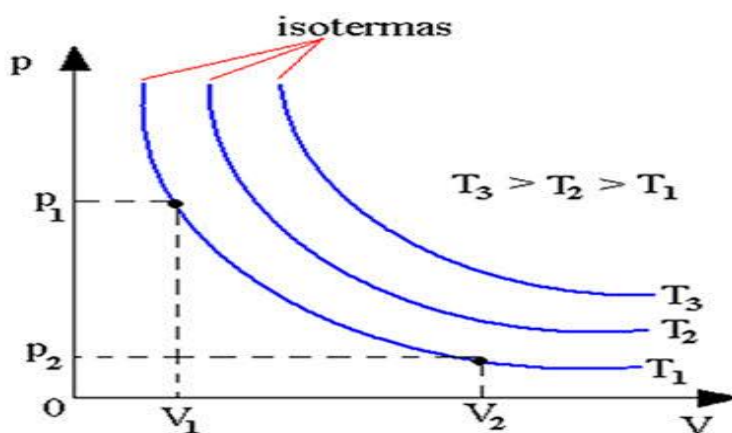


Figura 11: Gráfico de várias transformações isotérmicas.



Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/transformacao-isotermica.htm>.

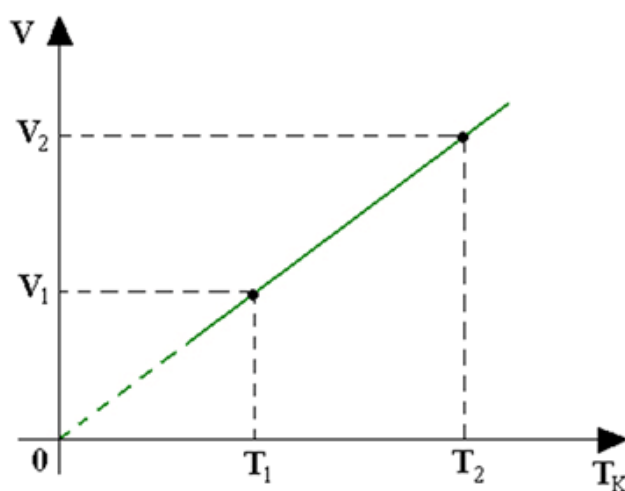
Acesso em: 05/06/19

- **Transformação Isobárica:** É a transformação gasosa na qual a pressão permanece constante, variando a temperatura e o volume do gás.

Numa transformação isobárica, o volume e a temperatura são diretamente proporcionais de acordo com a lei de Charles-Gay Lussac. Matematicamente:

$$\frac{V}{T} = \text{constante, se } p_1 = p_2 \text{ então, } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

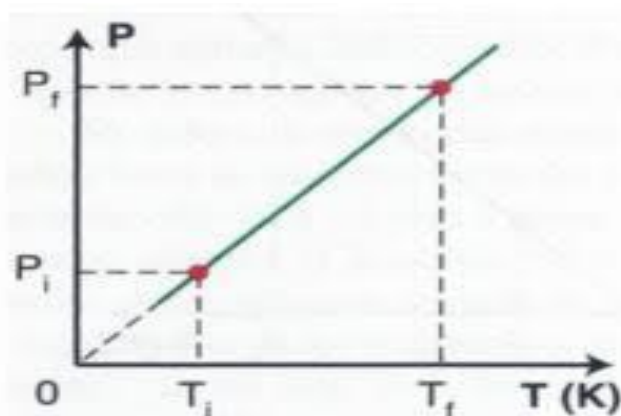
Figura 11: Gráfico de várias transformações isotérmicas.



- **Transformação Isocórica, Isométrica ou Isovolumétrica:** É a transformação gasosa na qual o volume permanece constante, variando a pressão e a temperatura do gás. A transformação isocórica obedece à lei de Charles que diz que a pressão e a temperatura são diretamente proporcionais. Matematicamente:

$$\frac{P}{V} = \text{Constante, se } V_1 = V_2, \text{ então } \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \text{constante}$$

Figura 13: Gráfico de uma transformação isocórica.



3.6.3 Equação de estado de um gás ideal

A massa de um gás pode ser representada por uma grandeza fundamental de quantidade de matéria que contém um número fixo de partículas, denominada de mol. Esse número fixo de partículas é igual a $6,022 \cdot 10^{23}$ e é conhecido como número de Avogrado. Assim, 1 mol de uma substância representa a quantidade de matéria de $6,022 \cdot 10^{23}$ moléculas dessa substância.

A massa de um mol de uma substância, dada em gramas, é denominada de massa molar (M). A massa molar é a massa de $6,022 \cdot 10^{23}$ moléculas da substância. Assim, podemos relacionar a massa de uma substância com seu número de mols:

$$1 \text{ mol} \rightarrow M \text{ (massa molar)}$$

$$\eta \text{ mols} \rightarrow m \text{ (massa da substância)}$$

$$\text{Daí, } \eta = \frac{m}{M}$$

Através de estudos das transformações isotérmicas e isobáricas, relacionou as variáveis de estado de um gás perfeito (pressão, volume e temperatura) com o número de mols desse gás. Na transformação isotérmica, a pressão é inversamente

proporcional à temperatura do gás. Já na transformação isobárica, o volume é diretamente proporcional à temperatura do gás.

Daí, concluiu-se que a razão $\frac{P \cdot V}{T}$ é proporcional ao número de mols, assim $\frac{P \cdot V}{T} = R \cdot \eta$, onde R é uma constante de proporcionalidade denominada constante universal dos gases perfeitos.

Organizando a equação anterior, tem-se:

$$P \cdot V = \eta \cdot R \cdot T \quad (\text{Equação de estado de um gás ideal}).$$

Essa equação descreve precisamente o comportamento de um gás ideal para todas as pressões e temperaturas.

O valor da constante R depende das unidades utilizadas na pressão, volume, número de mols e temperatura absoluta. Podemos facilmente determinar para 1 mol do gás o valor de R nas condições normais de temperatura e pressão e com as unidades do Sistema Internacional.

Nas CNTP, temos:

$$\eta = 1 \text{ mol}; \quad P = 1 \text{ atm} = 1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}; \quad V = 22,414 \text{ l} = 22,414 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \quad \text{e} \quad T = 0^\circ \text{C} = 273 \text{ K}.$$

$$\frac{P \cdot V}{T} = R \cdot \eta \rightarrow \frac{(1 \text{ atm}) \cdot (22,414 \text{ l})}{(273 \text{ K})} = R \cdot (1 \text{ atm}), \text{ daí: } R = 0,082057 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Utilizando as unidades do Sistema Internacional, temos:

$$\frac{P \cdot V}{T} = R \cdot \eta \rightarrow \frac{(1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}) \cdot (22,414 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3)}{(273 \text{ K})} = R \cdot (1 \text{ mol}), \text{ daí: } R \equiv 8,314510 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Sabe-se que o número de mols é dado por $\eta = \frac{m}{M}$, substituindo na equação geral dos gases ideais, tem-se:

$$P \cdot V = \frac{m}{M} \cdot R \cdot T \rightarrow P \cdot V \cdot M = m \cdot R \cdot T \rightarrow P \cdot M = \frac{m}{V} \cdot R \cdot T$$

Sendo a razão $\frac{m}{V}$ a densidade do gás, então, $\rho = \frac{P \cdot M}{R \cdot T}$.

Para uma mesma massa gasosa (mesmo número de mols) que passa de um estado inicial 1 para um novo estado 2,

ESTADO 1
(P_1, V_1, T_1)

ESTADO 2
(P_2, V_2, T_2)

Aplicando-se a equação de estado de um gás perfeito nos dois estados termodinâmico, tem-se:

$$P_1 \cdot V_1 = \eta \cdot R \cdot T_1 \rightarrow \eta \cdot R = \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1}$$

$$P_2 \cdot V_2 = \eta \cdot R \cdot T_2 \rightarrow \eta \cdot R = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Igualando as duas equações anteriores, tem-se: $\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$

Essa equação relaciona dois estados quaisquer de certa massa gasosa e representa a lei geral dos gases perfeitos

3.7 Termodinâmica

A termodinâmica estuda as relações entre dois tipos de transferência de energia, a térmica (calor) e a mecânica (trabalho), em um sistema termodinâmico, que são originadas da interação de um sistema físico não isolado com o meio externo.

Um conceito importantíssimo é o de sistema termodinâmico, que segundo Sears, Young e Zemansky (2008, p. 176), é aquele que interage e troca energia com suas vizinhanças, ou ambiente, pelo menos de dois modos diferentes, um dos quais mediante a transferência de calor.

3.7.1 Trabalho em uma transformação gasosa

Considerando um gás inserido em um cilindro com um êmbolo móvel, cuja seção tenha área A e que o sistema exerça sobre ele uma pressão P .

Figura 14: Trabalho infinitesimal dW em uma pequena expansão dx .



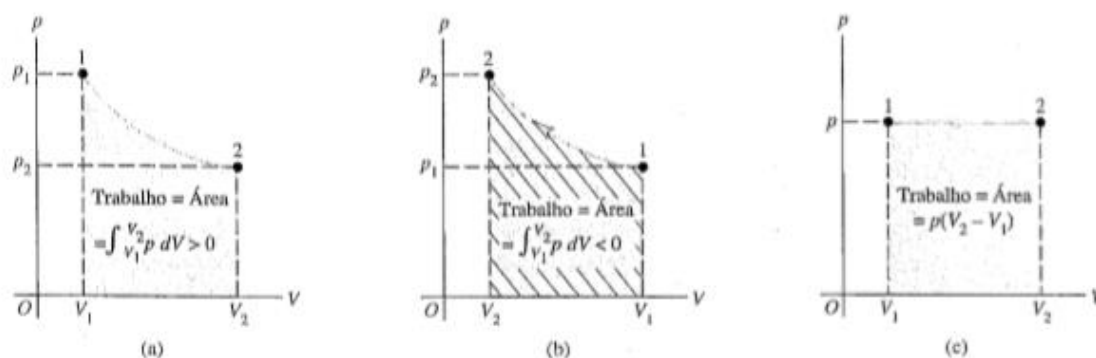
Fonte: Sears et al.(2008, p. 178).

A força que o sistema exerce no êmbolo é dada por $F = P \cdot A$. O êmbolo ao sofrer um deslocamento infinitesimal dx , realiza um trabalho dW devido à essa força e é dado por: $dW = F \cdot dx = P \cdot A \cdot dx$, só que $A \cdot dx = dV$, sendo dV a variação de volume, assim: $dW = P \cdot dV$. Integrando ambos os membros entre os limites de volume V_1 e V_2 ,obtem-se: $W = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$.

Se a pressão for constante o trabalho pode ser calculado pela expressão: $W = P \cdot \Delta V = P \cdot (V_2 - V_1)$.

Pode ou não haver variação de pressão durante a variação de volume. Para calcular essa integral deve-se ter uma função da pressão em função do volume ou através da propriedade gráfica no diagrama $P \times V$, que diz que a área abaixo da curva entre os limites V_1 e V_2 é numericamente igual ao trabalho realizado ou sofrido pelo gás.

Figura 15: Nos gráficos percebe-se que na figura (a) o volume aumenta e a área o trabalho são positivos; na letra (b) o volume diminui e a área o trabalho são negativos e na letra (c) o volume aumenta e a área e o trabalho são positivos.



Fonte: Sears et al.(2008, p. 179).

É importante obedecer a essa convenção de sinais no estudo do trabalho do gás.

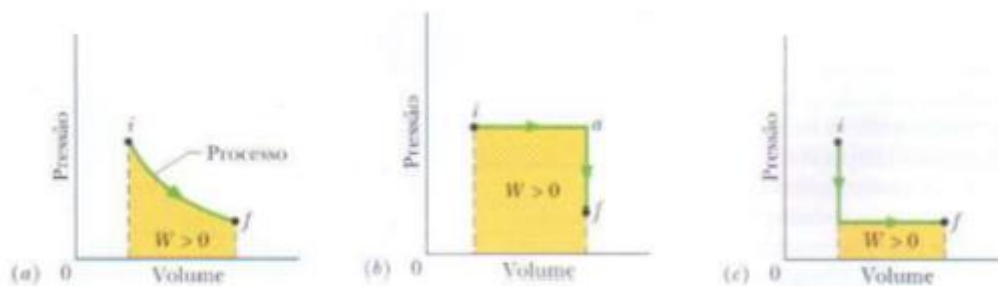
Já foi visto que o trabalho de um gás depende da variação de volume, então se o gás não variar o seu volume, o trabalho será nulo. Assim:

- Se $V_2 > V_1 \rightarrow \Delta V > 0 \rightarrow W > 0$ (*expansão*)
- Se $V_2 < V_1 \rightarrow \Delta V < 0 \rightarrow W < 0$ (*compressão*)
- Se $V_2 = V_1 \rightarrow \Delta V = 0 \rightarrow W = 0$ (*transformação isocórica*)

3.7.2 Trajetória entre estados termodinâmicos

Um sistema ao variar de um estado termodinâmico inicial para um estado final pode passar por diversos estados intermediários, percorrendo certo caminho, como pode ser visto na figura a seguir:

Figura 16: Representações de diversas transformações gasosas que têm os mesmos estados inicial e final e, que passam por estados intermediários diferentes.

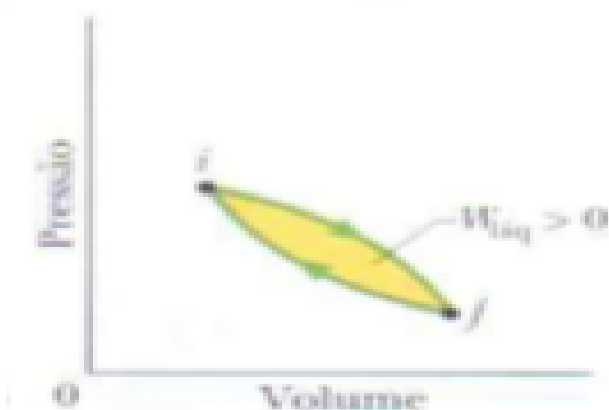


Fonte: Halliday, Resnick e Walker, (2007, p. 196).

Para cada trajetória com os mesmos estados inicial e final vistos na figura, pode-se observar que os trabalhos são diferentes, concluindo-se que o trabalho não depende apenas dos estados inicial e final, mas também dos estados intermediários, ou seja, o trabalho depende da trajetória.

Uma massa gasosa em certo estado inicial ao sofrer uma série de transformações e retornar ao mesmo estado que tinha inicialmente realiza a denominada transformação cíclica e a área no interior dessa curva é igual a trabalho realizado no caminho.

Figura 17: Transformação cíclica



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2007, p. 196).

Nesse tipo de transformação, como o estado inicial coincide com o estado final, tem-se que a temperatura final é igual à temperatura inicial, daí a variação de temperatura é zero.

3.7.3 Primeira lei da termodinâmica

A energia interna de um gás é soma de todas as energias cinéticas e potenciais das partículas desse gás. Um gás ao variar seu estado termodinâmico, sua energia interna varia de um valor inicial U_1 para um valor final U_2 , assim pode-se definir a variação de energia interna como sendo: $\Delta U = U_2 - U_1$.

Quando ocorre uma transferência de energia através de troca de calor e realização de trabalho, a variação total de energia interna é dada por:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = Q - W \quad (1^{\text{a}} \text{ lei da termodinâmica}).$$

Quando um sistema termodinâmico sofre uma variação infinitesimal, pode-se escrever a 1ª lei assim:

$$dU = dQ - dW$$

Foi visto na seção anterior que o calor trocado e o trabalho realizado dependem do caminho ao longo das transformações termodinâmicas, porém a variação de energia interna não depende do caminho, ou seja, a variação de energia interna durante qualquer processo termodinâmico depende apenas dos estados inicial e final.

É importante lembrar que a primeira lei da termodinâmica não é válida apenas os sistemas gasosos, e sim para todos os sistemas existentes na natureza.

3.7.4 Aplicação da 1ª lei da termodinâmica em alguns casos especiais

- **Transformação adiabática:** Uma transformação adiabática é aquela não há trocas de calor entre o sistema e o meio externo. Para que esse tipo de transformação ocorra, é necessário que a fronteira entre o gás e o meio externo seja um ótimo isolante térmico de modo a impedir as trocas de calor ou as variações de volume sejam muito rápidas de maneira que sejam desprezíveis as trocas de calor. Assim, a quantidade de calor trocada entre o sistema e o ambiente é zero, logo:

$$\Delta U = Q - W \rightarrow \Delta U = 0 + W \rightarrow \Delta U = -W$$

Daí, conclui-se que, quando o sistema se expande realiza trabalho sobre o ambiente, e a energia interna do sistema diminui no valor de mesmo módulo do trabalho realizado. Já quando o sistema se contrai, o ambiente realiza trabalho sobre o sistema e a energia interna do sistema aumenta no valor de mesmo módulo do trabalho realizado.

- **Transformação isocórica:** Conforme já foi estudado, a transformação isocórica é aquela na qual o volume do sistema permanece constante, consequentemente não há realização de trabalho, ou seja, $W = 0$, daí:

$$\Delta U = Q - W \rightarrow \Delta U = Q - 0 \rightarrow \Delta U = Q$$

Nesse tipo de transformação, podem-se tirar as seguintes conclusões:

Se o sistema recebe calor ($Q > 0$), sua energia interna aumenta ($\Delta U > 0$);

Se o sistema perde calor ($Q < 0$), sua energia interna diminui ($\Delta U < 0$).

- **Transformação cíclica:** Sabe-se que em uma transformação cíclica ocorre uma sequência de transformações gasosas na qual o sistema retorna ao seu estado inicial após algumas trocas de calor e trabalho. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2007, p. 198), neste tipo de transformação, nenhuma propriedade intrínseca do sistema (incluindo a energia interna) pode variar, ou seja, $\Delta U = 0$. Assim, aplicando a 1ª lei para essa transformação, tem-se:

$$\Delta U = Q - W \rightarrow 0 = Q - W \rightarrow Q = W$$

Dessa forma, o trabalho realizado durante esse tipo de transformação é igual à energia transferida na forma de calor.

- **Sistema isolado:** um sistema é denominado isolado quando não troca calor nem trabalho com as vizinhanças. Todo processo termodinâmico que acontece em um sistema isolado, o trabalho e o calor trocados são nulos ($W = Q = 0$), assim:

$$\Delta U = Q - W \rightarrow \Delta U = 0 - 0 \rightarrow \Delta U = 0$$

Conclui-se que, em um sistema isolado, a energia interna permanece constante. As expansões livres são exemplos de sistemas isolados.

- **Transformação isotérmica:** Na transformação isotérmica, a temperatura não varia daí: $\Delta U = Q - W$.

Foi visto que o trabalho pode ser calculado pela expressão $W = \int_{V_1}^{V_2} P(V) \cdot dV$, pela equação de estado de um gás ideal tem-se: $P = \frac{n \cdot R \cdot T}{V}$, daí:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{\eta \cdot R \cdot T}{V} dV \rightarrow W = \eta \cdot R \cdot T \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV \rightarrow W = \eta \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \quad (\text{cálculo})$$

do trabalho de um gás ideal em uma transformação isotérmica).

3.7.5 Calores específicos molares

Na subseção 2.4.2 foi estudado que o calor específico de um sólido ou líquido é uma constante que representa a quantidade de calor necessária para variar em 1 K a temperatura de uma unidade de massa de uma substância.

Para um gás, é mais cômodo aferir o seu calor específico em um recipiente, cujo volume não se altere. Esse calor específico é denominado calor específico a volume constante.

Considerando η mols de um gás ideal, submetido a uma pressão P e a uma temperatura T , inseridos no interior de um recipiente com volume constante V . Ao fornecer uma quantidade infinitesimal de calor dQ a esse gás e elevar lentamente a temperatura do ambiente para $T + dT$ e a pressão aumentar para $P + dP$ no estado termodinâmico final do gás. Pela definição, para esse tipo de experimento, tem-se que o calor específico molar a volume constante (c_V) se relaciona com o calor fornecido ao sistema pela relação: $dQ = \eta \cdot c_V \cdot dT$.

Substituindo na expressão da 1ª lei da termodinâmica, tem-se:

$$dU = \eta \cdot c_V \cdot dT - dW.$$

Como o volume é mantido constante, o trabalho é nulo ($dW = 0$), então

$$dU = \eta \cdot c_V \cdot dT \rightarrow c_V = \frac{dU}{\eta \cdot dT} \quad (\text{calor específico molar a volume})$$

constante).

Para um gás monoatômico a variação de energia interna é dada por

$$dU = \frac{3}{2} \cdot \eta \cdot R \cdot dT, \text{ organizando as equações a partir de algumas obtidas}$$

anteriormente, tem-se que:

$$\eta \cdot c_V \cdot dT = \frac{3}{2} \cdot \eta \cdot R \cdot dT \rightarrow c_V = \frac{3}{2} \cdot R \rightarrow c_V = 12,5 \frac{J}{mol \cdot K} \quad (\text{gás monoatômico})$$

Assim, a energia interna de um gás ideal qualquer pode ser dada por:

$$U = \eta \cdot c_V \cdot T$$

Para um gás ideal confinado em um recipiente que tem sua temperatura variada, pode-se escrever: $dU = \eta \cdot c_V \cdot dT$

A partir dessa equação é possível concluir que, em qualquer processo, para um gás ideal confinado em um recipiente, a variação de energia interna depende apenas da variação de temperatura sofrida pelo gás.

Considerando agora uma transformação isobárica que sofra o mesmo aumento infinitesimal de temperatura dT . Se o mesmo gás da situação anterior for inserido em um cilindro com um êmbolo móvel e o sistema (gás + cilindro) for mantido em contato com um corpo de maior temperatura, então, conforme o sistema for recebendo calor, haverá uma expansão do sistema sob pressão constante e, conseqüentemente uma realização de trabalho. A quantidade de calor que o gás recebe é dada por:

$$dQ = \eta \cdot c_P \cdot dT, \text{ onde } c_P \text{ é o calor específico molar a pressão constante.}$$

$$\text{O trabalho realizado pelo gás } dW \text{ é dado por: } dW = P \cdot dV$$

Pode-se escrever em função de dT através da equação de estado de um gás, $P \cdot dV = \eta \cdot R \cdot dT$, assim $dW = P \cdot dV = \eta \cdot R \cdot dT$.

Substituindo as duas últimas expressões em destaque na 1ª lei da termodinâmica, tem-se: $dU = dQ - dW \rightarrow dU = \eta \cdot c_P \cdot dT - \eta \cdot R \cdot dT$

Já foi afirmado anteriormente que a variação da energia interna depende apenas da variação da temperatura, independentemente do tipo de processo. Assim, pode-se utilizar a expressão $dU = \eta \cdot c_V \cdot dT$ na equação anterior, logo:

$$\eta \cdot c_V \cdot dT = \eta \cdot c_P \cdot dT - \eta \cdot R \cdot dT, \text{ dividindo toda a expressão por } \eta \cdot dT, \text{ obtém-se: } c_V = c_P - R \text{ ou } c_P = c_V + R$$

Desse modo é possível obter a relação entre os calores específicos molares de um gás ideal.

Foi calculado que o calor específico molar a pressão constante para um gás monoatômica é $c_V = \frac{3}{2} \cdot R$, assim pode-se calcular o calor específico molar a pressão constante $c_P = \frac{3}{2} \cdot R + R \rightarrow c_P = \frac{5}{2} \cdot R$

A razão entre os calores específicos molares a pressão constante e a volume constante é denominada razão das capacidades caloríficas (γ), assim:

$$\gamma = \frac{c_P}{c_V}$$

Substituindo os valores de c_V e c_P , obtém-se:

$$\gamma = \frac{c_p}{c_v} \rightarrow \gamma = \frac{\frac{5}{2} \cdot R}{\frac{3}{2} \cdot R} \rightarrow \gamma = \frac{5}{3} \rightarrow \gamma \equiv 1,67$$

3.7.6 Processo adiabático de um gás ideal

Conforme foi estudado anteriormente, uma transformação adiabática é aquela que não ocorre trocas de calor entre o sistema e o ambiente ($Q = 0$). Esse tipo de processo ocorre de maneira muito rápida ou quando ocorre no interior de um recipiente. Como não existem trocas de calor, então aplicando a 1ª lei da termodinâmica tem-se que $\Delta U = -W$. Então:

Se o gás se expande adiabaticamente, realiza trabalho de maneira que sua energia interna diminui, provocando o seu resfriamento;

Se o gás se contrai adiabaticamente, o ambiente realiza trabalho sobre o sistema e sua energia interna aumenta, provocando o seu aquecimento.

Sears et al. (2008, p. 192) destacam que ao se referir a “resfriamento adiabático” ou “aquecimento adiabático”, deve-se entender que na prática o que ocorre é uma “diminuição de temperatura” ou um “aumento de temperatura” e, que essa variação de temperatura ocorre devido ao trabalho realizado pelo sistema ou sobre o sistema e que não existe nenhuma troca de calor no processo.

Sabe-se que a variação infinitesimal de energia interna (dU) de um gás ideal é dada por $dU = \eta \cdot c_v \cdot dT$ e que o trabalho dW é dado por $dW = P \cdot dV$. Pela 1ª lei da termodinâmica no processo adiabático, tem-se $dU = -dW$, assim:

$$\eta \cdot c_v \cdot dT = -P \cdot dV, \text{ pode-se escrever } P = \frac{\eta \cdot R \cdot T}{V} \text{ então fazendo a substituição, tem-se: } \eta \cdot c_v \cdot dT = -\frac{\eta \cdot R \cdot T}{V} \cdot dV \rightarrow \frac{dT}{T} = -\frac{R}{c_v} \cdot \frac{dV}{V} \rightarrow \frac{dT}{T} + \frac{R}{c_v} \cdot \frac{dV}{V} = 0$$

Foi visto que a razão entre os calores específicos molares (γ) é dada por $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ e que a relação entre eles e a constante K é dada por $c_p = c_v + R \rightarrow R = c_p - c_v$. Pode-se escrever a razão $\frac{R}{c_v} = \frac{c_p - c_v}{c_v} \rightarrow \frac{R}{c_v} = \frac{c_p}{c_v} - 1$, porém $\frac{c_p}{c_v} = \gamma$, daí: $\frac{R}{c_v} = \gamma - 1$.

Substituindo na equação $\frac{dT}{T} + \frac{R}{c_v} \cdot \frac{dV}{V} = 0$, obtém-se:

$$\frac{dT}{T} + (\gamma - 1) \cdot \frac{dV}{V} = 0$$

Integrando a equação acima, supondo uma variação finita de volume e temperatura, obtém-se:

$$\int \frac{dT}{T} + \int (\gamma - 1) \cdot \frac{dV}{V} = \int 0 \rightarrow \ln T + (\gamma - 1) \cdot \ln V = \text{constante}(k)$$

$\ln T + \ln V^{\gamma-1} = K \rightarrow \ln(T \cdot V^{\gamma-1}) = K$, aplicando exponencial em ambos os lados, tem-se: $T \cdot V^{\gamma-1} = e^K = \text{constante}$.

Supondo a transformação adiabática, do estado inicial $(T_i; V_i)$ para o estado final $(T_f; V_f)$, tem-se:

$$T_i \cdot V_i^{\gamma-1} = T_f \cdot V_f^{\gamma-1}$$

Se for isolada a temperatura T na equação $P \cdot V = \eta \cdot R \cdot T \rightarrow T = \frac{P \cdot V}{\eta \cdot R}$, assim se for substituído T na expressão anterior em destaque, tem-se:

$\frac{P \cdot V}{\eta \cdot R} \cdot V^{\gamma-1} = \text{constante} \rightarrow \frac{P \cdot V^\gamma}{\eta \cdot R} = \text{constante}$. Só que o número de mols η e a constante R são constantes, daí: $P \cdot V^\gamma$ é uma constante, consequentemente:

$$P_i \cdot V_i^\gamma = P_f \cdot V_f^\gamma$$

3.8 Segunda lei da termodinâmica e a entropia

Na natureza, muitos (ou quase todos) os fenômenos que ocorrem de maneira espontânea não ocorrem no sentido inverso sem a ação de um agente externo, são os denominados processos irreversíveis. Uma pedra ao ser abandonada não retorna espontaneamente à sua posição inicial; ao misturar duas tintas de cores distintas e miscíveis, elas não retornarão às suas cores iniciais espontaneamente sem a ação de um procedimento externo de separação; uma taça de cristal ao cair no chão quebra e seus pedaços nunca se organizarão sozinhos voltando ao seu formato original; uma folha de papel ao ser queimada não retorna espontaneamente ao seu formato inicial. Esses são apenas alguns exemplos de processos irreversíveis existentes na natureza. Todos os processos termodinâmicos que acontecem na natureza são irreversíveis.

Ao se referir a um processo termodinâmico reversível, trata-se de uma idealização e que esse sistema está em quase-equilíbrio termodinâmico.

A 1ª lei da termodinâmica trata do princípio da conservação da energia e pode ser aplicada a processos reversíveis ou irreversíveis. Já a 2ª lei impõe os limites da natureza às ocorrências de certos fenômenos termodinâmicos, apontando o sentido de ocorrência desses processos termodinâmicos.

Dentre as diversas formas que essa lei pode ser enunciada, destacamos:

- 2ª lei segundo Clausius: O calor não pode fluir de forma espontânea de um corpo de menor temperatura para outro que se encontra a uma temperatura mais alta.

- 2ª lei segundo Kelvin-Planck: É impossível construir um dispositivo (máquina térmica) que, operando em ciclos termodinâmicos, transforme totalmente todo o calor recebido em trabalho.

De acordo com a 2ª da termodinâmica, não é possível construir máquinas térmicas cujo rendimento seja 100 %.

3.8.1 Variação de entropia

A propriedade que determina o sentido dos processos irreversíveis é a variação de entropia do sistema ΔS . A entropia é a medida que quantifica a desordem de um sistema e, que se um processo irreversível ocorre em um sistema fechado, há sempre um aumento da entropia.

Para Halliday, Resnick e Walker (2007, p.249), a variação de entropia pode ser definida de duas formas equivalentes: 1) em termos de temperatura do sistema e da energia que o sistema ganha ou perde na forma de calor, e 2) contando as diferentes formas de distribuir os átomos ou moléculas que compõem o sistema.

A variação infinitesimal de entropia ao longo de um processo infinitesimal reversível para uma temperatura absoluta T é dada por:

$$dS = dQ/T$$

Integrando ambos os membros entre o estado inicial e o estado final, tem-se:

$$dS = \frac{dQ}{T} \rightarrow \int_i^f dS = \int_i^f \frac{dQ}{T} \rightarrow S_f - S_i = \Delta S = \int_i^f \frac{dQ}{T}$$

Essa expressão permite calcular a variação de entropia para um processo reversível.

Halliday, Resnick e Walker (2007, p. 250) ressaltam que para a determinação da variação de entropia em um processo irreversível que ocorre em um sistema fechado, deve-se substituir esse processo por qualquer outro processo reversível que ligue os mesmos estados inicial e final para calcular a variação de entropia para esse processo reversível usando essa expressão anterior em destaque.

A unidade de entropia no Sistema Internacional (S.I) é razão entre a unidade de energia pela unidade de temperatura absoluta, ou seja, é o $\frac{J}{K}$ (Joule por Kelvin)

Aplicando a equação anterior à uma transformação isotérmica reversível, tem-se:

$$S_f - S_i = \Delta S = \int_i^f \frac{dQ}{T} \rightarrow S_f - S_i = \Delta S = \frac{1}{T} \int_i^f dQ \rightarrow S_f - S_i = \Delta S = \frac{Q}{T}$$

Onde Q é a energia total trocada na forma de calor e T é a temperatura constante durante o processo.

Um sistema ao passar de um estado inicial com uma entropia inicial S_i para um estado final com entropia S_f , sua variação de entropia $S_f - S_i = \Delta S$ é independente do caminho que conduz o sistema do estado inicial ao estado final, porém terá os mesmos valores para todos os processos termodinâmicos possíveis entre esses mesmos estados inicial e final.

Para um processo reversível, pode-se aplicar a primeira lei da termodinâmica na sua forma diferencial, assim: $dU = dQ - dW$.

Como o gás está em equilíbrio, pode-se utilizar as expressões $dW = P \cdot dV$ e $dU = \eta \cdot c_V \cdot dT$ e substituir na equação da 1ª lei, assim:

$$\eta \cdot c_V \cdot dT = dQ - P \cdot dV \rightarrow dQ = \eta \cdot c_V \cdot dT + P \cdot dV$$

Pela equação de estado de um gás ideal, pode-se escrever $P = \frac{\eta \cdot R \cdot T}{V}$, então substituindo na equação anterior, tem-se:

$$dQ = \eta \cdot c_V \cdot dT + \frac{\eta \cdot R \cdot T}{V} \cdot dV$$

Dividindo todos os membros da equação por T, tem-se:

$$\frac{dQ}{T} = \frac{\eta \cdot c_V \cdot dT}{T} + \frac{\eta \cdot R \cdot T}{V \cdot T} \cdot dV \rightarrow \frac{dQ}{T} = \eta \cdot c_V \cdot \frac{dT}{T} + \eta \cdot R \cdot \frac{dV}{V}$$

Integrando ambos os membros da equação entre um estado inicial e um estado final arbitrários, tem-se:

$$\int_i^f \frac{dQ}{T} = \int_i^f \eta \cdot c_V \cdot \frac{dT}{T} + \int_i^f \eta \cdot R \cdot \frac{dV}{V}$$

$$\text{Assim, } \Delta S = S_f - S_i = \eta \cdot c_V \cdot \ln \frac{T_f}{T_i} + \eta \cdot R \cdot \ln \frac{V_f}{V_i}$$

3.8.2 Segunda lei da termodinâmica em termos da entropia

Dentre as diversas maneiras que a segunda lei da termodinâmica pode ser enunciada, uma delas é em termos de entropia. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2007, p. 253), se um processo ocorrer em um sistema fechado, a entropia do sistema

aumenta para processos irreversíveis e permanece constante para processos reversíveis, ou seja, a entropia nunca diminui.

Matematicamente, $\Delta S \geq 0$ (2ª lei da termodinâmica)

3.8.3 Máquinas térmicas

São dispositivos que transformam parcialmente calor em trabalho através de transformações cíclicas. Para que essa transformação seja possível, é necessário que a máquina opere entre duas fontes térmicas: uma fonte quente à uma temperatura T_H , que fornece uma quantidade de calor Q_H à máquina térmica e uma fonte fria à uma temperatura T_C , que recebe uma quantidade de calor Q_C rejeitada pela máquina.

Uma parte da quantidade de calor recebida da fonte quente (Q_H) é convertida em trabalho pela máquina (W) e a outra parte é rejeitada na forma de calor para a fonte fria (Q_C).

Para toda transformação cíclica, a energia interna inicial é igual a energia interna final, daí sua variação de energia interna é zero ($\Delta U = 0$). Aplicando a 1ª lei da termodinâmica: $\Delta U = Q - W \rightarrow 0 = Q - W \rightarrow Q = W$. (Transformação cíclica).

Desse modo, todo calor que a máquina recebe ao longo do ciclo é igual ao trabalho realizado por ela.

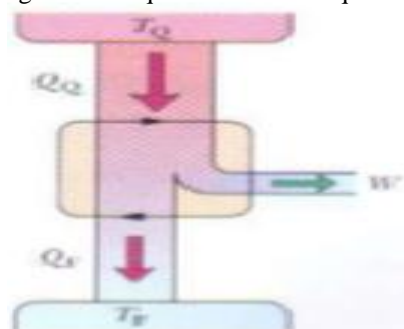
Durante um ciclo, uma máquina térmica recebe um calor Q_H da fonte quente e rejeita um calor Q_C para a fonte fria. Assim todo calor absorvido ao longo do ciclo é:

$$Q = Q_H + Q_C \rightarrow Q = |Q_H| - |Q_C|$$

Foi visto que essa quantidade total de calor que a máquina recebe é igual ao trabalho que ela realiza, assim:

$$Q = W = |Q_H| - |Q_C| \rightarrow W = |Q_H| - |Q_C|$$

Figura 18: Esquema de uma máquina térmica.



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2007, p. 255).

A eficiência de uma máquina térmica é a parte de calor proveniente da fonte quente que a máquina consegue converter em trabalho.

$$e = \frac{W}{Q_H} = \frac{|Q_H| - |Q_C|}{|Q_H|} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} \text{ (eficiência de uma máquina térmica)}$$

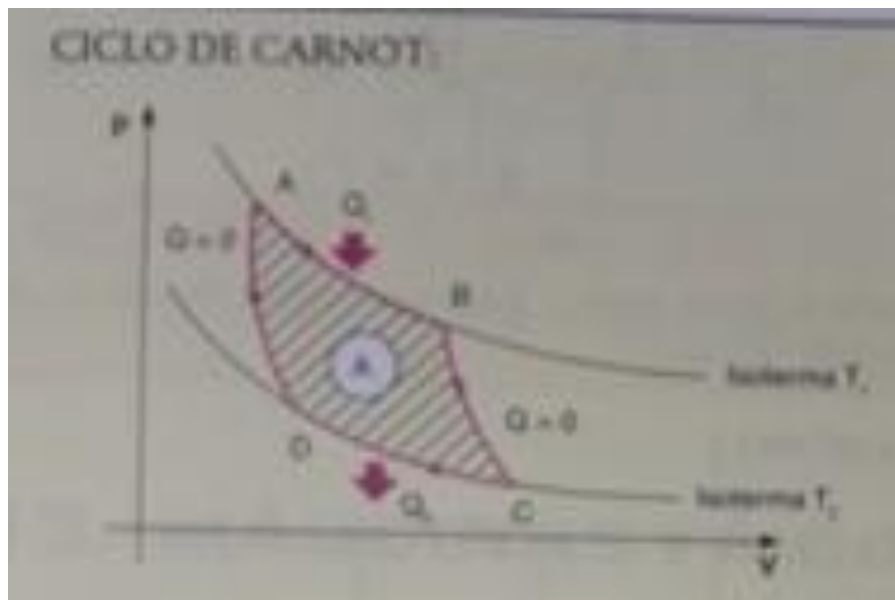
Nenhuma máquina terá eficiência 1, pois pela segunda lei da termodinâmica, é impossível uma máquina térmica operando entre duas fontes térmicas com temperatura diferentes converter todo calor em trabalho

3.8.4 Máquina de Carnot

A máquina de Carnot é segundo Sears et. al. (2008, p. 211), uma máquina térmica hipotética que fornece a eficiência máxima de uma máquina, permitida pela segunda lei da termodinâmica.

O ciclo dessa máquina ideal é denominado de ciclo de Carnot e é constituído de quatro transformações reversíveis, sendo duas isotérmicas e duas adiabáticas. O diagrama a seguir representa o esquema do ciclo da máquina de Carnot:

Figura 19: Esquema do ciclo de Carnot.



Fonte: Fonte: Fuke et al (1998, p. 126).

Então pode-se analisar as seguintes transformações:

- A → B: expansão isotérmica reversível na temperatura T_H , na qual o sistema recebe o calor Q_H proveniente da fonte quente;
- B → C: expansão adiabática reversível, na qual não ocorre troca de calor com o gás e ocorre um resfriamento até a temperatura T_C ;
- C → D: compressão isotérmica reversível, na qual o sistema cede um calor Q_C para a fonte fria;
- D → A: compressão adiabática, na qual não ocorre troca de calor com as fontes térmicas e o gás retorna ao seu estado inicial ao ser aquecido até a temperatura T_H .

Na expansão isotérmica AB, a variação de energia interna é nula ($\Delta U = 0$), logo, o calor recebido da fonte quente é igual ao trabalho realizado pelo gás na expansão, assim $Q_H = W_{AB}$. Já foi estudado anteriormente que o trabalho pode ser calculado pela expressão $W_{AB} = \eta \cdot R \cdot T_H \cdot \ln \frac{V_B}{V_A} = Q_H$

Da mesma forma, na compressão isotérmica, o calor que o sistema rejeita para a fonte fria (Q_C) é igual ao trabalho que o ambiente executa sobre o sistema (W_{CD}), assim: $Q_C = W_{CD} = -\eta \cdot R \cdot T_C \cdot \ln \frac{V_D}{V_C}$. O sinal fica negativo nessa expressão porque o trabalho é negativo pois o volume diminui.

Efetuada a razão entre o calor rejeitado para a fonte fria e o calor recebido da fonte quente, tem-se: $\frac{Q_C}{Q_H} = \frac{-\eta \cdot R \cdot T_C \cdot \ln \frac{V_D}{V_C}}{\eta \cdot R \cdot T_H \cdot \ln \frac{V_B}{V_A}} \rightarrow \frac{Q_C}{Q_H} = -\left(\frac{T_C}{T_H}\right) \cdot \frac{\ln \frac{V_D}{V_C}}{\ln \frac{V_B}{V_A}}$

Em uma transformação adiabática, pode-se relacionar volume e temperatura pela expressão $T \cdot V^{\gamma-1} = \text{constante}$. Assim, nas duas transformações adiabáticas, tem-se:

$$T_H \cdot V_B^{\gamma-1} = T_C \cdot V_C^{\gamma-1} \text{ e } T_H \cdot V_A^{\gamma-1} = T_C \cdot V_D^{\gamma-1}$$

Manipulando essas expressões obtêm-se:

$$\frac{T_C}{T_H} = \frac{V_B^{\gamma-1}}{V_C^{\gamma-1}} \cdot \frac{T_C}{T_H} = \frac{V_A^{\gamma-1}}{V_D^{\gamma-1}} \text{ assim,}$$

$$\frac{V_B^{\gamma-1}}{V_C^{\gamma-1}} = \frac{V_A^{\gamma-1}}{V_D^{\gamma-1}}$$

Extraindo a raiz $(\gamma - 1)$ é dada a igualdade acima e organizando, tem-se:

$$\frac{V_B}{V_A} = \frac{V_D}{V_C}$$

Aplicando essa igualdade na equação $\frac{Q_C}{Q_H} = -\left(\frac{T_C}{T_H}\right) \cdot \frac{\ln \frac{V_D}{V_C}}{\ln \frac{V_B}{V_A}}$ obtém-se:

$$\frac{Q_C}{Q_H} = -\left(\frac{T_C}{T_H}\right) \rightarrow \frac{|Q_C|}{|Q_H|} = \frac{T_C}{T_H}$$

Conclui-se que no ciclo de Carnot existe uma relação de proporcionalidade entre as quantidades de calor rejeitada à fonte fria (Q_C) e recebida da fonte quente (Q_H) com as respectivas temperaturas absolutas dessas fontes.

A eficiência de uma máquina térmica é dada por $e = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$, porém na máquina de Carnot foi mostrado que $\frac{|Q_C|}{|Q_H|} = \frac{T_C}{T_H}$, então:

$$e = 1 - \frac{T_C}{T_H} \text{ (eficiência de uma máquina térmica)}$$

3.8.5 Refrigeradores

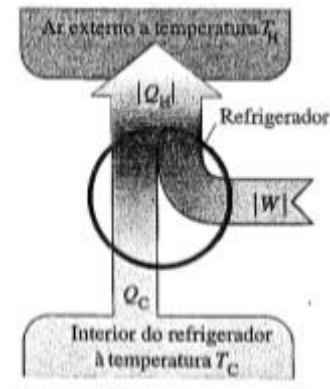
Um refrigerador é uma propriedade térmica que utiliza trabalho para transferir calor de uma fonte fria para uma fonte quente operando em um ciclo invertido. O refrigerador recebe um trabalho W e cede um calor Q_H para a fonte quente, então W e Q_H são negativos, porém o calor recebido da fonte fria é positivo. Assim,

$$|Q_H| = |W| + Q_C$$

A razão entre a quantidade de calor retirada da fonte fria (energia utilizada) e o trabalho realizado sobre o refrigerador (energia adquirida) é denominada de coeficiente de performance (K_P):

$$K_P = \frac{|Q_C|}{|W|} = \frac{|Q_C|}{|Q_H| - Q_C}$$

Figura 20: Esquema do fluxo de energia em um refrigerador



Fonte: Sears et al. (2008, p. 204).

Já foi visto que um refrigerador é uma máquina térmica operando em ciclos invertidos. Desse modo, um refrigerador de Carnot é considerado o refrigerador de maior performance operando sob as mesmas temperaturas entre as fontes fria e quente. Assim, o seu coeficiente de performance K_P pode ser assim obtido:

$$K_P = \frac{|Q_C|}{|W|} = \frac{|Q_C|}{|Q_H| - Q_C}$$

Multiplicando o segundo membro da equação anterior por $\frac{1}{\frac{|Q_H|}{1}}$ obtém-se:

$$K_P = \frac{\frac{1}{\frac{|Q_H|}{1}}}{1 - \frac{|Q_C|}{|Q_H|}} \quad \text{Foi visto no ciclo de Carnot que: } \frac{|Q_C|}{|Q_H|} = \frac{T_C}{T_H}, \text{ então:}$$

$$K_P = \frac{\frac{1}{\frac{T_H}{1}}}{1 - \frac{T_C}{T_H}} \rightarrow K_P = \frac{T_C}{T_H - T_C} \quad (\text{Coeficiente de performance do refrigerador de Carnot}).$$

3.8.6 Noções de mecânica estatística

Conforme estudado anteriormente, a entropia é uma grandeza que mede a desordem de um sistema. Para se ter um melhor entendimento e saber como calcular essa entropia é necessário conhecer conceitos elementares de macroestados, microestados e multiplicidade.

Esses conceitos podem ser introduzidos a partir do exemplo de um fenômeno matemático que aparentemente não tem relação com a Física, mas que serve para fundamentar esses conceitos.

Supondo que uma pessoa disponha de três moedas distintas (25 centavos, 50 centavos e 1 real) e, jogue cara ou coroa com essas três moedas e observe como que elas caem sobre a mesa. Pode existir as seguintes possibilidades diferentes de as moedas caírem sobre a mesa:

- as três moedas caírem com a face cara (c);
- duas das moedas apresentarem cara (c) e a outra coroa (C), e isso pode ocorrer de três maneiras diferentes;
- uma das moedas apresentar cara (c) e as outras duas apresentarem coroa (C), e isso pode ocorrer de três maneiras diferentes;
- as três moedas apresentarem coroa (C).

Esquemáticamente, tem-se:

25 centavos	50 centavos	1 real
c	C	c
c	C	C
c	C	c
C	C	c
c	C	C
C	C	C
C	C	c
C	C	C

Existem oito possibilidades de resultados, e cada uma dessas possibilidades será denominada de microestado possível para o sistema formado pelas três moedas. O microestado é o estado no qual se sabe que face cada moeda apresenta para o alto.

Dentre os oito microestados possíveis, existe um grupo que um microestado apresenta as três faces cara; outro grupo que três microestados apresentam duas faces cara para cima; outro grupo no qual três microestados apresentam uma face cara para cima, e um grupo no qual um microestado não apresenta nenhuma das moedas com face cara para cima. Na mecânica estatística, todos os microestados são igualmente prováveis (equiprováveis), ou seja, têm a mesma probabilidade de ocorrência.

Ao agrupamento desses microestados denomina-se macroestados, então no caso em estudo tem-se quatro macroestados possíveis para o sistema.

O número de microestados que resultam no mesmo macroestado é denominado de multiplicidade. Por exemplo, o macroestado que tem duas faces caras para cima tem multiplicidade 3 pois existem três microestados distintos associados ao mesmo macroestado. Quanto maior a multiplicidade, maior a probabilidade de esse macroestado aparecer, ou seja, são mais prováveis.

Seja Ω a multiplicidade de um macroestado e n a quantidade de caras que determina um macroestado, então, no exemplo analisado, tem-se:

$$\Omega(3) = 1; \Omega(2) = 3; \Omega(1) = 3 \text{ e } \Omega(0) = 1$$

A multiplicidade total Ω é o número de microestados formados nas condições descritas.

A probabilidade de ocorrência de um macroestado qualquer é a razão entre o número de microestados associados ao macroestado e o número total de microestados.

Assim, $P_{(n)} = \frac{\Omega(n)}{\Omega}$ (Probabilidade de ocorrência de um macroestado).

Para um sistema contendo N moléculas de um gás, a multiplicidade de um macroestado pode ser calculada por:

$$\Omega = \frac{N!}{n_1! \cdot n_2!}$$

A entropia de S de um estado macroscópico pode ser calculada pela equação da entropia de Boltzmann dada por: $S = K \cdot \ln \Omega$

Onde S é a entropia, Ω é a multiplicidade do macroestado e K é a constante de Boltzmann ($K = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$).

Em um sistema termodinâmico, o que interessa é a variação de entropia e não a entropia absoluta. Assim, um sistema que sofre um processo termodinâmico partindo de um macroestado 1 com Ω_1 microestados possíveis para um macroestado 2 com Ω_2 microestados possíveis. Assim, a variação de entropia pode ser calculada por:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = K \cdot \ln \Omega_2 - K \cdot \ln \Omega_1 \rightarrow K \cdot (\ln \Omega_2 - \ln \Omega_1) \rightarrow$$

$$\Delta S = K \cdot \ln\left(\frac{\Omega_2}{\Omega_1}\right)$$

É importante salientar que, pela 2ª lei da termodinâmica, se um processo ocorre em um sistema fechado, a entropia aumenta para os processos irreversíveis e permanece constante para processos reversíveis (situação hipotética ideal), ou seja, $\Delta S \geq 0$. Desse modo, a variação de entropia só pode admitir valores maiores ou iguais a zero

Capítulo 4

Aplicação e análise dos resultados do produto educacional

4.1 Metodologia

A aplicação do produto educacional foi realizada em todas as atividades previstas com alunos de cinco turmas de 3ºs anos do turno matutino da Escola Estadual Moreira e Silva no período entre os dias 27 de novembro e 12 de dezembro de 2019, utilizando as duas aulas previstas na disciplina de 60 minutos cada para cada capítulo. Diante do pouco tempo para aplicação do produto educacional e a quantidade de recursos disponíveis no mesmo, não foi possível utilizar todos os recursos, tendo que fazer algumas adaptações.

Inicialmente foi repassado para os alunos o livro digitalizado (produto educacional) na forma de arquivo pdf através de e-mail ou pelo aplicativo whatsapp em grupos formados por alunos das turmas que lecionamos em conjunto com o professor. Apesar de o conteúdo do produto educacional (P.E), em geral, ser ensinado aos alunos do ensino médio regular no 2º ano do ensino médio, a aplicação se deu em turmas de 3º s anos devido a dois fatores:

- Nas escolas da rede estadual de ensino só são duas aulas semanais de Física e os professores dos 2ºs anos não tinham como ceder suas aulas para aplicação naquele momento;

- Na condição de mestrando e como era professor de cinco turmas de 3ºs anos, após a conclusão da programação regular influenciada para uma preparação para os vestibulares é que após finalizarmos a preparação da programação digitalizada que vínhamos desenvolvendo é que foi possível realizar a aplicação da programação digitalizada sobre termodinâmica. Diante de contar apenas com duas semanas de período letivo foi feita uma adaptação de distribuir os capítulos do P.E pelas cinco turmas, destinando um capítulo para cada uma das turmas A, B e F, e dois capítulos para as turmas D e E. Com este procedimento conseguimos aplicar todos os sete capítulos para efeito de investigar o efeito de todo o P.E. Em nossa apreciação, essa decisão foi possível diante do fato de serem alunos que já tiveram contato com o conteúdo de termodinâmica em séries anteriores e pela maturidade que já haviam adquirido com a Física por serem alunos concluintes do ensino médio.

O desenvolvimento do P.E teve como principal objetivo elaborar um processo metodológico utilizando recursos digitais que possam facilitar o processo de aprendizagem dos alunos do ensino médio. Pensamos que através da criação de um recurso educacional de mídia, uma vez usado adequadamente possa ser um aliado no processo de ensino-aprendizagem sobre o conteúdo científico proposto.

A investigação do P.E foi de natureza qualitativa envolvendo algumas provas documentais ilustradas com índices estatísticos.

Como procedimento, ao início dos capítulos buscamos analisar os conhecimentos prévios dos alunos através de questionários ou de problematizações que como professor lançou para as turmas acompanhadas. Em capítulos que envolviam um maior grau de abstrações, esse procedimento foi trabalhado com a nossa própria participação através de questionamentos, realização de simulações virtuais e intervenções durante as mesmas.

Um fato que estimulou bastante os alunos foi a autorização para o uso de aparelho celular em sala de aula, pois existe uma portaria da rede estadual de ensino que proíbe o uso de mídias digitais em sala que não sejam para fins didáticos. Então, muitos alunos que só utilizavam seus aparelhos para acessar redes sociais durante as aulas e que muitas vezes chegavam a serem retirados de sala por esse motivo, começaram a utilizar o celular para acompanhar as aulas do professor através do P.E.

Durante a execução do P.E implementamos recursos escritos, vídeos, animações, simulações virtuais, escritos temáticos com ilustrações digitais e experimentos laboratoriais que estão sempre voltados para um ensino inovador através de conteúdos contextualizados e interdisciplinares com um enfoque social e que possa produzir mudanças na vida dos alunos.

Para analisar os resultados da aplicação do P.E tomando como fundamentos a teoria da aprendizagem significativa, criamos uma tabela com as classes e categorizações apresentando o grau de quanto o material foi potencialmente significativo para os alunos à luz da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, como mostra o quadro a seguir:

Classe	Categorização
1	Ótimo nível
2	Bom nível
3	Nível intermediário
4	Pouco nível
5	Nenhum rendimento

Tabela 4: Classificação da potencialidade do produto educacional de acordo com a aprendizagem dos alunos.

O P.E é considerado de classe 1 quando se tornasse potencialmente significativo para um grupo de alunos com um ótimo nível de rendimento em sua totalidade; a classe 2 é aquela na qual os alunos apresentassem um bom nível de rendimento em quase toda a sua totalidade; na classe 3 os alunos que tivessem um nível intermediário de rendimento; a classe 4 é aquela na qual os alunos tivessem pouco nível de rendimento, porém conseguissem obter algum conhecimento e, na classe 5 estão aqueles aluno que não obtivessem nenhum rendimento.

4.2 Aplicação e análise dos resultados do capítulo 1 do P.E

O capítulo 1 que trata sobre os conceitos básicos de termologia e escalas termométricas foi executado na turma do 3º ano A. No primeiro encontro dividimos a turma em grupos, originando seis grupos de cinco componentes. Foi solicitado que tentassem resolver um questionário presente no P.E e realizassem discussões entre os componentes a fim de que pudéssemos analisar seus conhecimentos prévios.

Após analisar os mais diversos pontos de vista, foi iniciada a aula expositiva, explicando os conceitos de calor, temperatura, equilíbrio térmico e sensações térmicas. Durante as discussões pôde-se perceber que o termo calor era confundido com o conceito de temperatura pela maioria dos alunos. Então, foi enfatizado que fisicamente calor é a energia em movimento entre dois corpos devido a uma diferença de temperatura entre eles.

Figura 21 – Mestrando explicando os conceitos básicos de termologia e alguns alunos acompanhando por seus celulares através do produto educacional.

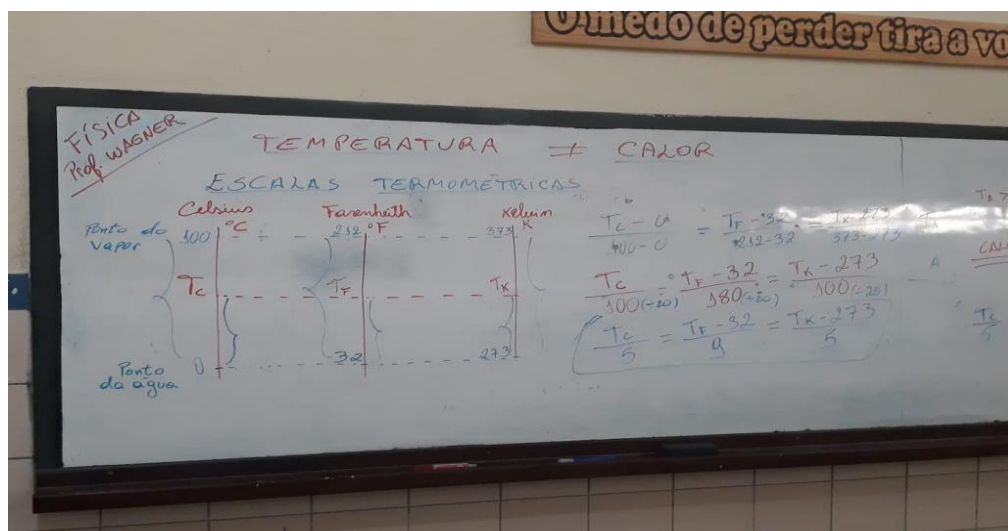


Fonte: Autor (2019).

Nessa aula foram mostradas algumas formas de obtenção de calor com e sem queima de algum combustível, inclusive com a sugestão de leitura de um texto sobre combustão dos alimentos contido num hiperlink presente no P.E.

O segundo encontro foi dividido em duas partes, na primeira parte foram demonstradas as relações entre as três principais escalas termométricas.

Figura 22 – Quadro com a demonstração da relação entre as escalas termométricas.



Fonte: Autor (2019).

Posteriormente, os alunos foram levados ao auditório, onde com o uso de um data show, de um notebook e de uma rede wifi foram apresentados ao simulador

virtual PhET com qual foram realizadas simulações com a substância nos três estados físicos, analisando o comportamento microscópico de suas moléculas em cada estado e durante o seu aquecimento e resfriamento.

Figura 23 – Apresentação do simulador virtual PhET aos do 3 ° A e realização de simulações.



Fonte: Autor (2019).

Observamos na utilização do simulador que os alunos ficaram despertados com o uso do simulador e então mostramos-lhes que pode ser utilizado para realizar simulações em diversas áreas da Física, assim como em conteúdos de química, da biologia e da matemática.

Percebemos que a utilização desses objetos virtuais de simulação é capaz de fazer com que o aluno supere o grau de abstração de determinados conteúdos, pois permite que o ele visualize microscopicamente o fenômeno e consiga lhe atribuir um significado.

Então, diante dessas observações anteriores pudemos constatar que os alunos mostraram uma predisposição para acompanhar os procedimentos mostrados e o conteúdo associado ao recurso, o que de certa forma mostra que o material de ensino estava se tornando potencialmente significativo para os mesmos.

No primeiro encontro, aplicamos aos seis grupos formados algumas perguntas e questões relativas aos exercícios 1, 2 e 3 do capítulo 1 a fim de verificar os seus conhecimentos prévios ou elementos de base e, dado um tempo para que fizessem uma discussão entre si para responder.

A questão 1 fazia quatro afirmações muito utilizadas no cotidiano e pedia que fossem feitas as correções/explicações do ponto de vista físico.

- 1) Algumas das afirmações a seguir são utilizadas no cotidiano. Discuta com os colegas (grupo de 4 alunos) e corrija quando necessário essas afirmações de acordo com os conceitos estudados neste capítulo:
- a) “– Só tem refrigerante gelado? Estou resfriado.
- Coloque a garrafa na água para ela ‘perder’ gelo.”
 - b) “— Esta mamadeira está muito quente.
- Coloque numa panela com água, para esfriar”.
 - c) “– Como a cozinha está quente.
- “É que o forno está ligado.”
 - d) “– Tire a feijoadada da panela e coloque numa cumbuca de barro, senão vai esfriar”.

Questão 1 do capítulo 1 do produto educacional

Na análise deste teste de conhecimentos prévios, trazido na letra (a) da questão 1 observamos que todos os alunos desses grupos erraram do ponto de vista físico.

Algumas respostas chamaram atenção como:

-“o refrigerante irá perder ‘gelo’ porque receberá calor da água e por isso ficará mais ‘frio’.” (Resposta do grupo C)

- “A água cede temperatura para a garrafa”. (Respostas dos grupos D, E e F)

- “A água cede calor para o refrigerante fazendo com que ele esfrie”.
(Respostas dos grupos A e B)

Na letra (b) foram obtidas 4 respostas erradas e 2 corretas, destacando-se as seguintes:

- “A mamadeira cede temperatura para a panela com água por isso ela esfria”.

(Resposta errada do grupo B)

- “A mamadeira cede calor para a água até que a temperatura dos dois se igualem, fazendo com que a mamadeira esfrie”. (Resposta correta do grupo A)

A letra C obteve 5 respostas erradas e apenas uma correta, destacando-se:

- “O forno está com mais calor do que o ambiente por isso cede temperatura ao ambiente”. (Resposta errada do grupo C)

- “O forno está com uma temperatura maior que a do ambiente por isso cede calor para ele gerando um aquecimento”. (Resposta correta do grupo A)

Na letra (d) todos os grupos acertaram a questão e foram unânimes em afirmar que a cumbuca de barro demora a esfriar a feijoada porque é isolante térmico e a panela de metal conduz bem o calor por isso esfria rápido. Destacamos a seguinte resposta:

- “A cumbuca é um isolante térmico e evita com que a feijoada perca calor e esfrie”. (Resposta do grupo A)

A questão 2 solicita que o grupo marque a alternativa mais correta conceitualmente.

2) (PUC-SP) Assinale a frase mais correta conceitualmente:

- a) “Estou com calor”.
- b) “Vou medir a febre dele”.
- c) “O dia está quente; estou recebendo muito calor”.
- d) “O dia está frio; estou recebendo muito frio”.
- e) “Minha temperatura está alta, estou com bastante calor”.

Questão 2 do capítulo 1 do produto educacional.

Foram obtidas nessa questão 3 respostas corretas (letra C) e 3 respostas erradas (letras D e E).

Nas respostas erradas, pudemos perceber que os alunos foram levados ao erro por suas concepções espontâneas.

A questão 3 era uma questão de múltipla escolha, que solicitava a marcação da alternativa correta para a condição necessária para que existisse transferência de calor de um corpo para o outro, e todos os grupos acertaram a resposta, indicando que é necessário que exista uma diferença de temperatura entre eles.

3) O fato de o calor passar de um corpo para outro deve-se à (ao):

- a) Quantidade de calor existente em cada um.
- b) Diferença de temperatura entre eles.
- c) Energia cinética total de suas moléculas.
- d) Número de calorias existentes em cada um.
- e) Existência de vácuo entre os corpos.

Questão 3 do capítulo 1 do produto educacional

Analisando os resultados da aplicação do questionário observamos que a maior parte dos alunos possuía elementos de base para compreender as novas informações que lhe seriam apresentadas através de interações baseadas na teoria da aprendizagem significativa.

Ao final do primeiro encontro com a turma, após termos explicado todos os conceitos físicos envolvidos no questionário que havia aplicado no início, pôde-se perceber um progresso na atribuição de significados daqueles alunos que tinham respondido de forma errada o questionário, assim como um despertar para entender o porquê daqueles fenômenos físicos acontecerem.

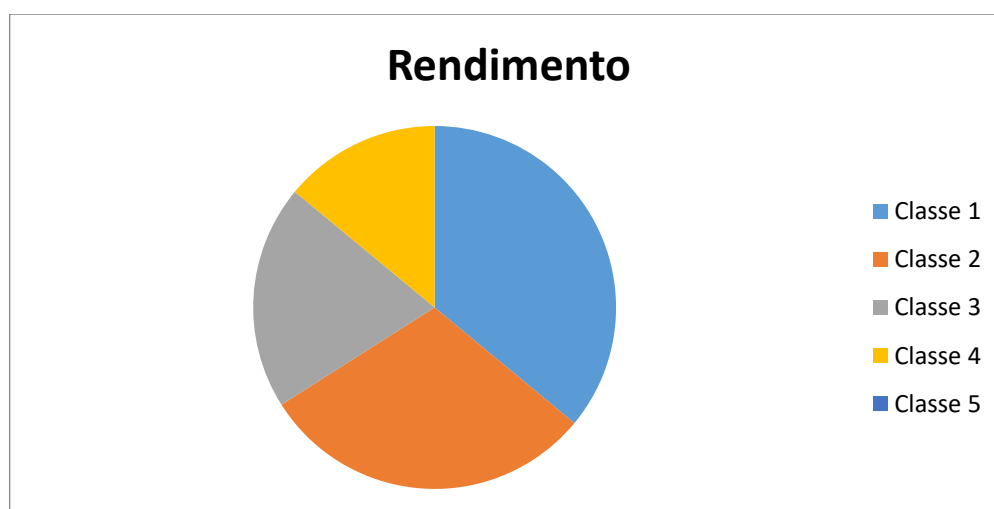
Durante as discussões, na condição de professor atuamos como um mediador, utilizando o conceito de zona de desenvolvimento proximal de Vigotsky, sempre tentando fazer com que os novos conhecimentos científicos interagissem com os seus conhecimentos já existentes para que a aprendizagem pudesse ocorrer de forma significativa e próxima de suas realidades sociais e cotidianas.

Diante da classificação da potencialidade do P.E de acordo com o nível de rendimento e aprendizagem que foi estabelecida, obtivemos o seguinte resultado na aplicação do P.E no 3º ano A:

Classe	Rendimento
Classe 1	36%
Classe 2	30%
Classe 3	20%
Classe 4	14%
Classe 5	0%

Tabela 5: Distribuição da potencialidade de acordo com o rendimento dos alunos com a utilização do produto educacional no 3º ano A.

Figura 23: Gráfico de distribuição da potencialidade de acordo com o rendimento dos alunos com a utilização do produto educacional no 3º ano A.



4.3 Aplicação do capítulo 2 do P.E

A aplicação deste capítulo ocorreu na turma do 3º ano D em dois momentos. No primeiro encontro ao iniciarmos a aula propusemos algumas problematizações (problematizações do capítulo 2 do P.E) com situações cotidianas que envolvem dilatação térmica. Foi dado certo tempo para que os alunos discutissem suas

concepções e atuamos como mediador e ao mesmo tempo analisamos os conhecimentos prévios da turma em geral. No trabalho de discussões entre os alunos, estimulamos através da proposição de situações problematizadoras que fizeram com que dessem margem às discussões em sala de aula durante nossa intervenção.

Após a fase inicial de discussões, procedemos com a explicação dos conteúdos físicos relacionados à dilatação térmica e passamos a justificar as situações problematizadoras propostas inicialmente. A seguir estão as problematizações trabalhadas com os alunos em sala de aula no primeiro encontro:

- 1) De acordo com seus conhecimentos, responda:
 - a) Quando se soldam duas partes de um corpo que se fragmentou, é necessário que o material utilizado na solda tenha coeficiente de dilatação de valor próximo ao do material que constitui o corpo que está sendo colado. Por quê?
 - b) Quando o dentista faz uma obturação dentária, ele deve utilizar um material com coeficiente de dilatação próximo ao material do dente. Por quê?
 - c) Para destarraxar a tampa metálica de um vasilhame de vidro, recomenda colocá-la sob água quente. Por quê?
 - d) Ninguém deve levar um recipiente de vidro comum diretamente ao fogo, pois ele se quebra. O mesmo não acontece com um recipiente de vidro pirex. Por quê?
- 2) Ao lavarmos louça, às vezes verificamos que um copo fica preso dentro do outro, sendo difícil separá-los com segurança. Com base nos seus conhecimentos físicos, qual (is) uma(s) maneira(s) simples de soltar um copo do outro sem perigo de quebrá-los?

Constatamos durante os debates que a maior parte da turma não sabia responder os questionamentos e alguns chegavam a arriscar respostas absurdas como:

- “O vidro pirex não quebra quando levado ao fogo porque tem uma resistência maior do que o vidro comum”.

Então, quando diagnosticamos as dificuldades, explicamos que os corpos ao serem aquecidos ou resfriados podem variar as suas dimensões e que cada corpo é constituído de substâncias que possuem uma grandeza que fornece a sua dilatação por variação de temperatura, o chamado coeficiente de dilatação térmica.

Apresentamos aos alunos uma tabela com os coeficientes de dilatação térmica de diversas substâncias (tabela 1 do capítulo 2), e explicamos porque algumas substâncias se dilatam mais do que outras ao sofrerem as mesmas variações de temperatura.

A partir dessas definições, explicamos todas as problematizações propostas inicialmente através de conceitos físicos, o que gerou uma imensa satisfação por parte dos alunos em entenderem as justificativas daquelas situações.

Na aula seguinte foi trabalhada com a turma a dilatação térmica dos líquidos e foi lançada uma problematização do que seria mais vantajoso, comprar combustível por volume (como ocorre) ou por massa.

Após uma série de discussões e análise das concepções foi explicado que para a queima (combustão) do combustível o que interessa é a massa, e que os líquidos ao serem aquecidos têm seu volume aumentado, o que conseqüentemente diminui a quantidade de massa por litro de combustível, o que acarreta em desvantagem para o cliente, concluindo que o correto seria a aquisição de combustíveis por massa ao invés da aquisição por volume.

Na parte da dilatação dos líquidos houve espaço para se trabalhar não apenas com as trocas de calor, mas inserindo o conceito de trabalho termodinâmico e variação de energia interna segundo constam na primeira lei da termodinâmica (lei da conservação da energia mais ampliada).

Nesse dia, também explicamos um fenômeno físico atípico que ocorre com a água, denominado de comportamento anômalo da água, fenômeno esse que ao ser aquecida de 0 °C a 4 °C ao invés de aumentar o seu volume ela se contrai e o inverso ocorre quando se resfria de 4 °C a 0 °C, então foram mostradas as justificativas de existir vida em ambientes aquáticos cobertos por uma superfície de gelo e o porquê garrafas cheias com água no congelador estourarem.

Durante as duas aulas desse capítulo, os alunos fizeram o acompanhamento do P.E através de seus celulares. Eles fizeram questão de destacar o fato de não ser necessário levar o livro para a escola e ter a vantagem de no livro digital ser possível acessar programas, vídeos, textos e animações através dos hiperlinks presentes.

Nesta turma o P.E foi aplicado utilizando dois capítulos, os capítulos 2 e 5, então somente nas discussões sobre a aplicação do capítulo 5 será feita a análise sobre a potencialidade do P.E.

4.4 Aplicação e análise dos resultados do capítulo 3 do P.E

O capítulo 3, processos de transmissão de calor, foi aplicado na turma do 3º ano F. No primeiro encontro ocorrido na aplicação do P.E propusemos algumas problematizações presentes no P.E de fenômenos cotidianos relacionados aos conteúdos do capítulo.

- a) Por que as colheres utilizadas para misturar alimentos em panelas são de plástico ou de madeira e não de metal?
- b) Por que os aparelhos de ar condicionado devem colocados na parte alta do ambiente?
- c) Por que ao colocarmos um objeto metálico exposto ao sol ele sofre um aquecimento?
- d) Uma pessoa ao abrir uma geladeira e pegar uma garrafa de vidro e uma lata de refrigerante à mesma temperatura tem a sensação térmica da lata estar mais gelada do que a garrafa. Explique porque isso ocorre.

Problematizações do capítulo 3

Estimulamos as discussões entre a turma acerca das perguntas, e observamos as mais diversas respostas a fim de diagnosticar os conhecimentos prévios dos alunos. Em seguida, foram explicamos os três processos de propagação de calor (condução, convecção e irradiação), citamos aplicações cotidianas e respondemos corretamente todos os questionamentos lançados inicialmente. Grande parte dos alunos demonstrou nas discussões um grau de conhecimento razoável relacionado ao assunto, o que demonstrou que possuía elementos de base para se relacionar com o novo conhecimento apresentado e aprender de forma significativa.

Nessa aula foi introduzido o conceito de coeficiente de condutibilidade, mostrando a tabela 1 deste capítulo do P.E com os coeficientes de condutibilidade de diversas substâncias, o que serviu para mostrar que os metais conduzem o calor melhor do que os não metais, sendo considerados excelentes condutores de calor.

O segundo encontro, ocorrido na segunda aula, foi realizado no laboratório de informática e fizemos juntamente com os alunos uma leitura no P.E do capítulo trabalhado de um texto sobre o excesso de gás carbônico e os problemas causados pelo efeito estufa, e em seguida realizamos uma simulação virtual no aplicativo PhET sobre o efeito estufa. Como o laboratório estava com apenas seis computadores funcionando, então dividimos a turma em seis grupos e realizamos as simulações sob a mediação do professor. Nessas simulações foi possível fazermos uma análise de como os gases do efeito estufa interferem no clima e como ao alterar a sua concentração ocorrem mudanças de temperatura.

Figura 24 – Realização de simulações virtuais pelos alunos no laboratório de informática.



Fonte: Autor (2019).

Durante as simulações verificamos a empolgação dos alunos com esse tipo de recurso didático utilizado, o que fez com que muitos alunos que nunca demonstraram interesse ao longo das aulas de Física o fizessem de maneira interessante.

Nesse mesmo dia, realizamos perante a turma, um experimento simples para mostrar como a condução térmica ocorre em diferentes tipos de materiais. No experimento foi utilizado um ebulidor, um bécker com água, três colheres do mesmo tamanho de metal, madeira e plástico e manteiga.

Figura 25 – Experimento de demonstração da condução de calor.



Fonte: Autor (2019)

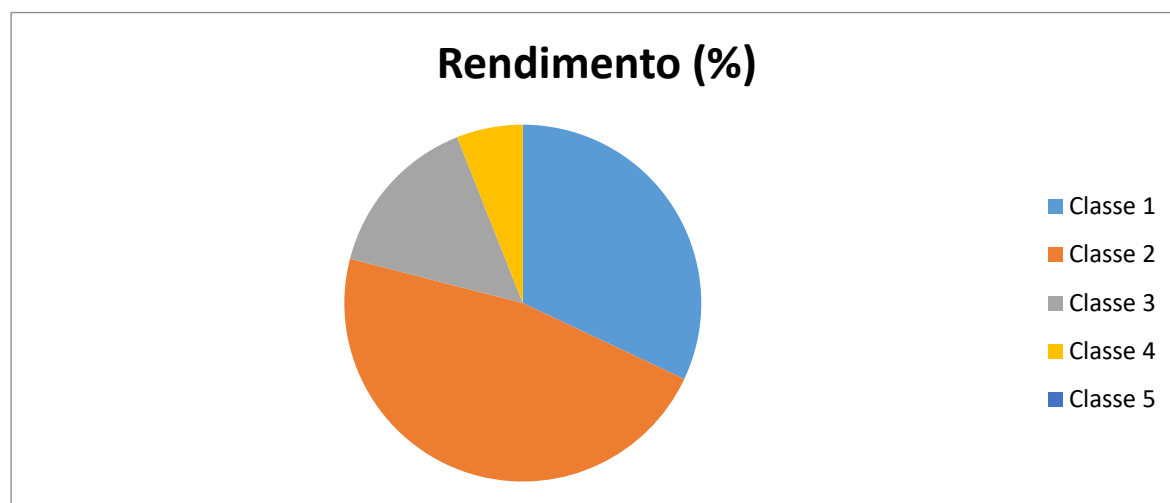
As três colheres contendo uma mesma quantidade de manteiga foram inseridas na água do béquer aquecida pelo ebulidor e após certo tempo verificamos que a manteiga contida na colher metálica derreteu bem mais rápido do que nas colheres de madeira e de plástico. Esse experimento serviu para mostrar que os metais são excelentes condutores de calor e o porquê no cotidiano não se utilizarem colheres metálicas para cozinhar, pois pode gerar queimaduras nas mãos.

A partir das observações e dos dados obtidos na aplicação deste capítulo no 3º ano F, obtivemos o seguinte resultado conforme a classificação da potencialidade do P.E de acordo com o nível de rendimento e aprendizagem dos alunos.

Classe	Rendimento (%)
Classe 1	32%
Classe 2	47%
Classe 3	15%
Classe 4	6%
Classe 5	0%

Tabela 6: Distribuição da potencialidade de acordo com o rendimento dos alunos com a utilização do produto educacional no 3º ano F.

Figura 26: Gráfico de distribuição da potencialidade do P.E de acordo com o rendimento dos alunos do 3º ano F.



4.5 Aplicação e análise dos resultados do capítulo 4 do P.E

O capítulo 4 do P.E, que trata sobre calorimetria, foi aplicado na turma do 3º ano B. No primeiro encontro estavam presentes 35 alunos e inicialmente lançamos as seguintes problematizações:

- Por que durante o dia a areia da praia se aquece mais do que a água e durante a noite ocorre o contrário?
- Por que nos desertos ocorrem mudanças drásticas de temperatura ao anoitecer e nas regiões litorâneas as variações térmicas são baixas?

Após uma série de discussões entre os alunos e com a mediação do professor, explicamos a eles que um corpo (substância) ao receber ou ceder calor pode sofrer uma variação de temperatura se aquecendo ou resfriando e mantendo o seu estado físico, mas também pode absorver ou liberar calor a uma temperatura constante alterando o seu estado físico.

Em seguida, conceituamos quantidade de calor sensível, quantidade de calor latente, calor específico e calor latente. Após essas definições, explicamos as problematizações lançadas inicialmente e justificamos a ocorrência de alguns fenômenos do cotidiano como a formação das brisas litorâneas e o porquê da água ser um regulador do clima.

Figura 26 – Aula expositiva sobre calorimetria e discussões de problemas cotidianos.



Fonte: Autor (2019).

No segundo encontro realizamos atividades no laboratório de informática e de ciências. No laboratório de informática fizemos simulações virtuais no simulador PhET sobre as variações de temperatura e sobre as mudanças de estado físico da água sendo possível analisar microscopicamente o comportamento molecular da substância. Essas simulações foram realizadas com a turma dividida em equipes e foram constatados todos os conceitos físicos ensinados em sala de aula.

Na segunda parte da aula realizamos um experimento no laboratório de ciência, utilizando um ebulidor, um béquer, um termômetro, uma balança digital de precisão e certa massa de água. Na primeira parte do experimento constatamos que uma massa de água (250 g) inicialmente a uma temperatura de 25 °C ao receber calor (proveniente do ebulidor) teve a sua temperatura elevada até a temperatura de 99,8 °C sem alterar a sua massa e o seu estado físico. Quando a temperatura atingiu os 99,8 °C, a água começou a vaporizar e a balança já passou a indicar uma diminuição da massa até atingir 100 g. Com o uso de um cronômetro calculamos o tempo de aquecimento da água líquida da massa de água e a partir daí realizamos os seguintes cálculos:

- No estado líquido, a água recebeu 18.295 cal de calor do ebulidor ($Q = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow Q = 250 \cdot 1 \cdot 74,8 \rightarrow Q = 18.700 \text{ cal} = 78.295 \text{ J}$);

- Na vaporização, a quantidade de calor fornecida à água que vaporizou foi de 12.000 cal ($Q = m \cdot L \rightarrow Q = 150 \cdot 80 \rightarrow Q = 12.000 \text{ cal}$);

- O tempo aferido para aquecer a massa de água líquida de 25 °C até 99,8 °C foi de 140 segundos, então se calculou a potência da fonte calor (ebulidor): $P = \frac{Q}{\Delta t} \rightarrow P = \frac{78.295}{140} \rightarrow P \equiv 560 \text{ W}$.

Nesse experimento surgiram alguns questionamentos, tais como:

- Por que a mudança de fase ocorre a uma temperatura constante?
- Se na maioria das fontes afirma-se que a temperatura de vaporização da água é de 100 °C, por que no experimento realizado a água entrou em ebulição a 99,8 °C?

A partir desses questionamentos explicamos que todas as substâncias puras mudam de fase a temperaturas constantes, pois a quantidade de calor que ela está recebendo ou cedendo serve para alterar o arranjo das partículas que formam as suas moléculas e não para produzir a sua agitação.

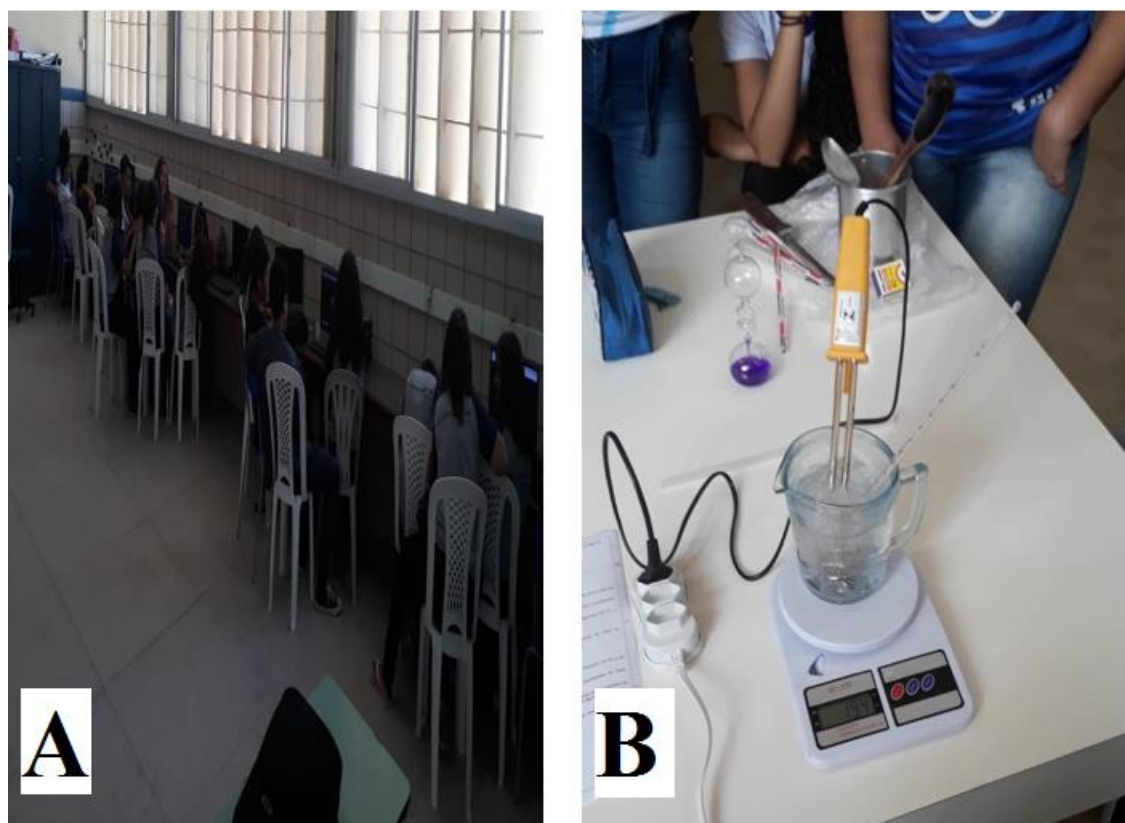
No segundo questionamento explicamos que a água tem ponto de vaporização igual a 100 °C ao nível do mar (pressão atmosférica de 1atm), e o que justifica a água ter entrado em vaporização a 99,8 °C é o fato de o experimento ter sido realizado a aproximadamente 45 m acima do nível do mar e que quanto maior for a altitude do ambiente menor será o seu ponto de vaporização.

Durante essa aula também discutimos com os alunos o porquê da utilização das panelas de pressão no cozimento dos alimentos, explicando que no seu interior a água permanece no estado líquido mesmo estando em temperaturas bem acima dos 100 °C provocando um aumento do seu ponto de ebulição devido à alta pressão na superfície da panela.

Durante os dois encontros observamos uma postura bem diferente por parte dos alunos dessa turma em relação às aulas durante todo o ano. Primeiramente, no acompanhamento das aulas pelo celular sem a necessidade do uso do livro didático físico, o que para a maioria é incômodo ter que trazer todos os dias para a escola devido ao peso.

Outro fato que gerou um enorme contentamento foi de poderem visualizar a ocorrência dos fenômenos físicos de aquecimento e resfriamento e de mudanças de estados físicos das substâncias utilizando simuladores virtuais e realizando experiências laboratoriais.

Figura 27 – A) Realização de simulações virtuais pelos alunos B) Realização de experimento sobre calorimetria.



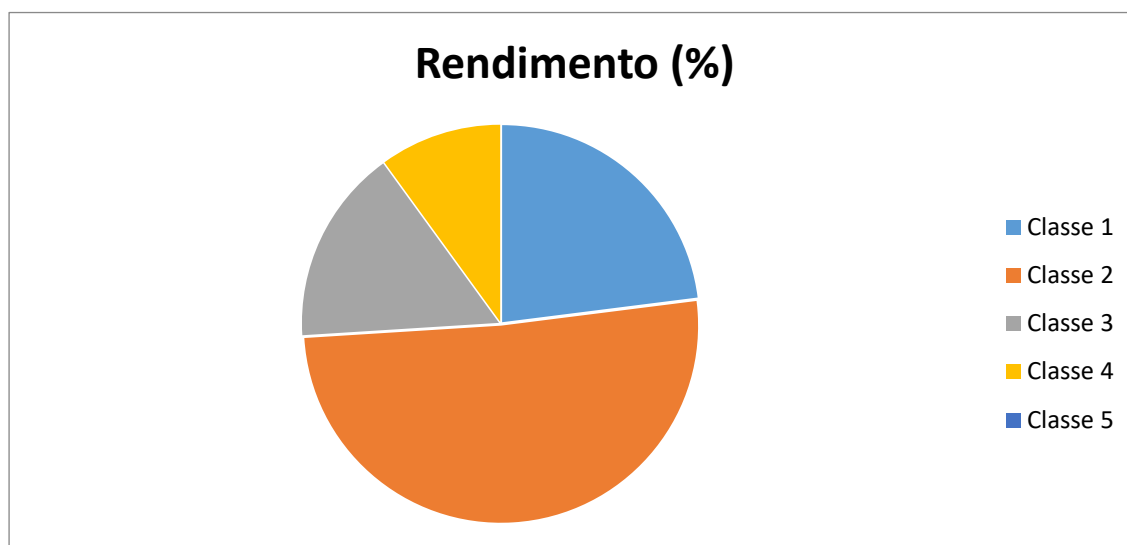
Fonte: Autor (2019)

De acordo com os dados obtidos e as observações feitas na aplicação do capítulo 4 do P.E na turma do 3º ano B chegamos ao seguinte resultado conforme a categorização proposta na metodologia de aplicação do P.E:

Classe	Rendimento (%)
Classe 1	23%
Classe 2	51%
Classe 3	16%
Classe 4	10%
Classe 5	0%

Tabela 7: Distribuição da potencialidade de acordo com o rendimento dos alunos do 3º ano B.

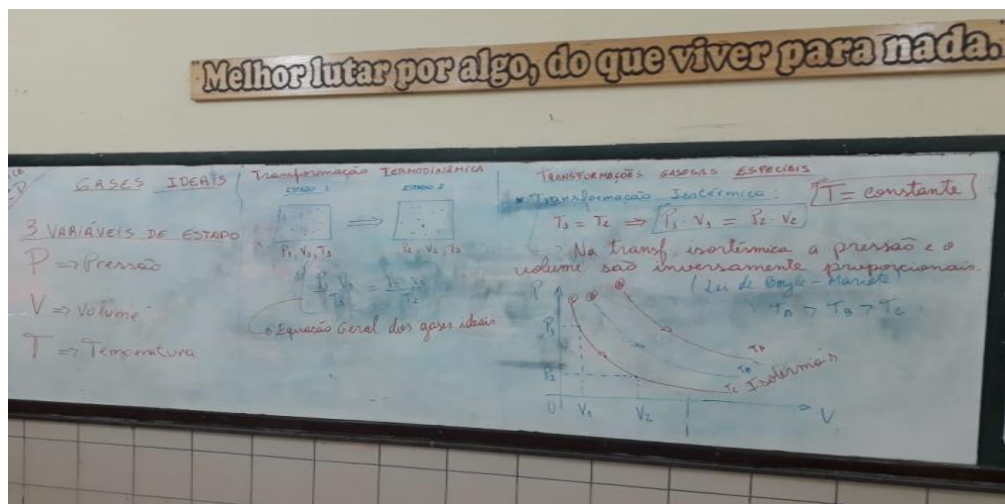
Figura 28: Gráfico de distribuição da potencialidade do P.E com os alunos do 3º ano B.



4.6 Aplicação e análise dos resultados do capítulo 5 do P.E

A aplicação do capítulo 5 do P.E foi realizada na turma do 3º ano D em duas aulas no mesmo dia; dividimos essa aula em dois momentos pedagógicos. No primeiro momento, através de uma aula expositiva, o conceituamos as condições para que um gás seja considerado ideal, definimos as variáveis macroscópicas de estado, as condições para que ocorra uma transformação gasosa, a equação geral dos gases perfeitos, explicamos as transformações gasosas especiais e suas relações de proporcionalidade construindo seus respectivos gráficos e por último resolvemos alguns exercícios contidos no P.E.

Figura 29 – Quadro-resumo da aula expositiva sobre gases ideais.



Fonte: Autor (2019)

Os alunos fizeram o acompanhamento da aula através de seus livros digitais (P.E) contidos nos seus celulares. Um fato que chamou atenção é que quase 100 % da turma possuem celulares digitais, o que mostra que estão conectados digitalmente.

Durante as aulas, uma boa parte dos alunos sentiu inicialmente dificuldades em distinguir grandezas diretamente e inversamente proporcionais, fato que mostra deficiência na matemática básica. Então, foi explicado utilizando exemplos cotidianos essa diferença e após as explicações constatamos uma boa assimilação por parte dos alunos.

Na segunda parte da aula, levamos os alunos ao auditório, onde realizamos simulações virtuais relacionadas ao conteúdo em análise nas quais conseguimos verificar as relações entre as variáveis de estado pressão, volume e temperatura quando se alteram essas grandezas. Foi possível analisarmos microscopicamente a alteração da velocidade das moléculas do gás ao ter sua temperatura variada e também visualizar as situações de quando o gás se expande e quando se contrai e a partir daí definimos o conceito de trabalho.

Com os dados obtidos dos estados inicial e final em uma das transformações gasosa das simulações, os alunos aplicaram na equação geral dos gases perfeitos e constataram a sua veracidade.

No auditório foram acessamos alguns hiperlinks contidos no P.E que trazem vídeos de experimentos que mostram situações práticas dessas transformações gasosas estudadas.

Figura 30 – Momento de realização de simulações virtuais de aprendizagem perante os alunos.



Fonte: Autor (2019)

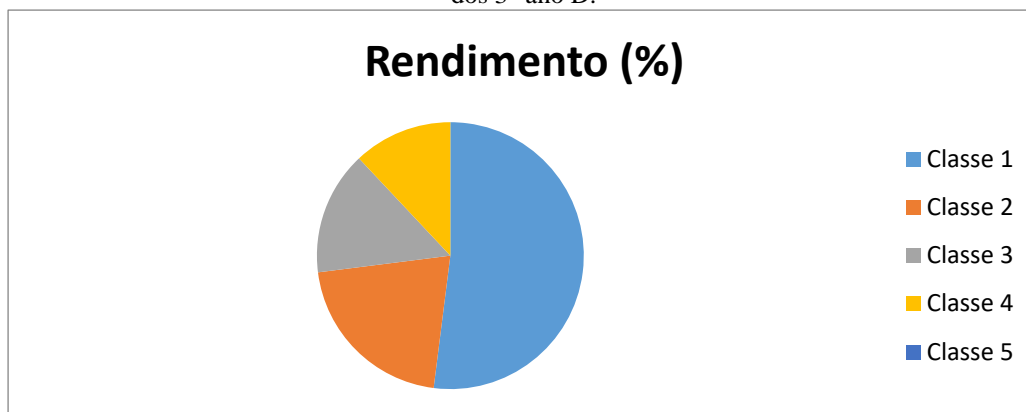
Houve por parte dos alunos uma imensa satisfação na utilização do P.E, algo que para eles é uma inovação e também se sentiram estimulados com a utilização dessas simulações virtuais, o que segundo eles é uma excelente maneira de visualizar o fenômeno físico acontecendo.

Diante da análise dos dados obtidos e observações realizadas durante a aplicação dos capítulos 2 e 5 do P.E, na turma do 3º ano D, chegamos ao resultado de acordo com a categorização proposta de acordo com o nível de rendimento e aprendizagem com o uso do P.E:

Classe	Rendimento (%)
Classe 1	52%
Classe 2	21%
Classe 3	15%
Classe 4	12%
Classe 5	0%

Tabela 8: Distribuição da potencialidade de acordo com o rendimento dos alunos com a utilização do produto educacional no 3º ano D.

Figura 31: Gráfico de distribuição da potencialidade do P.E de acordo com o rendimento dos alunos dos 3º ano D.



4.7 Aplicação do capítulo 6 do P.E

O capítulo 6, que trata sobre a introdução à termodinâmica, foi aplicado na turma do 3º ano E durante duas aulas em um mesmo dia. Esse encontro ocorreu em sala de aula e inicialmente explicamos que a termodinâmica estuda as relações entre a energia térmica (calor) e a energia mecânica (trabalho) e que uma dessas formas de energia pode ser convertida na outra e vice-versa.

Em seguida estudamos o trabalho em uma transformação gasosa e demonstramos a partir da definição de trabalho mecânico a expressão para o cálculo do trabalho em uma transformação isobárica. A partir da expressão demonstrada,

$W = P \cdot (V_2 - V_1)$, concluímos que o trabalho depende da variação do volume e foram feitas as seguintes análises com a ajuda dos alunos:

- Se o gás se expande, a variação de volume é positiva, então o trabalho é positivo: $[V_2 > V_1 \rightarrow \Delta V > 0 \rightarrow W > 0 \text{ (expansão)}]$;
- Se o gás se contrai, a variação de volume é negativa, então o trabalho é negativo: $[V_2 < V_1 \rightarrow \Delta V < 0 \rightarrow W < 0 \text{ (compressão)}]$;
- Se a transformação for isocórica, a variação de volume é nula, então o trabalho é nulo: $[V_2 = V_1 \rightarrow \Delta V = 0 \rightarrow W = 0]$;

Também foi introduzida uma propriedade gráfica, a qual nos gráficos da pressão em função do volume a área sob o gráfico é numericamente igual ao trabalho realizado ou sofrido pelo gás.

Figura 32: Aula de aplicação do capítulo 6 do P.E.



Fonte: Autor (2019)

Explicamos que uma transformação adiabática é aquela que não ocorre troca de calor entre o gás e o meio externo e mostramos exemplos nos quais ocorrem esse tipo de transformação, tais como: na calibragem de pneus, na expansão de gases contidos em sprays aerossóis e os amortecedores pressurizados que contêm gás nitrogênio em seu interior.

Fizemos uma contextualização sobre transformações adiabáticas ao ser feita uma leitura de um texto contido no P.E, sobre os amortecedores pressurizados e as suas diferenças com os amortecedores hidráulicos.

Introduzimos o conceito de energia interna e mostramos que a variação de energia interna de um gás depende apenas da variação da temperatura absoluta, chegando-se às seguintes conclusões:

- Se o gás sofre aquecimento ($\Delta T > 0$), a variação de energia interna é positiva ($\Delta U > 0$), ou seja, a energia interna aumenta; Se o gás sofre um resfriamento ($\Delta T < 0$), a variação de energia interna é negativa ($\Delta U < 0$), ou seja, a energia interna diminui e; Se a temperatura for mantida constante ($\Delta T = 0$), a variação de energia interna é nula, ou seja, a energia interna permanece constante.

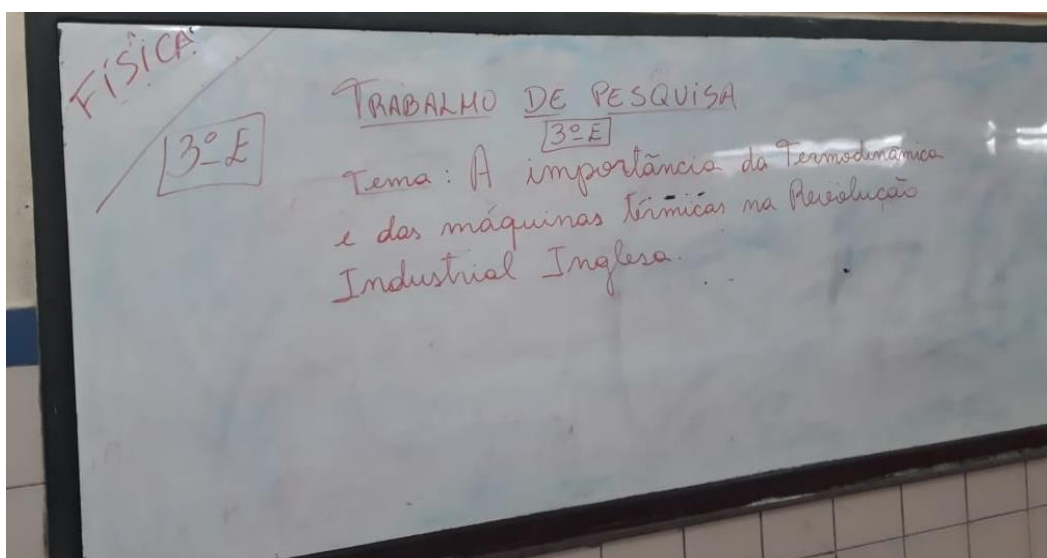
Após realizarmos a introdução das grandezas trabalho e variação de energia interna foi enunciada a 1ª lei da termodinâmica que diz: A variação de energia interna de um sistema é igual à diferença entre a quantidade de calor trocada com o meio externo e o trabalho realizado no processo.

$$\Delta U = Q - W \text{ (1ª lei da termodinâmica)}$$

Fizemos juntamente com os alunos uma leitura de um texto presente no P.E, que mostra as aplicações da 1ª lei da termodinâmica em uma panela de pressão com alimentos. Mostramos que o sistema termodinâmico formado pela panela, água e alimentos ao receber calor da fonte térmica (chama do fogão) tem sua energia interna aumentada devido ao seu aquecimento e daí realiza uma expansão realizando trabalho mecânico ao elevar o pino da panela. A leitura desse texto com contextualização fez com que os alunos já começassem a perder a abstração do conteúdo estudado, fazendo uma associação do assunto com as aplicações cotidianas.

Ao final dessa aula foi sugerimos uma atividade de pesquisa sobre o tema: A importância da termodinâmica e das máquinas térmicas na revolução industrial inglesa. Essa pesquisa serviria para iniciar a aplicação do capítulo 7 nas aulas posteriores.

Figura 33 – Proposição de uma atividade de pesquisa interdisciplinar.



Fonte: Autor (2019).

Na aplicação do P.E na turma do 3º ano E utilizamos os capítulos 6 e 7, então só faremos a análise da potencialidade do P.E para esta turma na análise dos resultados da aplicação do capítulo 7.

4.8 Aplicação e análise dos resultados do capítulo 7 do P.E

Realizamos a aplicação do capítulo 7 sobre a 2ª lei da termodinâmica novamente na turma do 3º ano E, pois para ter o entendimento deste capítulo seria necessário ter uma base do que foi estudado na 1ª lei.

Esse encontro foi realizado em um único dia com a utilização de duas aulas. As pesquisas sugeridas na aula anterior foram enviadas em arquivos no word ou pdf até o dia anterior a esse encontro, através do aplicativo de mensagens whatsapp e analisadas pelo professor. Lançamos algumas perguntas relacionadas ao tema da pesquisa e realizamos diversas discussões.

A seguir encontra-se o questionário proposto aos alunos no início da aula:

- a) Quais fatores fizeram com que a Inglaterra fosse a pioneira no processo de industrialização?
- b) Quais as principais invenções e as vantagens e desvantagens da revolução industrial?
- c) Qual a área da Física que foi fundamental para o advento da revolução industrial e qual o princípio básico de funcionamento das máquinas térmicas?

De que forma podemos associar o conhecimento científico-tecnológico ao desenvolvimento econômico das nações? Cite exemplos ao longo da história

Questionário proposto aos alunos.

Durante as discussões, os alunos chegaram a respostas bem condizentes, as quais citaremos algumas:

- a) – O principal fator que influenciou a revolução industrial foi os conhecimentos físicos sobre a termodinâmica, o que tornou possível aprimorar o rendimento das máquinas térmicas. Os outros fatores foram: a abundância de carvão mineral cuja combustão servia para operar as máquinas a vapor e a existência de fortes mercados consumidores interno e externo.
- b) - Dentre as principais invenções podemos citar, os teares industriais e a locomotiva a vapor que revolucionaram a indústria e os meios de transportes à época. As vantagens foram o aumento da produção a um custo bem menor, possibilidade de escoamento da produção para longas distâncias e o desenvolvimento econômico e tecnológico. A principal desvantagem foi a substituição da mão-de-obra manual pelas máquinas térmicas gerando um grande desemprego.

- c) - A termodinâmica, pois seus conceitos de conversão de calor em trabalho permitiram o aprimoramento das máquinas térmicas fazendo com que se obtivessem bons rendimentos e que fossem utilizadas em escalas industriais.
- d) - O desenvolvimento econômico de uma nação está diretamente ligado aos seus conhecimentos científicos e tecnológicos, e isso se mostra ao longo da história. São exemplos: o conhecimento de termodinâmica na revolução industrial inglesa e o conhecimento de astronomia nas grandes navegações portuguesa e espanhola.

Vale salientar que muitas dessas principais respostas foram estimuladas pelo professor que atuou como um mediador. Um fato interessante foi que a partir dessa aplicação interdisciplinar da Física com a História, os alunos já despertaram a curiosidade sobre o que é uma máquina térmica antes mesmo de a terem estudado.

A interdisciplinaridade é um dos eixos centrais dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio e engloba a Física e suas tecnologias como fundamental no processo de desenvolvimento histórico, cultural e social.

Após as discussões sobre o questionário, iniciamos uma aula expositiva mostrando situações cotidianas de processos irreversíveis e posteriormente definimos o que é um processo reversível.

A 2ª lei da termodinâmica foi explicada de acordo com seus principais enunciados:

- 2ª lei segundo Clausius: O calor não pode fluir de forma espontânea de um corpo de menor temperatura para outro que se encontra a uma temperatura mais alta.

- 2ª lei segundo Kelvin-Planck: É impossível construir um dispositivo (máquina térmica) que, operando em ciclos termodinâmicos, transforme totalmente todo o calor recebido em trabalho.

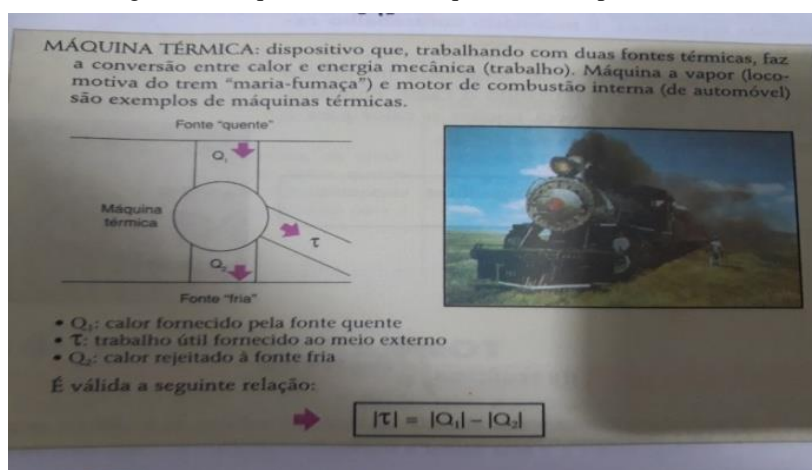
Então, explicamos que o dispositivo capaz de converter energia térmica (calor) em energia mecânica (trabalho) é denominado de máquina térmica, e que para funcionar deve operar entre duas fontes térmicas em diferentes temperaturas (fontes quente e fria). A fonte de maior temperatura (“fonte quente”) fornece calor para a máquina que converte parte em trabalho e a outra parte é rejeitada para a fonte de

menor temperatura (“fonte fria”). Enfatizamos a diferença entre a 1ª e a 2ª lei, visto que, a 2ª impõe limites para a ocorrência de certos fenômenos termodinâmicos. E que jamais uma máquina térmica converterá todo o calor em trabalho, ou seja, nunca terá rendimento de 100%.

Citamos diversos exemplos de máquinas térmicas desde as mais antigas como a locomotiva “Maria-fumaça” até as mais atuais como os automóveis. Após definirmos que o rendimento de uma máquina térmica é o percentual de calor recebido que a máquina consegue converter em trabalho, fizemos as seguintes observações:

- O rendimento de uma máquina térmica está diretamente ligado à redução dos custos da produção industrial e consequentemente no aumento dos lucros; Uma máquina térmica com um bom rendimento polui menos, pois rejeitará menos calor e gases poluentes derivados da combustão para o meio ambiente, reduzindo assim os impactos ambientais.

Figura 34: Esquema de uma máquina térmica presente no P.E.



Fonte: Fuke et al.

A partir da leitura do texto no P.E sobre o motor de explosão explicamos as quatro etapas de funcionamento de um motor de combustão interna que nada mais é do que uma máquina térmica. Os alunos ficaram curiosos e motivados após entenderem o seu funcionamento.

Por último, apresentamos o dispositivo que retira calor de uma fonte de menor temperatura (refrigerador) e rejeita para uma de maior temperatura (ambiente externo) com o auxílio de um trabalho externo realizado por um compressor, promovendo o resfriamento da parte interna, as chamadas máquinas frigoríficas. Como exemplo de

aplicação, realizamos a leitura de um texto inserido no P.E sobre o refrigerador doméstico e realizamos algumas discussões.

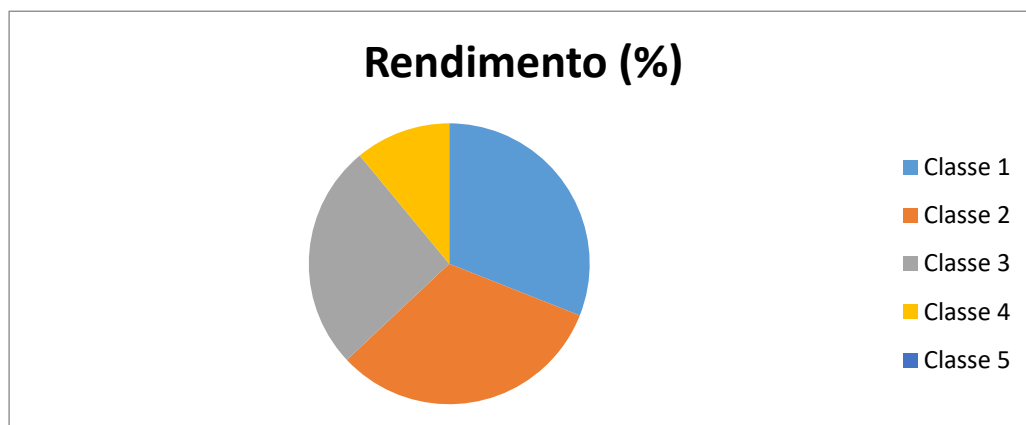
Pudemos perceber que por trás da abstração do conteúdo em estudo, a partir do momento que os estudos passaram a perceber a importância do conhecimento científico no desenvolvimento tecnológico e econômico das nações ao longo da história e também de suas aplicações em seus cotidianos. Ao fazer essa ligação passaram a demonstrar um maior interesse pelo estudo da disciplina.

A seguir encontra-se a classificação da potencialidade do P.E nesta turma:

Classe	Rendimento (%)
Classe 1	31%
Classe 2	32%
Classe 3	26%
Classe 4	11%
Classe 5	0%

Tabela 9: Distribuição da potencialidade do P.E de acordo com o rendimento dos alunos no 3º ano E.

Figura35: Gráfico de distribuição da potencialidade do P.E de acordo com o rendimento dos alunos do 3º ano E.



4.9 Análise dos resultados obtidos na aplicação do P.E por completo

A programação digitalizada desenvolvida que deu origem ao produto educacional está prevista para ser utilizada em um período de um semestre escolar, visto que aborda toda uma área da Física, a termodinâmica. Diante da situação de pouco tempo que tínhamos para sua aplicação, pois só nos restava apenas duas semanas para o fim do período letivo na escola, fizemos uma adaptação para que fosse possível aplicá-la de forma fragmentada. Então, para cada capítulo destinamos duas aulas de 60 minutos cada, onde nas quais apesar de não termos tido tempo

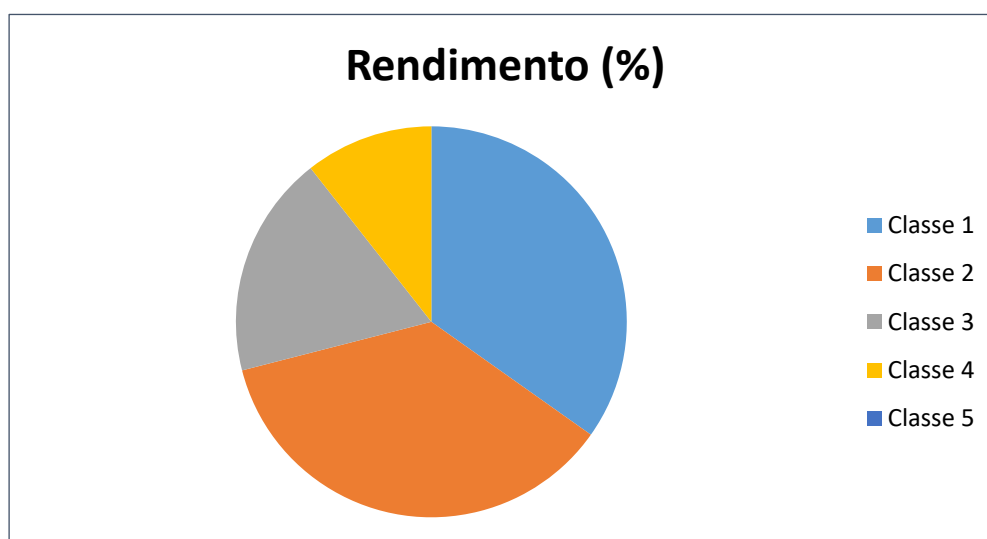
suficiente de trabalhar todos os recursos disponíveis em cada capítulo do P.E, fizemos uma apresentação de todos eles e trabalhamos somente com alguns.

Diante das análises que realizamos na aplicação de todos os capítulos do produto, obtivemos o seguinte resultado com relação à potencialidade da programação digitalizada utilizada em todas as turmas:

Classe	Rendimento (%)
Classe 1	34,8%
Classe 2	36,2%
Classe 3	18,4%
Classe 4	10,6%
Classe 5	0%

Tabela 10: Distribuição da potencialidade do P.E de acordo com o rendimento dos alunos em todas as turmas.

Figura 36: Gráfico da distribuição da potencialidade do P.E de acordo com o rendimento dos alunos em todas as turmas.



Consideramos que, para os alunos inseridos nas classes 1; 2 e 3 (89,4%) o material mostrou-se potencialmente significativo com um rendimento variando entre um nível excelente para um nível intermediário como foi mostrado, o que corrobora o que esses alunos demonstraram em seu desempenho no decorrer do ano letivo. Já para aqueles que se encontram na classe 4 (pouco nível de rendimento), também constatamos que foram os alunos que no decorrer de todo o ano letivo demonstraram um desempenho na disciplina abaixo da média durante o ano, mas que durante a aplicação do produto ainda conseguiram obter algum rendimento. Esse resultado à luz da aprendizagem significativa mostra que quando os subsunçores não são adequados não conseguimos um desempenho favorável às pretensões que desejaríamos atingir

com a aplicação da programação. Na classe 5 não tivemos nenhum aluno inserido, pois todos envolvidos na aplicação tiveram participação e obtiveram algum nível de rendimento mesmo considerado desfavorável.

Em nossa análise de natureza qualitativa nos instrumentos avaliativos que utilizamos, com os resultados obtidos, concluímos que a programação digitalizada utilizada na turma mostrou efeitos favoráveis, deixando indícios que a programação digitalizada se mostrou potencialmente significativa, fazendo com que os alunos conseguissem alcançar um considerável desempenho de atribuição de significados aos conteúdos relativos à Física e suas tecnologias. Observando os limites do pequeno intervalo de tempo e simplificações que tivemos que colocar na aplicação de cada capítulo da programação em determinada turma da escola que lecionamos.

O fato de a turma ter obtido um bom desempenho deve-se também ao fato da maior parte dos alunos terem apresentados conhecimentos prévios relacionados ao conteúdo, e à maturidade adquirida ao final do ensino médio, a uma predisposição de aprender novos conhecimentos que se mostrem relevantes para os mesmos.

Pela teoria da aprendizagem significativa, quando o aprendiz tem o conhecimento prévio adequado (subsunçor), a predisposição para aprender, o material de ensino utilizado pode se mostrar potencialmente significativo para o aluno. O professor atua como um mediador e facilitador no processo ensino-aprendizagem e deve sempre procurar trabalhar na perspectiva da aprendizagem significativa dos alunos. Mesmo quando diante de dificuldades de retenção tenham que iniciar utilizando de automatismos mais afetos a uma aprendizagem mecânica. A finalidade de nossa programação digitalizada é a de favorecer a uma aprendizagem com atribuição de significados científicos.

Mesmo que trabalhando na aplicação de nosso produto de forma simplificada por termos pouca disponibilidade de tempo, constatamos que a viabilidade de aplicação da programação digitalizada em condições mais favoráveis se constitui em uma ferramenta que pode facilitar o processo de ensino-aprendizagem dos alunos de ensino médio. Recomendamos que os professores de Física e ciências analisem e estudem a possibilidade de utilizá-la em sua programação regular da escola quando estiverem tratando do conteúdo de termodinâmica. Em comparação com o ensino tradicional que normalmente é utilizado pela escola, uma metodologia desta natureza

pode incrementar um maior interesse, motivação, e predisposição para se dedicar à Disciplina de Física.

Capítulo 5

Considerações finais

Analisando as perspectivas do ensino Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), e baseado na teoria da aprendizagem significativa, trabalhamos na execução deste projeto a fim de tentar modificar a maneira com que o ensino de Física é realizado predominantemente no país. Apesar de estas perspectivas estarem presentes nos documentos oficiais do Governo como na Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB) e nos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), na prática são pouco implementadas pelos professores em sala de aula, tratando a ciência como um conhecimento pronto e imutável que deve ser aceito na forma como é ensinado.

A proposta de nosso trabalho foi a elaboração de um objeto de aprendizagem, que é uma programação digitalizada de ensino, com a finalidade de facilitar o processo de ensino-aprendizagem através da disponibilização de conteúdos científicos utilizando uma linguagem simples e de recursos que relacionem sempre que possível esses assuntos com contextos do dia a dia em uma perspectiva técnico-científica (ensino CTS).

A elaboração do produto educacional se deu a partir de março de 2019 e foi concluído em novembro do mesmo ano, e seguiu a ordem dos conteúdos do ensino da termodinâmica só que sempre buscando escrevê-lo baseado em perspectivas que viessem a dar significado científico, tecnológico e social aos conteúdos. A programação foi enriquecida com recursos escritos, falados, animações, simulações virtuais de aprendizagem, experimentações e vídeos que podem ser acessados através de hiperlinks contidos no produto.

Os recursos escritos e visuais permitiram uma significativa compreensão dos conceitos científicos estudados, pois forneceram contextualizações e integração com outras áreas do conhecimento (interdisciplinaridade).

O livro digital, em formato pdf, necessita de uma mídia digital para ser armazenado e para utilizar todos seus recursos disponíveis é necessário ter o acesso à internet, o que não é um fator limitante ao seu uso, pois atualmente existe um acesso quase universal aos aparelhos de mídia e à internet, principalmente por parte dos alunos, conforme pudemos constatar.

Antes da aplicação, o livro digital foi enviado aos alunos através do aplicativo de mensagens whatsapp ou por e-mail. Na aplicação, foram utilizados três momentos pedagógicos. Inicialmente, foram propostas situações-problema relacionadas ao conteúdo a ser estudado, e a partir de estímulos do professor foi possível analisar as opiniões expostas pelos alunos. Nesse momento, foi verificado que uma parte considerável dos alunos possuía elementos de base adequados para a aquisição de novos conhecimentos.

No segundo momento, foram feitas as mediações dos assuntos relacionados às problematizações através de aula expositiva, leitura do livro digital, realização de simulações virtuais de aprendizagem e experimentações e acesso a vídeos, home pages e artigos contidos nos hiperlinks.

O uso dos hiperlinks permitiu aos alunos visualizar diversas formas de aplicação do conteúdo científico analisado, além da visualização microscópica de alguns fenômenos, contribuindo consideravelmente para o aprendizado dos mesmos e gerando uma motivação, participação e curiosidade nas aulas de Física.

Na terceira etapa, foram retomadas as situações-problema propostas inicialmente e verificado à luz da teoria da aprendizagem significativa o nível de aprendizagem dos alunos com o uso do recurso educacional. Através dessa análise, foi feita uma classificação por nível de rendimento dos alunos de cada classe durante a aplicação do produto, e diante dessa classificação foi feita a análise da potencialidade do produto educacional utilizado.

A partir da análise qualitativa nos instrumentos avaliativos empregados, concluiu-se através dos resultados obtidos, que a programação aplicada nas turmas fez com que os alunos alcançassem uma considerável atribuição de significados aos conteúdos relativos à Física e suas tecnologias. O pouco tempo de aplicação que utilizamos, duas aulas por capítulo, não nos permitiu utilizar todos os recursos disponíveis na programação, mas pudemos apresentá-los e orientar o seu uso. Porém os efeitos favoráveis apresentados pela utilização do produto educacional mostraram indícios de que o mesmo mostrou-se potencialmente significativo, produzindo um maior interesse, motivação e predisposição no aluno para estudar Física.

Cabe a nós, professores de Física, tentar ensinar essa disciplina de maneira inovadora e de modo que tenha algum significado na vida dos alunos e que possamos ajudá-los como cidadãos a ter uma visão crítica e autônoma sobre as decisões de suas vidas em busca de uma melhor qualidade de vida.

Referências bibliográficas

AULER, D. Movimento Ciência-Tecnologia- Sociedade (CTS): modalidades, problemas e perspectivas em sua implementação no ensino de física. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 6., 1998, Florianópolis. Resumos... Florianópolis, 1998.

AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J.D. e HANESIAN, H. 1980. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro, Interamericana. Tradução para o português, de Eva Nick et al., da segunda edição de **Educationalpsychology: a cognitiveview**.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. Aprendizagem significativa – breve discussão acerca do conceito. Ministério da Educação (MEC), Brasília, 2018
Disponível em:

<<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/implementacao/praticas/caderno-de-praticas/aprofundamentos/191-aprendizagem-significativa-breve-discussao-acerca-do-conceito?highlight=WyJhcHJlbmRpemFnZW0iLCJzaWduaWZpY2F0aXZhIiwYXB yZW5kaXphZ2VtIHNPZ25pZmljYXRpdmEiXQ==>>. Acesso em 05 de dez. 2019.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular. Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação no contexto escolar: possibilidades. Ministério da Educação (MEC), Brasília, 2018. Disponível em:

<<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/implementacao/praticas/caderno-de-praticas/aprofundamentos/193-tecnologias-digitais-da-informacao-e-comunicacao-no-contexto-escolar-possibilidades>>. Acesso em 14 de jan. 2020.

BRASIL. Base Nacional Comum Curricular: Métodos de diagnóstico inicial e processos de avaliação diversificados. Ministério da Educação (MEC), Brasília, 2008. Disponível em

:<<http://basenacionalcomum.mec.gov.br/implementacao/praticas/caderno-de-praticas/aprofundamentos/194-metodos-de-diagnostico-inicial-e-processos-de-avaliacao-diversificados>>. Acesso em 20 de jan. 2020.

BRASIL. PCNEM (Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio): Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias (PCN+). Ministério da Educação (MEC), Brasília, 2002.

CAAMAÑO, A. La educación Ciência-Tecnologia-Sociedad: uma necesidad em el diseño del nuevo currículo de ciências. **Alambique: didáctica de las ciências experimentales**, Barcelona, v.2, n.3, p.4-6, Enero 1995.

DUARTE, J.P. Desenvolvimento e aplicação de um e-book no ensino de Física. 2015. 66 f. Dissertação em ensino de Física – Universidade Federal de Goiás, Catalão. 2015. HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termologia. v. 2, 8ª ed. Rio de Janeiro: TLC. 2007.

LEAL, M.C., SELLES, S.E. Sociologia e ensino de ciências: anotações para discussão. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 1., 1997, Águas de Lindóia. Atas... Águas de Lindóia, 1997, p. 338-344

LIBÂNEO, J.C. Didática. São Paulo: Cortez, 1994.

LUZ, S.L.C. O ensino da física no enfoque ciência, tecnologia e sociedade (CTS): Uma abordagem da eletricidade pelo método investigativo. 2008. 237 f. Dissertação em ensino de Ciências e Matemática - Programa de pós-graduação em ensino de Ciências e Matemática, Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo. 2008.

MARTINS, I.P. Problemas e perspectivas sobre a integração CTS no sistema educativo português. **Revista Electrónica de Enseñanza de las ciências**, v.1, n.1, p. 28-39, 2002.

MORTIMER, E.F; SANTOS, W.L.P. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação básica Brasileira. Ensaio, v.2, n.2, p.133-162, 2002.

MOREIRA, M.A. **O que é afinal aprendizagem significativa?** Revista Cultural de La Laguna, Espanha, 2012. Disponível em:

<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>. Acesso em: 04/12/2019.

MOREIRA, M.A, CABALLERO, M.C. e RODRIGUES, M.L. Actas de Encuentro Internacional sobre elAprendizaje Significativo. Burgos, Espanha 1997. P. 19-44.

ORNELLAS, A.; MOREIRA, M.A.; CABRAL, I. Aprendizagem Significativa na Elaboração de uma Programação de Ensino CTS em uma Ação Integrada entre Escola-Centro de Ciências. Atas do IV ENAS- Gravatá-Pe-2012-p. 599-609.

POGGE, A.; YAGER, R.E. Citizen groups` perceived importance of the major goals for school science. **Science Education**, New York, v.71, n.2, p. 221-227, 1987.

ROSA, C.W. da; ROSA, A.B. da. Ensino de Física: Objetivos e imposições no ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de lãs Ciencias**, v. 4, n.1, 2005.

SANTOS, M.E. Encruzilhadas de mudanças no limiar do século XXI: co-construção do saber científico e da cidadania via ensino CTS de ciências. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS, 2., 1999, Valinhos. Atas...Valinhos, 1999

SANTOS, W.L.P; SCHNETZLER, R.P. Educação em química: compromisso com a cidadania. Ijuí: Unijuí, 1997.

SEARS, F.; YOUNG, H.D; FREEDMAN, R.A; ZEMANSKY, M.W. Física II: Termodinâmica e Ondas. v.2, 10^a ed. São Paulo: Pearson, 2008.

SILVA, A.L; MACEDO, H.R; PAZ, F.S; JÚNIOR, P.J. Ensino de Física [recurso eletrônico]: experiências, pesquisas e reflexões. Disponível em: https://www.ufpi.br/arquivos_download/arquivos/LIVRO_ENSINO_DE_F%C3%8D SICA_EBOOK20190909103253.pdf – Teresina: EDUPI, 2019.

SOUZA, A.P.; ROSSO, A.J. Mediação e Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP): entre pensamentos e práticas docentes. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 10., 2011, Curitiba.

TEIXEIRA, P.M.M. A educação científica sob a perspectiva da pedagogia histórico-crítica e do movimento CTS no ensino de ciências. **Ciência e Educação**, v. 9, n. 2, p. 177-190, 2003.

Anexos

PRODUTO EDUCACIONAL



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL
PROGRAMA DE MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM
ENSINO DE FÍSICA – POLO 36**

PRODUTO EDUCACIONAL

**O ENSINO DA TERMODINÂMICA SOB A PERSPECTIVA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS) E DA
INTERDISCIPLINARIDADE DELA DECORRENTE.**

**Autor: Professor Wagner da Costa Vieira
Orientador: Professor Dr. Antônio José Ornellas de Farias**

Maceió
Novembro / 2019

WAGNER DA COSTA VIEIRA

**O ENSINO DA TERMODINÂMICA SOB A PERSPECTIVA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE (CTS) E DA
INTERDISCIPLINARIDADE DELA DECORRENTE.**

Produto educacional apresentado ao Programa Nacional
Profissional em Ensino de Física da Universidade
Federal de Alagoas e à Sociedade Brasileira de Física
como parte dos requisitos para a obtenção do título de
mestre.

Orientador:
Professor Dr. Antônio José Ornellas de Farias

Maceió
2019

Apresentação

A elaboração deste produto educacional, que é um dos requisitos para a obtenção do título de mestre em Ensino de Física, visa fornecer inovações e ferramentas que venham a facilitar o processo de ensino-aprendizagem de Física contrapondo-se ao modelo tradicional que ocorre na maior parte das escolas brasileiras, modelo este defasado, distante do cenário social do aluno e baseado na transmissão-recepção, na excessiva matematização e cuja transmissão de conhecimentos dá-se de maneira mecânica e fragmentada.

O produto elaborado é uma programação digitalizada de ensino sobre a área da Física Termodinâmica e suas aplicações, com o título: O Ensino da Termodinâmica sob a Perspectiva Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e da Interdisciplinaridade dela decorrente. Estão incorporados nesse trabalho recursos escritos, falados, animações em aulas de professor, objetos de simulação virtuais, escritos temáticos com ilustrações digitais, entre outros recursos digitais.

O objetivo deste produto é a divulgação de um livro didático sob a perspectiva CTS, abordando conteúdos contextualizados e interdisciplinares com um enfoque social e um ensino voltado para a cidadania que possa produzir mudanças na vida dos alunos. Com o trabalho “hospedado” em uma plataforma digital (site) ou armazenado na forma de arquivo em uma mídia digital (pen drive, computador, nuvem, celular, etc.) torna-se acessível a todos os alunos, visto que hoje existe uma facilidade de acesso à internet ou às mídias digitais à quase toda a população.

A divulgação de um livro digital tem uma série de vantagens em relação à divulgação de um livro físico dentre elas não é necessário gasto com impressão e não é necessário fazer apenas um número limitado de exemplares. Na divulgação digital toda e qualquer pessoa pode acessá-lo.

A fundamentação teórica do trabalho é baseada no ensino Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) e na teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel.

Esse livro foi escrito com uma linguagem simples e clara sem perder a rigidez científica dos conteúdos procurando sempre relacioná-los com as demais disciplinas e com o cotidiano do aluno através de suas aplicações tecnológicas e suas implicações sociais e ambientais.

Alguns capítulos possuem as seções de problematizações, nas quais são lançados alguns questionamentos de casos do dia a dia que estimulam o aluno a tentar responder e serve para o professor avaliar os seus conhecimentos prévios antes de iniciar o estudo do assunto.

As seções “A Física no dia a dia” trazem textos de autores consagrados sobre os conteúdos estudados focando principalmente: suas aplicações tecnológicas e os problemas sociais e ambientais; e a física do corpo humano.

São disponibilizadas sugestões de simulações virtuais nas quais é possível visualizar microscopicamente determinados fenômenos físicos. Também são fornecidos roteiros de experimentos simples e de baixo custo sobre alguns temas em estudo.

O produto educacional, composto por 7 capítulos, teve uma previsão de aplicação de aproximadamente 14 aulas de 60 minutos cada. Só que a depender da disponibilidade da carga horária, pode ser estendida para um semestre.

Ao longo da aplicação de cada capítulo, recomenda-se três momentos pedagógicos distintos:

O primeiro momento é aquele no qual devem ser lançadas as problematizações, ou seja, o professor propõe situações-problema relacionadas ao conteúdo a ser estudado. A partir da mediação e do estímulo do professor, os alunos passam a expor suas opiniões sobre o tema e o professor diagnostica os seus conhecimentos prévios.

No segundo momento, o professor passa a mediar os conteúdos relativos às problematizações através de alguns recursos como aula expositiva, leitura do livro digital, realização de experimentos e simulações virtuais propostos e acesso a vídeos, home pages e artigos contidos nos hiperlinks.

Na terceira etapa, serão retomadas as situações-problema iniciais e verificado o que os alunos conseguiram aprender através da interpretação e resolução dessas problematizações.

Um fator importantíssimo é que na utilização deste produto por completo se faz necessário ter acesso à internet, visto que a maior parte dos hiperlinks é de páginas na web que trazem vídeos, simulações e textos. Nos dias atuais, existe um acesso quase que universal à internet, então o autor acredita que isso não será um fator que venha a dificultar o uso deste objeto de aprendizagem.

Sumário

CAPÍTULO 1: TERMOLOGIA	7
1.1 Introdução	7
1.2 Calor e Temperatura	8
A FÍSICA NO DIA A DIA: AS SENSações Térmicas DO CORPO HUMANO E A TEMPERATURA AMBIENTE	10
1.3 Materiais Térmicos	13
1.4 Os estados da matéria.....	14
1.5 Escalas termométricas.....	15
PROBLEMATIZAÇÕES:	16
EXERCÍCIOS:	16
CAPÍTULO 2: DILATAÇÃO TéRMICA	17
2.1 Introdução	17
2.2 Dilatação linear	19
2.3 Dilatação superficial	20
2.4 Dilatação volumétrica	21
PROBLEMATIZAÇÕES:	21
EXERCÍCIOS:	22
2.5 Dilatação térmica dos líquidos	23
PROBLEMATIZAÇÃO:	25
EXERCÍCIO	26
2.5.1 Anomalia da água:	26
CAPÍTULO 3: PROCESSOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR	27
3.1 Introdução	27
3.2 Condução	27
3.3 Convecção.....	29
3.4 Irradiação	30
A FÍSICA NO DIA A DIA	31
CAPÍTULO 4: CALORIMETRIA.....	33
4.1 Introdução	33
4.1.1 Capacidade Térmica (C):	33
4.1.2 Calor específico (c):	34

4.2 Equação fundamental da calorimetria.....	36
4.3 Quantidade de calor latente.....	37
EXPERIMENTAÇÃO:.....	39
4.4 Calorímetro	42
4.4.1 Princípio geral das trocas de calor	42
A FÍSICA NO DIA A DIA	43
Exercícios:.....	43
CAPÍTULO 5: GASES PERFEITOS	44
5.1 Introdução	44
5.2 TRANSFORMAÇÕES GASOSAS ESPECIAIS	45
5.2.1 Transformação Isotérmica:	45
5.2.2 Transformação Isobárica:.....	46
5.2.3 Transformação Isocórica, Isométrica ou Isovolumétrica:.....	48
5.3 Quantidade de matéria (mol)	49
5.3.1 EQUAÇÃO DE CLAYPERON.....	49
5.4 Equação geral dos gases perfeitos.....	50
EXERCÍCIOS:.....	50
CAPÍTULO 6: TERMODINÂMICA	52
6.1 Introdução	52
6.2 Trabalho em uma transformação gasosa.....	53
6.3 Quantidade de calor trocada entre o gás e o meio externo	54
6.3.1 Transformação Adiabática:	54
6.4 Energia interna de um gás.....	55
6.5 1ª Lei da termodinâmica	56
A FÍSICA NO DIA A DIA:	56
6.5.1 Análise das transformações gasosas a partir da 1ª lei da termodinâmica ...	57
Amortecedores hidráulicos	60
Amortecedores pressurizados	60
Vantagens dos amortecedores pressurizados	60
6.6 Transformação cíclica.....	61
EXERCÍCIOS	62
CAPÍTULO 7: A 2ª LEI DA TERMODINÂMICA	65
7.1 Introdução	65
7.2 Máquinas térmicas	66
7.3 Rendimento de uma máquina térmica.....	69
7.4 Máquinas frigoríficas	71

A FÍSICA NO DIA A DIA:	72
7.5 Ciclo de Carnot	74
7.6 Noções de entropia.....	75
EXERCÍCIOS:.....	76
Referências bibliográficas	79

CAPÍTULO 1: TERMOLOGIA

1.1 Introdução

A termologia é o ramo da Física que estuda o calor como forma de energia e os seus fenômenos podem ser analisados sob duas perspectivas diferentes e frequentemente complementares: as perspectivas macroscópica e microscópica.

A análise macroscópica dá-se pelos sentidos e analisa aspectos gerais do sistema como temperatura e volume. Um exemplo do estudo macroscópico é a percepção de temperatura a partir da sensação de quente e frio dada pelos sentidos. No estudo microscópico, os átomos e moléculas que constituem a matéria estão em constante movimento, então essas partículas possuem energia cinética que associada a esse movimento é denominada energia térmica. A energia térmica de um corpo é variável, e quanto mais “quente” for esse corpo maior será a agitação de suas partículas e quanto mais “frio” menor será a agitação.

Nos fenômenos térmicos, os resultados obtidos microscopicamente devem ser compatíveis com os estudos feitos com grandezas macroscópicas. Um desses exemplos são os estados da matéria. O estado que possui maior energia térmica é o gasoso, no qual as partículas possuem uma maior mobilidade, e o estado que possui menor energia térmica é o sólido pois suas partículas possuem um pequeno movimento vibratório. Das imagens abaixo que caracterizam os estados físicos da matéria serão mostradas através de simulações virtuais de aprendizagem propostas na página 15. O link a seguir fundamenta apenas o estados físicos da matéria.

Figura 1: Água nos três estados físicos.



Fonte: <https://www.infoescola.com/quimica/estados-fisicos-da-materia/>.

Acesso em: 09/04/19.

1.2 Calor e Temperatura

Temperatura: É a grandeza física que mede o grau de agitação das partículas de um corpo ou sistema.

A unidade de temperatura no Sistema Internacional (S.I) é o Kelvin (K), mas existem outras unidades, sendo as principais o grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$) e o grau Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$).

Então, podemos denominar esse grau de agitação das partículas de um corpo ou sistema como temperatura.

A energia térmica pode ser transferida de um corpo para outro, desde que haja uma diferença de temperatura entre eles, essa energia em movimento é denominada de calor.

Calor: É a energia em movimento entre dois ou mais corpos devido a uma diferença de temperatura.

Vimos que o calor é uma forma de energia e sabemos que a unidade de energia no Sistema Internacional é o Joule (J), mas também se utiliza a unidade caloria (Cal) como unidade de medida de calor. A relação entre as duas unidades é: $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$.

O calor não é uma propriedade específica da matéria e sim uma forma de energia, ou seja, não se pode medir seu calor. A condição fundamental para que exista o calor é a diferença de temperatura entre os corpos. O calor é sempre transferido espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura até que fiquem com temperaturas iguais, atingindo o chamado equilíbrio térmico. É importante ressaltar que no equilíbrio térmico cessa-se a transferência de energia entre os corpos.

Imaginemos a seguinte situação, temos uma xícara de café “quente” a 50°C e uma xícara de leite “frio” a 20°C . Ao misturarmos os dois líquidos em um recipiente, a velocidade das partículas constituintes do café diminui (diminuição da sua temperatura) e a velocidade das partículas constituintes do leite aumenta (aumento da sua temperatura) até que após certo tempo, as partículas da mistura café com leite atingirão uma mesma velocidade (mesma temperatura), ou seja, é atingido o equilíbrio térmico. Então, podemos dizer que houve um fluxo (passagem) de calor

(energia térmica) do café “quente” para o leite “frio” até que alcançaram uma mesma temperatura que está entre as temperaturas iniciais do café e do leite.

Um exemplo cotidiano é a aferição da temperatura de uma pessoa com uso de um termômetro. Ao colocar o aparelho em contato com o corpo humano (geralmente as axilas), há uma passagem de calor do corpo para o termômetro e após certo tempo é atingido o equilíbrio térmico, então é feita a leitura do termômetro que indica a temperatura da pessoa.

É importante ressaltar diante desses conceitos agora estudados que temperatura e calor não são sinônimos, como parte da população imagina levada por suas concepções errôneas.

O calor é a energia que se transmite de um corpo para outro, já a temperatura define o estado instantâneo de um corpo. Por exemplo, nossos corpos só conseguem perceber as variações de temperatura por causa do fluxo de calor.

Como dito anteriormente, o calor passa espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura. Essa definição ajuda a explicar as sensações térmicas de “frio” e “calor”, na qual se sente frio quando o corpo perde calor (energia térmica) para o meio externo (ambiente) e sente-se “calor” quando o corpo recebe calor (energia térmica) do meio externo. Por exemplo, uma pessoa à temperatura ambiente ao tocar com a mão em uma pedra de gelo perderá calor pra a pedra de gelo e terá a sensação térmica de “frio”. Uma situação oposta é a de uma pessoa à temperatura ambiente ir à praia ao meio dia em pleno verão exposta à irradiação solar a céu aberto, essa pessoa receberá calor do ambiente tendo a sensação térmica de “calor”.

Será apresentado a seguir um texto do livro Experimentos para a vida, Edufal, 2014, páginas de autoria do professor Dr. Antonio José Ornellas Farias. O tema é: As Sensações Térmicas do Corpo Humano e a Temperatura Ambiente. No texto é fornecida uma fundamentação teórica para que o aluno aprenda a diferenciar os conceitos de temperatura e calor, mostrando ao aluno que existem outros fatores além da temperatura ambiente que influenciam a sensação térmica de quente ou frio. É mostrado também o efeito da umidade no clima e na sensação térmica.

A FÍSICA NO DIA A DIA: AS SENSações TÉRMICAS DO CORPO HUMANO E A TEMPERATURA AMBIENTE

Em estado normal, o organismo humano funciona internamente a uma temperatura média entre 36 e 37 graus Celsius (com o termômetro inserido na boca). Entre diferentes órgãos ou partes do corpo humano sua temperatura é diferenciada, conforme mostrado na Figura 9. Mesmo em repouso o corpo humano consome uma energia (vinda principalmente da alimentação, ao ser processada bioquimicamente por reações de combustão na corrente sanguínea), o que ocorre a uma potência da ordem de 100 watts (considerada como a taxa de metabolismo basal). Esse consumo ocorre na manutenção de trabalho de funcionamento dos órgãos, tecidos e células, que em condições normais mantém o aquecimento sanguíneo na faixa da temperatura colocada acima. Considerando o corpo humano como uma máquina térmica de combustão, parte dessa energia, que não desempenha uma função vital, é liberada em forma de calor para o ambiente externo, principalmente pela pele. O corpo humano em funcionamento normal é capaz de manter a sua temperatura, em diferentes condições climáticas, em regiões bem frias ou bem quentes, isto é, bem abaixo ou bem acima de sua temperatura interna. Em um meio ambiente agradável (entre as temperaturas de 20 e 26° C a depender do clima a que se está adaptado em cada região), o corpo humano mais aquecido costuma liberar calor para o ambiente menos aquecido espontaneamente. Porém, uma boa condição climática também depende de outros fatores como o da umidade do ar e da pressão atmosférica local. Mas, normalmente, o corpo humano não se adapta a climas muito frios ou muito quentes, principalmente quando úmidos, necessitando de proteção e de condições especiais para a sobrevivência nesses períodos.

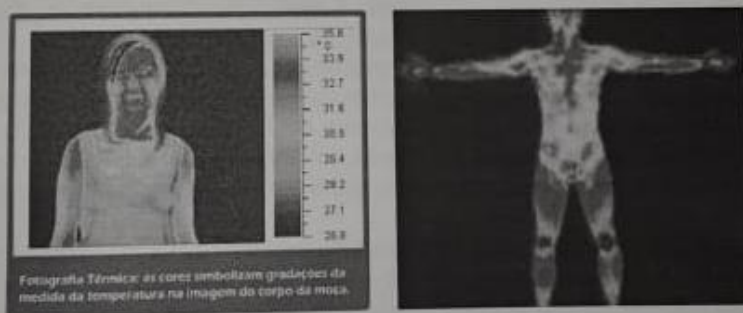


Figura 9 – Fotografia térmica (infravermelho): as cores simbolizam gradações da medida da temperatura na imagem do corpo da moça.

Por quê sentimos calor em ambientes fechados sem circulação de ar em dias quentes? O corpo humano libera calor para o ambiente por transpiração pela pele, que se mantém aquecida. O ar em contato direto com nossa pele se esquenta e forma uma espécie de camada de ar quente junto ao nosso corpo, que não se renova por ar mais frio do ambiente se não existir circulação de ar. Como consequência, o fluxo de calor (Q) é inibido, por ser diretamente proporcional à diferença entre as temperaturas interna e externa ($Q \propto \Delta T$).

Isto obriga nosso organismo a liberar calor em forma de suor (líquido) para o ambiente externo para poder manter equilibrado nosso metabolismo interno de funcionamento, o qual necessita manter equilibrada a energia térmica, já que a existência de algum desequilíbrio interno causaria variação de temperatura. O suor representa uma sensação desagradável denominada de "calor", fruto da necessidade de mantermos o funcionamento normal do nosso organismo. Neste contexto, um fato que ajuda a nos trazer conforto é haver circulação de ar frio, o sopro de uma brisa ou vento que estimulem a renovação dessa camada quente mais rapidamente, o que vem oferecer melhores condições de se manter o nosso fluxo normal de calor (manter nossa transpiração normal pela porosidade de nossa pele sem liberar líquido).

Nosso corpo, como toda máquina de combustão, necessita transferir calor para um reservatório frio, o ambiente externo. Assim, para o nosso bem estar, o meio ambiente atmosférico, deveria funcionar sempre como o reservatório de calor mais frio abaixo dos 36 °C e ainda haver circulação de ar. A sensação térmica que sentimos na pele é de mais frio quanto mais veloz sopra o vento. Porém os habitantes de regiões frias conseguem suportar muito mais o clima a baixas temperaturas, quando não sopra o vento. Resultados experimentais mostraram que numa temperatura ambiente de 4 °C, sem a ocorrência de ventos, a nossa pele consegue se manter a uma temperatura de 31° C. No entanto se soprar uma brisa (ventos de velocidade igual a 2 m/s), a temperatura da pele cai para 24 °C. Com um vento mais forte, a uma velocidade de 6 m/s, o resfriamento da pele pode chegar a uma temperatura de 9 °C, bem abaixo de nossa temperatura interna (provocando uma sensação de frio ainda maior com a temperatura ambiente mantendo o mesmo valor 4 °C). É devido a esta mudança na sensação térmica que nosso senso comum de pensar incorpora que quando exposto ou quando protegido do vento, a temperatura ambiente local muda. Essa sensação diferenciada também é observada quando estamos sujeitos a climas quentes (como no caso de uma temperatura de 40 °C). Nos climas tropicais quentes, quando a temperatura do ambiente (que deveria funcionar como o reservatório de calor frio), é superior à do corpo humano (que deveria funcionar como o reservatório de calor quente), o fluxo natural de calor se inverte sendo de fora para dentro. Nosso organismo como um sistema biofísico, no entanto, não aceita esta condição física de inversão do fluxo de calor. Trabalha daí transpirando ainda mais suor para restringir-se e manter seu metabolismo interno dentro dos padrões normais de funcionamento do corpo humano. Assim, a liberação necessária de calor líquido pelo corpo é ainda maior. O suor retido sobre nossa pele fica pelo menos à uma temperatura igual a de onde se originou, o interior do corpo (uma temperatura menor que a ambiente). Por sua vez, nestes climas mais quentes (que apresentam temperaturas superiores a da nossa pele), quando sopram ventos (corrente de ar quente) essa camada protetora líquida, menos aquecida que o ambiente, é renovada por ar mais quente que nossa temperatura interna. Sendo daí necessário também proteger a pele dos ventos em dias muito quentes. Podemos ver assim, que em dias muito frios ou muito quentes, nosso funcionamento orgânico na liberação de calor, necessita de ajuda de uma camada protetora (pele mais camada de ar próxima), que procura criar um isolamento térmico do meio ambiente para amenizar nossa dificuldade de aclimação. Nestas duas situações o vento não ajuda e sim dificulta, existindo a necessidade de nos abrigarmos e usarmos roupas apropriadas que ofereça um bom isolamento térmico do vento frio e dos ventos aquecidos.

O homem se abrigando e se alimentando adequadamente, consegue suportar temperaturas muito frias de 40 a 60 graus abaixo de zero (existente em regiões polares) e temperaturas muito quentes de até 57 graus na sombra nos desertos (alertamos para o fato que a temperatura ambiente não pode ser medida com termômetro exposto a irradiação solar). Em condições especiais, foram feitos muitos experimentos para se verificar qual a temperatura máxima que pode suportar o organismo humano por determinado tempo. O resultado indicou que numa atmosfera de ar seco (sem umidade para evitar o vapor muito aquecido), com a temperatura aumentando paulatinamente, e com um bom isolamento térmico no contato com objetos sólidos, o organismo humano conseguiu suportar temperaturas que podem chegar a 160 °C. Nessas condições, devido à grande tendência do fluxo de calor de fora para dentro do corpo, nosso organismo trabalha transpirando líquido (suor), muito mais intensamente (perdendo líquido), para manter a temperatura normal, entre 36 a 37 C..

Outro fator que condiciona nossa sensação térmica de temperatura é a umidade do ar. A umidade condiciona muito a nossa capacidade tanto de suportar o frio quanto o calor, conforme observaremos experimentalmente.

Costuma-se dizer que o calor ou o frio úmido são insuportáveis. Por exemplo, é preferível conviver em um clima frio seco de temperatura menor, do que em um frio úmido de temperatura maior. Estamos nos referindo a um excesso de umidade (além dos limites que necessitamos organicamente para viver). Os problemas que enfrentamos com o excesso de umidade se relacionam, principalmente, ao elevado calor específico da água (sua maior capacidade térmica de armazenar calor em relação aos outros elementos gasosos da atmosfera). Assim, as trocas de calor que efetuamos com o ambiente atmosférico através de nossas vias respiratórias ou mesmo pela pele são muito maiores nas regiões de climas mais úmidos. Isto estabelece uma sensação térmica de temperatura ainda menor (no frio) ou ainda maior (no calor) do que a verificada em temperatura ambiente de igual valor numa região de umidade mais baixa

O link a seguir mostra um vídeo bem interessante e que contém um caráter interdisciplinar, integrando a Física e a Geografia, e que trata dos elementos e fatores do clima: <https://www.youtube.com/watch?v=KuRW8vcK8ZA>.

Deve-se ter total cuidado para não confundir o termo “calor”, que representa sensação térmica e é utilizado cotidianamente pelas pessoas, com o conceito físico de calor, que significa energia térmica em movimento. A partir de agora quando for utilizada a palavra calor está se referindo à energia térmica sendo transferida.

A seguir serão apresentadas três situações semelhantes, nas quais ocorre a queima de algum combustível com a consequente liberação de calor.

A temperatura constante do corpo humano sadio é em torno de $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o calor necessário para manter esta temperatura vem da queima dos alimentos pela digestão e do oxigênio retirado da atmosfera pela respiração; movimento gerado pelo motor de automóveis e pela turbina de jatos é proveniente da queima de combustíveis; o cozimento de alimentos é devido ao calor proveniente da queima da lenha ou do gás de cozinha.

É importante destacar que nem sempre a combustão resulta em fogo e o resultado é sempre a liberação de calor.

A seguir, segue o link de um texto sobre combustão, que é um assunto abordado em química, mas que se interrelaciona com a Física: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-combustao.htm>.

As tabelas a seguir fornecem os calores de combustão dos principais combustíveis e alimentos:

Combustível	Calor de combustão ($Kcal/Kg$)
Carvão vegetal	$7,8 \cdot 10^3$
Óleo diesel	$11 \cdot 10^3$
Petróleo	$11 \cdot 10^3$
Gasolina	$11 \cdot 10^3$
Querosene	$11 \cdot 10^3$
TNT	$3,6 \cdot 10^3$
Gás Natural	$13 \cdot 10^3$
Gás manufacturado	$5,6 \cdot 10^3$ a $8,3 \cdot 10^3$
Gás hidrogênio	$34 \cdot 10^3$
Lenha	$2,8 \cdot 10^3$ a $4,4 \cdot 10^3$
Álcool 95° GL (hidratado)	$5,9 \cdot 10^3$

Tabela 1: Calor de combustão dos principais combustíveis.

Alimento	Calor de combustão ($Kcal/Kg$)
Carne de boi assada	$1,1 \cdot 10^3$
Porco assado	$2,4 \cdot 10^3$
Peixe assado	$1,3 \cdot 10^3$
Peixe defumado	$2,3 \cdot 10^3$
Ovo cozido	$1,6 \cdot 10^3$
Ovo frito	$2,1 \cdot 10^3$
Óleo de oliva	$9,0 \cdot 10^3$
Açúcar	$4,0 \cdot 10^3$
Batata	$1,0 \cdot 10^3$
Melancia	$0,3 \cdot 10^3$
Bolacha	$4,3 \cdot 10^3$
Arroz	$3,5 \cdot 10^3$
Feijão	$3,5 \cdot 10^3$
Milho	$3,5 \cdot 10^3$
Pão	$3,1 \cdot 10^3$
Banana	$1,1 \cdot 10^3$
Farinha de mandioca	$3,4 \cdot 10^3$
Alface	$0,2 \cdot 10^3$

Tabela 2: Calor de combustão dos principais alimentos

É importante salientar que apenas 1% do calor liberado na combustão desses alimentos é absorvido pelo corpo humano. Podemos observar na tabela 2 que os lipídeos (óleo de azeite) e os alimentos ricos em carboidratos (castanha, açúcar, batata, bolacha, arroz, milho, pão e farinha de mandioca) possuem os maiores calores de combustão sendo denominados usualmente de alimentos calóricos.

A nossa alimentação é proveniente principalmente dos carboidratos que fornecem energia para os nossos corpos realizarem suas funções orgânicas, já os lipídeos são responsáveis pela formação das membranas celulares gerando acúmulo de gorduras no corpo que servem como fonte energética na ausência de carboidratos.

Podemos concluir que o consumo alimentos altamente calóricos são capazes de causar problemas nutricionais como a obesidade e é necessário ter uma alimentação adequada para se ter uma boa qualidade de vida.

1.3 Materiais Térmicos

Um material pode ser classificado como bom condutor ou mau condutor térmico de acordo com o tipo de ligação química em sua estrutura atômica ou molecular.

Nos materiais bons condutores, como os metais, os elétrons da última camada (camada de valência) são fracamente ligados ao núcleo e desprendem-se facilmente transportando energia através de vibrações ao longo do material. Já os maus condutores (isolantes térmicos), como o papel, isopor, lã, madeira e vidro, possuem seus elétrons mais externos fortemente ligados ao núcleo, dificultando que se tornem livres e conduzam calor através do material.

Um fato cotidiano que chama atenção é que uma pessoa ao colocar a mão no interior de um forno quente ela não queima, mas ao tocar em um objeto metálico no interior desse fogo queima a mão. Isso se justifica pelo fato do calor ser conduzido de uma maneira rápida nos metais e os gases assim como os líquidos serem maus condutores de calor.

A neve é também um isolante térmico e é bastante utilizada na construção de casas para esquimós (iglus), isso se dá devido à sua estrutura cristalina que possui camadas que retêm o ar dificultando assim a transmissão de calor para o ambiente externo, mantendo os esquimós aquecidos com a temperatura de seus próprios corpos.

Para se ter uma noção de como funciona e como é construído um iglu, sugere-se assistir o vídeo contido no link a seguir: <https://youtu.be/1wNvi74lw08>.

As roupas são exemplos de isolantes térmicos e servem para manter a temperatura do corpo, impedindo que ele perca ou ganhe calor para/do o meio externo.

1.4 Os estados da matéria

A matéria pode estar agregada em três estados físicos: sólido, líquido e gasoso. A matéria é formada por moléculas em movimento e dependendo da intensidade desse movimento e da liberdade dessas moléculas é que se caracteriza o seu estado físico.

No estado sólido, as moléculas estão ligadas por forças de coesão intensas, formam uma rede cristalina regular apresentando forma e volume bem definidos.

No estado líquido, as forças de coesão entre as moléculas são menos intensas em relação ao estado sólido, apresenta volume definido, porém a forma é variável que se adapta à forma do recipiente que o contém.

Para se ter uma maior noção das características e do comportamento microscópico das partículas da matéria nas três diferentes fases será realizada

simulações utilizando o aplicativo PhET através da homepage:
https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/states-of-matter-basics.

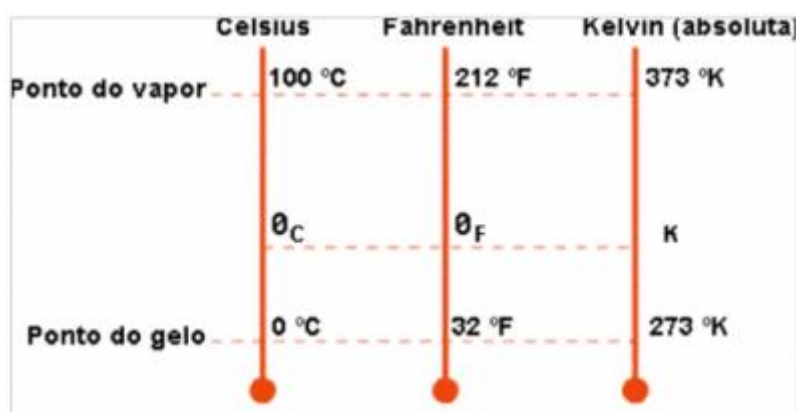
1.5 Escalas termométricas

A temperatura, como já estudado anteriormente, é a grandeza física que mede o grau de agitação das moléculas de uma substância. No Sistema Internacional de Unidades (SI) a sua unidade de medida é o Kelvin (K), mas também se utiliza mundialmente outras unidades, principalmente o grau Celsius (°C) e o grau Fahrenheit (°F).

O aparelho mais utilizado para aferir a temperatura de um corpo indiretamente é o termômetro, colocando-o em contato com o corpo até que seja atingido o equilíbrio térmico, daí será fornecido o valor da temperatura.

As três principais escalas relacionam-se tomando como referência o ponto do gelo e o ponto do vapor da água em suas respectivas escalas, podendo chegar às seguintes relações utilizando conhecimentos matemáticos de proporcionalidade:

Figura 2: Relação entre as escalas Celsius, Kelvin e Fahrenheit.



Fonte: <https://www.infoenem.com.br/calor-e-temperatura-conheca-as-escalas-termometricas/>. Acesso em: 15/04/19

$$\frac{T_C - 0}{100 - 0} = \frac{T_F - 32}{212 - 32} = \frac{T_K - 273}{373 - 273}$$

$$\frac{T_C}{100} = \frac{T_F - 32}{180} = \frac{T_K - 273}{100}$$

Dividindo todos os denominadores por 20, obtém-se:

$$\frac{T_C}{5} = \frac{T_F - 32}{9} = \frac{T_K - 273}{5}$$

Percebe-se que a variação da escala Celsius é igual à da escala Kelvin.

A escala Kelvin, também é denominada de escala absoluta. O limite inferior dessa escala é o zero Kelvin (zero absoluto), que é a temperatura mais baixa que pode existir e é o estado térmico no qual as moléculas estão em repouso, ou seja, cessa-se a agitação térmica. Na prática, essa temperatura é inatingível.

PROBLEMATIZAÇÕES:

- 1) Em nosso dia-a-dia utilizamos o calor em diversas situações. Que situações são essas e de que maneira o calor é obtido?
- 2) Quais são os combustíveis normalmente utilizados na obtenção de calor? Justifique o uso e a adequação de cada um deles.
- 3) Ao pegarmos duas pedras de gelo, e embrulharmos uma em um cobertor e deixarmos a outra sobre a pia, qual irá derreter-se primeiro?
- 4) Por que, ao fazer exercícios, sentimos “calor”?

EXERCÍCIOS:

4) Algumas das afirmações a seguir são utilizadas no cotidiano. Discuta com os colegas (grupo de 4 alunos) e corrija quando necessário essas afirmações de acordo com os conceitos estudados neste capítulo:

- e) “ – Só tem refrigerante gelado? Estou resfriado.
- Coloque a garrafa na água para ela ‘perder’ gelo.”
 - f) “— Esta mamadeira está muito quente.
- Coloque numa panela com água, para esfriar”.
 - g) “ – Como a cozinha está quente.
- É que o forno está ligado.”
 - h) “ – Tire a feijoada da panela e coloque numa cumbuca de barro, senão vai esfriar”.
- 5) (PUC-SP) Assinale a frase mais correta conceitualmente:
- f) “Estou com calor”.
 - g) “Vou medir a febre dele”.

- h) “O dia está quente; estou recebendo muito calor”.
 - i) “O dia está frio; estou recebendo muito frio”.
 - j) “Minha temperatura está alta, estou com bastante calor”.
- 6) O fato de o calor passar de um corpo para outro se deve à (ao):
- f) Quantidade de calor existente em cada um.
 - g) Diferença de temperatura entre eles.
 - h) Energia cinética total de suas moléculas.
 - i) Número de calorias existentes em cada um.
 - j) Existência de vácuo entre os corpos.
- 7) (PUC-SP) Um médico inglês mede a temperatura de um paciente com suspeita de infecção e obtém em seu termômetro clínico o valor de 102,2 °F.
- a) Tem ele motivo de preocupação com o paciente? Justifique.
 - b) Por que um doente com febre sente frio? Responda e defina também o sentido físico de calor.

CAPÍTULO 2: DILATAÇÃO TÉRMICA

2.1 Introdução

Sabe-se que a temperatura é a grandeza física que mede o estado de agitação das moléculas de um corpo. O aumento da temperatura é consequência de uma maior agitação das moléculas que colidem violentamente causando uma separação entre elas, o que provoca um aumento do volume do corpo, a chamada dilatação térmica.

Se a temperatura do corpo diminui, consequência da diminuição da agitação das moléculas haverá uma aproximação dessas moléculas ocasionando uma diminuição do seu volume, é a chamada contração térmica.

Para fins didáticos será utilizado neste livro o termo dilatação térmica para indicar tanto a expansão quanto a contração térmica.

A dilatação térmica é de fundamental importância nas obras de engenharia e não se podem desconsiderar os seus efeitos em uma construção. Por exemplo: Na construção de pontes sempre existe um espaço deixado entre uma placa e outra na

pista de rolamento; o espaço deixado entre as peças cerâmicas; o espaço entre os trilhos consecutivos de uma ferrovia; e os fios da rede elétrica que são colocados com certa folga (formato catenária) entre os postes consecutivos.

Figura 1: Fios da rede elétrica com folga devido aos efeitos da dilatação.



Fonte: <http://oserrano.com.br/view.asp?tipo=Local&id=36966>.

Acesso em: 15/04/19

Figura 2: Junta de dilatação entre as placas de uma ponte.



Fonte: <http://www.uniontech.com.br/junta-dilatacao-pontes>. Acesso em 15/04/19.

Iremos estudar inicialmente a dilatação dos sólidos. Neste tipo de dilatação ocorre sempre com a variação de seu volume, pois suas três dimensões (comprimento, largura e altura) estão variando, mas a depender da predominância de uma(s) sobre a outra(s) podemos classificá-las em:

- Dilatação Linear: predomina a variação em uma dimensão. Exemplos: trilhos de trem e fios de redes de alta tensão.

- Dilatação Superficial: predomina a variação da área de uma superfície.

Exemplos: placas (cerâmicas e blocos de concreto de uma ponte).

- Dilatação Volumétrica: Variam as três dimensões do corpo.

O fator que mais influi na variação de volume de um corpo quando submetido à uma variação de temperatura é o material que ele é feito. Os metais têm uma maior facilidade de variar o seu volume que os não metais.

2.2 Dilatação linear

Experimentalmente, percebe-se que a variação de comprimento de uma barra ao ser aquecida ou resfriada é diretamente proporcional à variação de temperatura, ao seu comprimento inicial e do tipo de material que a constitui, então podemos escrever matematicamente:

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

No qual:

$\Delta L =$ Dilatação linear, $\Delta L = L_f - L_0$

$L_0 =$ comprimento inicial; $L_f =$ comprimento final

$\Delta T =$ variação de temperatura, $\Delta T = T_f - T_0$

$T_0 =$ temperatura inicial, $T_f =$ temperatura final

α é uma constante de proporcionalidade denominada de coeficiente de dilatação linear

O coeficiente de dilatação linear depende do(s) tipo(s) de substância(s) que constitui (em) o material. No uso da fórmula do cálculo da dilatação linear (assim como das dilatações superficial e volumétrica) não é necessário utilizar as unidades no Sistema Internacional, mas deve-se tomar o cuidado para não misturar as unidades de comprimento da dilatação com a do comprimento inicial.

A unidade do coeficiente de dilatação linear, assim como dos coeficientes de dilatação superficial e volumétrica, depende da unidade que está sendo utilizada para representar a temperatura, pois é o inverso da temperatura, então pode ser dada em: $^{\circ}\text{C}^{-1}$, K^{-1} e $^{\circ}\text{F}^{-1}$.

Material	$\alpha (10^{-6} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1})$
Super Invar (Fe+Ni+Cr)	0,04
Vidro de quartzo	0,7
Invar (Fe+Ni)	0,9
Diamante	1,2
Vidro pirex	3,2
Tungstênio	4,5
Vidro comum	8,6
Platina	8,8
Ferro	11,8
Aço	12,0
Níquel	13,4
Ouro	14,2
Cobre	16,5
Prata	18,9
Alumínio	23,1
Chumbo	28,9
Zinco	30,2

Tabela 1: coeficientes de dilatação linear de alguns materiais.

2.3 Dilatação superficial

A dilatação superficial se assemelha à dilatação linear só que ocorre a variação (expansão ou contração) em duas dimensões.

A variação de área de uma placa é diretamente proporcional à variação de temperatura e à sua área inicial, sendo a constante de proporcionalidade denominada de coeficiente de dilatação superficial (β) e depende do material que constitui a superfície. A relação entre os coeficientes de dilatação linear e superficial é dada com boa precisão de $=2 \cdot \alpha$. Assim:

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \cdot \Delta T$$

Na qual:

$\Delta A = \text{dilatação superficial}; \Delta A = A_f - A_0$

$A_f = \text{área final}$

$A_0 = \text{área inicial}$

$\beta = \text{coeficiente de dilatação superficial}$

$\Delta T = \text{variação de temperatura}$

Atenção: Se uma chapa metálica que apresenta um furo for aquecida uniformemente, as dimensões desse furo (diâmetro, perímetro e área) aumentam de maneira como se fosse do mesmo material que constitui a chapa.

Figura 3: Chapa metálica com furo



Fonte: google imagens. Acesso em 15 de abr. 2019.

2.4 Dilatação volumétrica

A dilatação volumétrica é diretamente proporcional ao volume inicial do sólido e à sua variação de temperatura, sendo a constante de proporcionalidade denominada de coeficiente de dilatação volumétrica (γ). A dilatação volumétrica ocorre de maneira análoga às dilatações linear e superficial. Assim,

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

Na qual:

ΔV = dilatação volumétrica; $\Delta V = V_f - V_0$

V_f = volume final

V_0 = volume inicial

ΔT = variação de temperatura

γ = coeficiente de dilatação volumétrica

O coeficiente de dilatação volumétrica é o triplo do coeficiente de dilatação linear, assim: $\gamma = 3 \cdot \alpha$.

A unidade do coeficiente γ é a mesma dos coeficientes α e β , isto é, grau^{-1} , dependendo da escala de temperatura adotada.

ATENÇÃO!!: Da mesma forma que um furo numa chapa se dilata como se fosse constituído do material da chapa, sólido oco se dilata como se fosse maciço. Por exemplo, o volume interno de uma panela varia de acordo com a variação de temperatura como se fosse completamente ocupada pelo material que constitui a panela.

PROBLEMATIZAÇÕES:

De acordo com seus conhecimentos, responda:

- Quando se soldam duas partes de um corpo que se fragmentou, é necessário que o material utilizado na solda tenha coeficiente de dilatação de valor próximo ao do material que constitui o corpo que está sendo colado. Por quê?
- Quando o dentista faz uma obturação dentária, ele deve utilizar um material com coeficiente de dilatação próximo ao material do dente. Por quê?
- Para destarraxar a tampa metálica de um vasilhame de vidro, recomenda colocá-la sob água quente. Por quê?
- Ninguém deve levar um recipiente de vidro comum diretamente ao fogo, pois ele se quebra. O mesmo não acontece com um recipiente de vidro pirex. Por quê?

Ao lavarmos louça, às vezes verificamos que um copo fica preso dentro do outro, sendo difícil separá-los com segurança. Com base nos seus conhecimentos físicos, qual (is) uma(s) maneira(s) simples de soltar um copo do outro sem perigo de quebrá-los?

EXERCÍCIOS:

1) Um metal tem coeficiente de dilatação linear igual a $25 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Uma chapa retangular desse metal tem lados de 45 cm e 30 cm e apresenta um furo quadrado de lado 2 cm. A chapa encontra-se inicialmente a $25 \text{ } ^\circ\text{C}$ e em seguida é aquecida até a temperatura de $425 \text{ } ^\circ\text{C}$. De acordo com essas informações, responda:

- a) A área do furo aumenta, diminui ou não varia com o aquecimento?
- b) Qual é a medida do lado do furo a $425 \text{ } ^\circ\text{C}$?
- c) Qual é a área do furo a $425 \text{ } ^\circ\text{C}$?

2) (UFMG) O coeficiente de dilatação linear do latão é aproximadamente 1,6 vezes o valor do coeficiente de dilatação linear do aço. Para encaixar-se o pino de latão em um orifício numa chapa de aço, cujo diâmetro é ligeiramente menor do que o diâmetro do pino deve-se:

- a) Aquecer o pino de latão e resfriar a chapa de aço.
- b) Aquecer a chapa de aço e resfriar o pino de latão.
- c) Aquecer igualmente a chapa e o pino.

- d) Manter a temperatura da chapa e aquecer o pino.
 - e) Resfriar a chapa e manter a temperatura do pino.
- 3) (UFRO) Os corpos ocios homogêneos:
- a) Dilatam-se menos que os maciços de mesmo volume.
 - b) Dilatam-se mais que os maciços de mesmo volume.
 - c) Não se dilatam.
 - d) Dilatam-se de modo que o coeficiente de dilatação em cada direção é proporcional à extensão vazia.
 - e) Dilatam-se como se fossem maciços.

2.5 Dilatação térmica dos líquidos

Para um intervalo de temperatura que não seja tão elevado, a dilatação volumétrica de um líquido é semelhante à dilatação dos sólidos, ou seja, sua dilatação volumétrica é diretamente proporcional ao seu volume inicial e à variação de temperatura submetida, assim:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

Na qual γ é o coeficiente de dilatação real do líquido.

Os líquidos não possuem formato definido e estão sempre contidos em recipientes sólidos que por sua vez também sofrem dilatação, então a medida da dilatação do líquido é feita de maneira indireta.

Os líquidos se dilatam mais que os sólidos, daí um recipiente completamente cheio com líquido transbordará ao sofrer um aquecimento. Esse volume transbordado não é a dilatação real do líquido e sim a dilatação aparente, pois também ocorre uma dilatação no recipiente que o contém. Sabendo a dilatação do frasco, que nada mais é do que o aumento do volume interno do líquido, podemos determinar a real dilatação do líquido. Assim:

$$\Delta V = \Delta V_{ap.} + \Delta V_{rec.}$$

Na qual,

$\Delta V = \text{dilatação real do líquido}$

$\Delta V_{ap.} = \text{dilatação aparente do líquido}$

$\Delta V_{rec.} = \text{dilatação volumétrica do recipiente}$

Vale destacar que a dilatação aparente do líquido e a dilatação do recipiente são diretamente proporcionais ao volume inicial (V_0) e à variação de temperatura (ΔT), daí:

$$\begin{aligned}\Delta V_{ap.} &= V_0 \cdot \gamma_{ap.} \cdot \Delta T \\ \Delta V_{rec.} &= V_0 \cdot \gamma_{rec.} \cdot \Delta T\end{aligned}$$

Nas quais $\gamma_{ap.}$ e $\gamma_{rec.}$ são os coeficientes de dilatação aparente do líquido e de dilatação volumétrica do recipiente. Vimos que $\Delta V = \Delta V_{ap.} + \Delta V_{rec.}$, substituindo as duas equações anteriores, temos:

$$\begin{aligned}V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T &= V_0 \cdot \gamma_{ap.} \cdot \Delta T + V_0 \cdot \gamma_{rec.} \cdot \Delta T \\ V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T &= V_0 \cdot \Delta T \cdot (\gamma_{ap.} + \gamma_{rec.}) \\ \text{Assim, } \gamma &= \gamma_{ap.} + \gamma_{rec.}\end{aligned}$$

Segue a seguir uma tabela com os coeficientes de dilatação volumétrica de algumas substâncias no estado líquido:

Substância	$\gamma (10^{-4} \text{ } ^\circ \text{C}^{-1})$
Mercúrio	1,82
Glicerina	5,3
Petróleo	9,0
Etanol	11,0
Gasolina	12,0
Éter	16,0

Tabela 2: Coeficientes de dilatação volumétrica de alguns líquidos.

ATENÇÃO!! Apesar de até aqui não ter sido ainda estudada a 1ª lei da termodinâmica (será estudada no capítulo 6), ela pode ser aplicada ao estudo da dilatação térmica. Já foi afirmado anteriormente que os líquidos são mais sensíveis a variações de temperatura do que os sólidos e consequentemente se dilatam mais.

Considerando-se um líquido contido no interior de um recipiente sólido vedado, por exemplo, uma garrafa de vidro fechada. Quando o líquido trocar calor (Q) com o ambiente sofrerá uma variação de temperatura (ΔT) variando a sua energia interna (ΔU) e irá variar o seu volume realizando ou sofrendo trabalho (W).

Sendo o ambiente no qual a pressão é constante ($P = \text{constante}$), o trabalho do líquido é dado por $W = P \cdot \Delta V$, onde ΔV é a variação de volume.

Se o conjunto receber calor ($Q > 0$), terá a sua temperatura aumentada e consequentemente aumentará sua energia interna ($\Delta U > 0$) e o líquido expandirá realizando trabalho ($W > 0$).

Caso o conjunto perca calor ($Q < 0$), terá sua temperatura diminuída e sua energia interna diminuirá ($\Delta U < 0$) e o líquido se contrairá sofrendo trabalho ($W < 0$).

Então, no estudo da dilatação térmica, principalmente dos líquidos, pode-se analisar sob a perspectiva da 1ª lei da termodinâmica, já que trata da conservação da energia e tem três formas de energia envolvidas: trabalho, calor e energia interna.

Diante do que foi estudado, pode-se fazer uma contextualização com os procedimentos técnicos de engarrafamento de líquidos. Em regiões que possuem uma elevada amplitude térmica (grandes variações de temperatura) ao longo do dia deve-se tomar cuidado com relação ao volume do líquido inserido no recipiente. É necessário considerar a temperatura máxima que pode ser atingida e ao calcular a dilatação real do líquido, então deve deixar um volume vazio no recipiente maior que essa dilatação observada, pois senão o líquido se dilatará mais que o recipiente causando o seu rompimento.

PROBLEMATIZAÇÃO:

1) (ENEM) A gasolina é vendida por litro, mas, em sua utilização como combustível, a massa é o que importa. Um aumento na temperatura do ambiente leva a um aumento do volume da gasolina. Para diminuir os efeitos práticos dessa variação, os tanques dos postos de gasolina são subterrâneos. Se os tanques não fossem subterrâneos:

I - Você levaria vantagem ao abastecer o carro na hora mais quente do dia, pois estaria comprando mais massa por litro de combustível.

II – Abastecendo na temperatura mais baixa, você estaria comprando mais massa de combustível para cada litro.

III – O problema comercial da dilatação da gasolina estaria resolvido se a gasolina fosse vendida “por Kg” em vez de “por litro”.

Destas considerações, somente:

- a) I é correta
- b) II é correta
- c) III é correta
- d) I e II são corretas
- e) II e III são corretas

EXERCÍCIO

1) Um recipiente de ferro contém, até a borda, 100 cm^3 de álcool à temperatura de 20°C . Sendo o coeficiente de dilatação linear do ferro $1,2 \cdot 10^{-5}^\circ\text{C}^{-1}$ e o coeficiente de dilatação volumétrica do álcool de $1,1 \cdot 10^{-3}^\circ\text{C}^{-1}$, o conjunto (recipiente + álcool) é aquecido até 60°C . Determine:

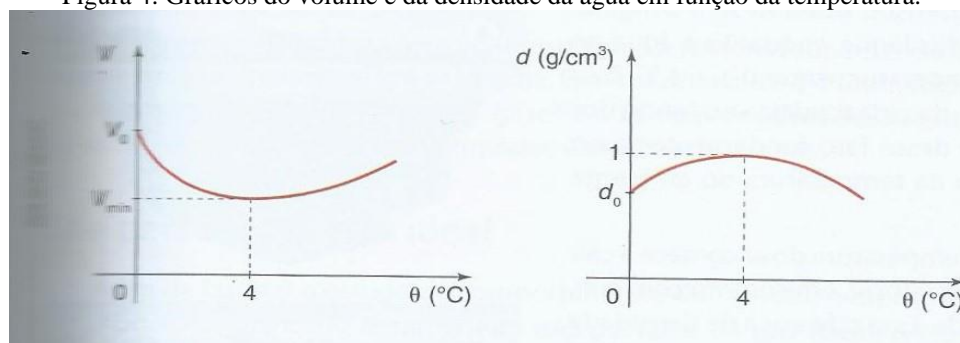
- A dilatação do recipiente;
- A dilatação do líquido;
- A dilatação aparente do álcool.

2.5.1 Anomalia da água:

Vimos até aqui que os líquidos ao sofrerem aquecimento aumentam o seu volume e ao serem resfriados diminuem o volume. No intervalo de 0°C a 4°C a água não possui esse comportamento térmico, ocorrendo o fenômeno inverso, ou seja, com o aumento da temperatura ocorre uma diminuição do volume e quando se atinge a temperatura de 4°C atinge-se o volume mínimo. Continuando o aquecimento, após 4°C ocorre a expansão do volume.

Sabe-se que a massa específica é a razão entre a massa da substância e o seu volume e que a massa específica e o volume são grandezas inversamente proporcionais ($\mu \cdot V = \text{constante} = \text{massa}$), daí a 4°C a massa específica tem o seu valor máximo.

Figura 4: Gráficos do volume e da densidade da água em função da temperatura.



Fonte: Torres et al., 2013, p. 83.

Esse fenômeno anômalo ocorre devido ao tipo de ligação química entre as moléculas da água, as chamadas pontes de hidrogênio, que ligam átomos de hidrogênio.

CAPÍTULO 3: PROCESSOS DE TRANSMISSÃO DE CALOR

3.1 Introdução

Como mostramos no capítulo 1, o calor é transmitido de um corpo (sistema) para outro corpo (sistema) quando entre eles existe uma diferença de temperatura. Os processos de transmissão de calor são classificados em três maneiras: condução, convecção e irradiação. Apesar de estudarmos cada um de modo separado, na natureza esses processos ocorrem simultaneamente quando os corpos trocam calor.

Esses processos estão bastantes presentes em nosso cotidiano, veja algumas problematizações e tente respondê-las com os seus conhecimentos do dia-a-dia e após o estudo desses fenômenos vamos respondê-las baseadas nos conceitos físicos.

e) Por que as colheres utilizadas para misturar alimentos em panelas são de plástico ou de madeira e não de metal?

f) Por que os aparelhos de ar condicionado devem colocados na parte alta do ambiente?

g) Por que ao colocarmos um objeto metálico exposto ao sol ele sofre um aquecimento?

h) Uma pessoa ao abrir uma geladeira e pegar uma garrafa de vidro e uma lata de refrigerante à mesma temperatura tem a sensação térmica da lata estar mais gelada do que a garrafa. Explique porque isso ocorre.

3.2 Condução

É o processo de transmissão de calor no qual a energia térmica passa de partícula para partícula através de vibrações sem que elas sejam deslocadas.

É importante ressaltar que a condução não transporta matéria e sim energia. Ela ocorre predominantemente nos sólidos, pois existe uma maior proximidade entre as moléculas ou átomos que os compõem, daí a agitação de uma molécula ocorre mais rápida para a seguinte.

Os metais ou ligas são bons condutores de calor, já materiais como borracha, madeira, isopor e plástico impõem dificuldade à transmissão de calor por convecção e são classificados como isolantes térmicos.

A grandeza física que determina a capacidade de um material conduzir calor é o seu coeficiente de condutibilidade térmica (K). Vejamos alguns valores na tabela a seguir:

Material	K ($\frac{cal}{s \cdot cm \cdot ^\circ C}$)
Ar seco	0,00006
Lã	0,00009
Papel	0,0003
Água	0,0014
Vidro	0,0015
Concreto	0,0025
Gelo	0,0040
Ferro	0,17
Latão	0,26
Alumínio	0,50
Ouro	0,70
Prata	0,97

Tabela 1: Valores dos coeficientes de condutibilidade de algumas substâncias.

Um experimento simples que mostra que a propagação de calor por condução ocorre através de vibrações molécula a molécula ao longo do material é o seguinte:

Materiais necessários:

- 3 colheres de materiais diferentes e de mesmo tamanho: madeira, plástico e metal;
- 1 bécker ou 1 panela contendo água;
- 1 pote de manteiga;
- 1 fonte de calor: ebulidor ou boca de fogão;

Procedimento experimental:

- Colocar a mesma quantidade de manteiga na parte convexa das 3 colheres;
- Imergir as 3 colheres simultaneamente no recipiente contendo água;
- As colheres devem ser colocadas com as partes convexas para fora do recipiente e ao máximo possível na horizontal;
- Fornecer calor à água contida no recipiente e observar a ordem de derretimento da manteiga nas colheres.

Outro experimento simples que demonstra o fenômeno da condução térmica pode ser visualizado no seguinte link: <https://www.youtube.com/watch?v=aKwZDvq2nm0>.

3.3 Convecção

É o tipo de transmissão de calor que ocorre nos fluidos (gases e líquidos) e a energia térmica é propagada através de deslocamento de matéria devido a uma diferença de densidade.

Um fluido ao ser aquecido sofre uma dilatação térmica, daí fica submetido à ação de uma força vertical com sentido para cima, denominada empuxo. O empuxo é proporcional ao volume do fluido deslocado, então esse fluido sofre um deslocamento para cima deixando espaço para que uma massa mais densa e com menor temperatura desça, formando um movimento de sobe e desce, denominado correntes de convecção, até que seja atingido o equilíbrio térmico. Ao ser atingido o equilíbrio térmico, as correntes de convecção cessam.

O link <https://www.youtube.com/watch?v=QjgQCmIowwU> mostra um experimento simples e de baixo custo, que mostra o fenômeno da convecção térmica, que os alunos podem fazer em suas casas ou até mesmo em sala de aula com o auxílio do professor.

Figura 1: Aparelho de ar condicionado



Fonte: autor (2019).

A convecção térmica explica a formação das brisas marítima e terrestre que ocorrem nas regiões litorâneas e estão associadas à diferença de temperatura da terra e do mar. Apesar da areia e da água receberem o calor proveniente do sol, a areia sofre um aquecimento maior (possui um menor calor específico) que a água durante o dia. O ar sobre a areia sobe por convecção e o espaço deixado é preenchido pelo ar sobre a água produzindo assim a brisa marítima.

Durante a noite ocorre o processo inverso, a água está mais quente do que a areia, logo o ar sobre a água sobe por convecção e o ar sobre a terra sopra para o mar gerando a brisa terrestre.

Os jangadeiros utilizam as brisas litorâneas para facilitar a pesca em alto mar, saindo para pescar à noite, levados pela brisa terrestre, e retornando pela manhã, trazidos pela brisa marítima.

As correntes de convecção são muito importantes na sustentação de veículos aéreos que não possuem propulsão como os planadores e asas delta e na travessia continental de muitos pássaros. É possível assistir no link a seguir um vídeo de um vôo de asa delta: https://www.youtube.com/watch?v=WM4L_8SoAs4.

3.4 Irradiação

É a forma de propagação de calor através de ondas eletromagnéticas. A irradiação não necessita de um meio material para se propagar, podendo se propagar no vácuo. A maior fonte de calor por irradiação é o sol, que emite ondas eletromagnéticas e quando os corpos as absorvem aumentam as suas temperaturas.

Corpos foscos e de cores escuras absorvem mais energia térmicas do que os corpos polidos e claros quando estão em um mesmo ambiente.

Um grave problema ambiental causado pela emissão excessiva de gás carbônico é o [efeito estufa](#), vamos ler o texto a seguir para entendermos suas causas e consequências, e em seguida fazemos algumas simulações no PhET para visualizar a sua ocorrência, os gases envolvidos e os processos de transmissão de calor envolvidos.

A FÍSICA NO DIA A DIA

Os problemas causados pelo excesso de gás carbônico: o efeito estufa

O gás carbônico não pode ser considerado propriamente um gás venenoso. Ele existe permanentemente no nosso sangue em circulação e é até importante em alguns mecanismos da nossa fisiologia, assim como dos outros animais. No ar, já vimos que sua presença é indispensável para realização de síntese de compostos orgânicos, ou seja, para manutenção de toda a vida do planeta. Mas é preciso que seja mantida uma certa proporção entre ele e o oxigênio. Um animal colocado em um ambiente muito carregado de gás carbônico morre asfixiado, por falta de oxigênio.

Porém o excesso de gás carbônico é o principal causador do fenômeno *efeito estufa*, que há muito tempo vem preocupando os cientistas. Há mais de 15 anos os especialistas concluíram que, se a produção de gás carbônico prosseguir nos ritmos de hoje, sua concentração no ar, por volta do ano 2030, será o dobro e a do ano 2150 será de 4 a 8 vezes superior à que existia antes da nossa era industrial. Isso terá como principal efeito produzir um aumento de mais de 6 graus Celsius na temperatura média da Terra, originando condições climáticas semelhantes às que existiam no Período Cretáceo, há mais de 70 milhões de anos! Esses aumentos de temperatura serão desiguais na superfície da Terra, tendendo a ser minimizados junto ao equador e bem maiores nas altas latitudes e nos períodos de inverno.

Mas como o gás carbônico pode causar um aumento de temperatura na Terra? A resposta está na sua propriedade de produzir o efeito estufa, isto é, o mesmo efeito conseguido nas estufas de vidro, para jardinagem, utilizadas na Europa desde o século XV para aquecimento das plantas no inverno, como já foi mencionado no capítulo 5. À medida que o ar atmosférico vai se tornando mais rico em gás carbônico, ele vai adquirindo, cada vez mais, aquela propriedade dos vidros transparentes que consiste em deixar passar as radiações solares de fora para dentro, mas não deixar voltar os raios de ondas mais longas, como os infravermelhos resultantes da irradiação de calor pelo solo.

Temperaturas bem mais elevadas que as de hoje já ocorreram na Terra, nos períodos geológicos em que sua atmosfera possuía concentrações de gás carbônico maiores que as atuais. Essas temperaturas diminuíram à medida que parte considerável desse carbono atmosférico foi sendo soterrada, na forma de carbono fóssil, que hoje constitui as jazidas de petróleo, carvão e gás natural. Mas no planeta Vênus a atmosfera atual ainda contém proporções elevadíssimas de gás carbônico, o que parece constituir a razão principal das temperaturas detectadas à sua superfície pelas sondas espaciais que a têm estudado: nada menos que 450 graus Celsius!

As possíveis conseqüências do efeito estufa

Uma elevação de 2 ou 3 graus na temperatura média do nosso planeta não parece, à primeira vista, poder causar graves conseqüências. Em nossos ambientes tropicais teríamos, provavelmente, de utilizar por maior número de horas a cada dia e por mais alguns dias a cada ano nossos ventiladores e aparelhos de ar refrigerado. Ao mesmo tempo, seria aumentado o consumo de água, de refrigerantes, de sorvetes, de bronzeadores e filtros solares. Porém nada de muito grave. Nos países temperados, o inverno seria mais brando, reduzindo os dias de neve e o consumo de combustíveis ou de energia elétrica para aquecimento dos edifícios.

Mas isso é apenas o primeiro efeito, resultante de uma análise muito superficial. Na verdade, os efeitos desse pequeno aquecimento poderiam ser catastróficos em alguns lugares do mundo! Em primeiro lugar, porque muitos tipos de vegetação terrestre, adaptados a um período regular de frio, não suportariam esse aumento de temperatura. Isso já sucedeu várias vezes no ambiente terrestre, segundo demonstram os registros fósseis: imensos pinheirais foram deslocados das posições que ocupavam, mais próximos do equador, à medida que os períodos glaciais foram terminando e as porções ocupadas pelos gelos continentais foram recuando em direção aos pólos. Além disso, as alterações de temperatura provocam enormes mudanças climáticas em todo o globo terrestre, alterando os períodos de chuva, a produtividade oceânica etc. As ligeiras oscilações de temperatura do mar que têm ocorrido, recebendo a denominação de “El Niño” (por surgir em épocas próximas do Natal, o que lembra o Menino – *Niño* – Jesus), são explicadas, por exemplo, por um aumento das áreas desérticas no continente africano.

BRANCO, S.M. Energia e meio ambiente, São Paulo, editora Moderna, 1990.

Uma atividade interessante é a realização de simulações virtuais sobre o efeito estufa através do aplicativo simulador PhET, no qual pode-se analisar como os gases do efeito estufa interferem no clima produzindo variações de temperatura. Segue o endereço eletrônico da simulação:

https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/greenhouse.

CAPÍTULO 4: CALORIMETRIA

4.1 Introdução

Conforme já estudamos, ao colocarmos dois corpos com temperaturas diferentes em contato ou próximos, haverá uma passagem de calor do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura até que se atinja o equilíbrio térmico.

Fisicamente, um corpo (substância) ao sofrer uma variação de temperatura pode aquecer ou resfriar mantendo o seu estado físico, mas também pode absorver ou liberar calor à uma temperatura constante alterando o seu estado físico. Cada substância possui um coeficiente que depende de suas propriedades físicas como massa e o tipo de material.

O calor trocado entre dois ou mais corpos pode ser classificado em:

- Calor sensível: Calor absorvido ou liberado por um corpo produzindo uma variação de temperatura sem que haja a mudança de seu estado físico. Por exemplo, o aquecimento da água de 0 °C a aproximadamente 100° C mantendo-se no estado líquido.

- Calor Latente: Calor absorvido ou liberado por um corpo ao mudar de estado físico mantendo a sua temperatura constante. Por exemplo, a água passando do estado líquido para o estado gasoso à temperatura constante de 100 °C (ao nível do mar).

A animação contida no link a seguir, mostra um exemplo de calores latentes e sensível da água ao longo de um processo de mudanças de fases e aquecimento:

<https://www.youtube.com/watch?v=pJvFy8c5vdk>.

Unidades de calor: No Sistema Internacional (S.I), a medida de calor, que é uma forma de energia, é dada em Joules (J). Na termologia, uma unidade bastante utilizada é a caloria (Cal). Essas duas unidades têm a seguinte relação: **1 cal = 4,1869 J.**

Outra unidade bastante utilizada na Física térmica é o BTU (British Thermal Unit): **1 BTU = 252 cal.**

O calor absorvido ou liberado por um corpo (sistema) depende principalmente da massa e da composição química desse corpo. Assim, podemos definir duas propriedades térmicas:

4.1.1 Capacidade Térmica (C): É a quantidade de calor necessária para variar em 1 °C a temperatura do corpo. É a razão entre a quantidade de calor absorvida ou cedida pelo corpo e a sua variação de temperatura.

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

Na qual,

C: capacidade térmica

Q: quantidade de calor

ΔT : variação de temperatura

A unidade mais usual de capacidade térmica é a $\frac{\text{cal}}{^{\circ}\text{C}}$, mas vai depender das unidades utilizadas para representar o calor e a variação de temperatura.

Exemplo 1: Uma massa de água absorve 80 cal na forma de calor e tem sua temperatura aumentada em 20 °C. Determine:

- a) a capacidade térmica;
- b) a interpretação do valor obtido na letra a).

Resolução:

- a) De acordo com o enunciado temos: $Q = 80 \text{ cal}$ e $\Delta T = 20 ^{\circ}\text{C}$ daí,

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \rightarrow C = \frac{80}{20} \rightarrow C = 4 \frac{\text{cal}}{^{\circ}\text{C}}$$

- b) Significa que essa massa de água necessita de 4 cal para sofrer o aumento de 1 °C na sua temperatura.

4.1.2 Calor específico (c): É uma propriedade térmica ligada à composição química de cada corpo e à quantidade de calor necessária para variar em 1 ° C a temperatura de uma unidade de massa da substância. Matematicamente,

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$$

Na qual:

$c \rightarrow$ calor específico

$Q \rightarrow$ quantidade de calor

$m \rightarrow$ massa do corpo

$\Delta T \rightarrow$ variação de temperatura

A unidade mais usual do calor específico é a $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C}}$.

É importante salientar que é devido ao calor específico que dois corpos de mesma massa, feitos de diferentes materiais ao receberem a mesma quantidade de calor não sofrem a mesma variação de temperatura.

Para cada estado físico, cada substância possui um valor para o seu calor específico, por exemplo, a água:

$$c_{\text{gelo}} = 0,50 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$c_{\text{água}} = 1,00 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$c_{\text{vapor}} = 0,48 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Vejam os dados a seguir com os calores específicos de algumas substâncias a 20 °C:

Substância	Calor específico ($\text{Cal}/\text{g} \cdot ^\circ\text{C}$)
Prata	0,056
Ferro	0,113
Alumínio	0,217
Éter	0,56
Álcool etílico	0,58
Água	1,0

Tabela 1: calores específicos de algumas substâncias

Observemos que $C = \frac{Q}{\Delta T}$ e $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$ ao manipularmos essas equações, temos que:

$$C \cdot \Delta T = m \cdot c \cdot \Delta T, \text{ daí:}$$

$$C = m \cdot c$$

A capacidade térmica de um corpo depende de sua massa e do calor específico da substância que o constitui.

Analisando a tabela anterior e tomando como exemplo o éter, cujo calor específico é $0,56 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$ podemos fazer a seguinte interpretação: 1 grama de éter necessita ganhar ou perder 0,56 calorias para variar sua temperatura em 1 °C.

Quanto maior o calor específico da substância, maior será a quantidade de calor para poder variar a sua temperatura. Por exemplo, a água líquida possui calor específico $1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$, valor esse que é um dos maiores existentes na natureza, o que faz com que ela necessite receber ou ceder elevadas quantidades de calor para ser aquecida ou resfriada.

A água, devido ao seu elevado calor específico, atua como um regulador do clima. É, por exemplo, responsável pela formação das brisas litorâneas devido à diferença entre seu calor específico e o calor específico da areia. Faz com que a amplitude térmica não seja tão elevada ao longo do dia (24 h).

Já nos ambientes onde há escassez de água, principalmente regiões desérticas, ocorre uma elevada amplitude térmica ao longo do dia, sendo os dias quentes e as

noites frias devido ao baixo calor específico da areia. Por esse motivo que a temperatura nas regiões desérticas diminui abruptamente ao anoitecer.

Após o estudo de todos os tópicos deste capítulo, é interessante o aluno assistir os vídeos de dois experimentos que determinam a [capacidade térmica de um calorímetro](#) e o [calor específico de um metal](#).

4.2 Equação fundamental da calorimetria

Essa equação pode obtida através da equação que define o calor específico:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Na qual:

$Q \rightarrow$ quantidade de calor sensível absorvido ou liberado

$m \rightarrow$ massa

$c \rightarrow$ calor específico

$\Delta T \rightarrow$ variação de temperatura

Analisando a equação fundamental da calorimetria, percebemos que:

- Se a temperatura aumenta ($\Delta T > 0$), o corpo recebe calor ($Q > 0$).
- Se a temperatura diminui ($\Delta T < 0$), o corpo cede calor ($Q < 0$).

A equação só pode ser usada quando o corpo não sofre mudança no seu estado físico e a quantidade de calor trocada é denominada de quantidade de calor sensível.

Exemplo 1) Uma peça de chumbo, de massa 60 g, foi aquecida e recebeu uma quantidade de calor de 540 cal. Sabendo que sua temperatura inicial era de 25 °C, calcule sua temperatura final. (Dado: $c = 0,03 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$).

Resolução:

Do enunciado, temos que: $m = 60 \text{ g}$; $T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$; $Q = 540 \text{ cal}$; $c = 0,03 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$; $T_f = ?$

Da equação fundamental da calorimetria, $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$, substituindo os valores: $540 = 60 \cdot 0,03 \cdot \Delta T \rightarrow 540 = 1,8 \cdot \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{540}{1,8} \rightarrow \Delta T = 300 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\Delta T = T_f - T_0 \rightarrow 300 = T_f - 25 \rightarrow T_f = 325 \text{ }^\circ\text{C}$$

Exemplo 2) Uma panela de cobre possui massa de 200 g à temperatura de 20 °C.

Tendo perdido 800 cal, calcule:

- a) O valor de sua capacidade térmica;
- b) A sua temperatura final.

(Dado: $c_{\text{cobre}} = 0,094 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$)

Resolução:

Do enunciado, temos que $m = 200 \text{ g}$; $T_0 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $Q = -800 \text{ cal}$

a) Sabemos que $C = m \cdot c$, substituindo: $C = 200 \cdot 0,094 \rightarrow C = 18,8 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$

Então, de acordo com o resultado obtido, esse corpo de cobre necessita de 18,8 cal para variar em 1 $^\circ\text{C}$ a sua temperatura.

b) $T_f = ?$ Aplicando a equação fundamental da calorimetria $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$ e sabendo que $C = m \cdot c$ então obtemos: $Q = C \cdot \Delta T \rightarrow -800 = 18,8 \cdot \Delta T$

$$\Delta T = \frac{-800}{18,8} \rightarrow \Delta T = -22,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

Isso significa que o corpo ao perder 800 cal sofreu um resfriamento de 22,6 $^\circ\text{C}$.

Esse resfriamento sofrido pela panela significa que essa quantidade de calor perdida foi transferida para outros corpos ou para o ambiente produzindo o seu aquecimento.

4.3 Quantidade de calor latente

É a quantidade de calor recebida ou cedida por um corpo para que ele mude de estado físico. Na mudança de estado físico, a temperatura permanece constante e a quantidade de calor trocada pelo corpo é proporcional à sua massa.

$$Q = L \cdot m$$

E essa constante de proporcionalidade é denominada calor latente da substância que constitui o corpo. Podemos interpretar essa constante fisicamente como sendo a quantidade de calor necessária para que uma unidade de massa da substância mude de estado físico.

$$Q = m \cdot L$$

Na qual,

$Q \rightarrow$ Quantidade de calor latente

$m \rightarrow$ massa

$L \rightarrow$ calor latente de mudança de fase

Tomemos como exemplo os calores latentes da água:

- calor latente de fusão: $L_f = 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$

- calor latente de vaporização: $L_v = 540 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$

- calor latente de solidificação: $L_s = -80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$

- calor latente de condensação: $L_c = -540 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$

O link a seguir mostra um experimento no qual durante a ebulição da água não ocorre variação de temperatura ($\Delta T = 0$) com a incidência de calor, ou seja, a temperatura permanece constante: <https://www.youtube.com/watch?v=Lj3TI050hxA>.

De acordo com os sinais dos calores latentes, podemos concluir que a fusão e a vaporização ocorrem com ganho de calor, ou seja, $Q > 0$. Os valores negativos indicam que a solidificação e a condensação ocorrem com perda de calor, $Q < 0$.

As mudanças de fase que ocorrem com absorção de calor pela substância são denominadas transformações endotérmicas. São elas a fusão, a vaporização e a sublimação direta.

Quando as mudanças de fase ocorrem com liberação de calor, são denominadas transformações exotérmicas. São elas a condensação, a solidificação e a sublimação inversa.

Figura 1: Diagrama de mudança de fases de uma substância.



Fonte: <https://www.infoescola.com/fisico-quimica/mudancas-de-estado-fisico/>.
Acesso em: 23/04/19.

É importante ressaltar que a vaporização ocorre de três maneiras distintas:

- d) Ebulição: Ocorre a passagem do estado líquido para o gasoso ao atingir a sua temperatura de ebulição. Por exemplo, a água fervendo na panela tornando-se vapor.
- e) Evaporação: A passagem do estado líquido para o gasoso acontece de maneira lenta. Por exemplo, as roupas secando no varal.

f) **Calefação:** É a passagem brusca do estado líquido para o gasoso ao receber uma elevada quantidade de calor de maneira rápida. Por exemplo, a água líquida ao ser jogada sobre uma panela aquecida.

Ao se referir à vaporização nesse livro, estaremos tratando implicitamente da ebulição.

Substância	Temperatura de fusão (°C)	Calor latente de fusão (cal/g)	Temperatura de ebulição (°C)	Calor latente de vaporização (cal/g)
Água	0	80	100	540
Álcool etílico	-114,4	24,9	78,3	204
Chumbo	327	5,5	1750	208
Cobre	1038	51	2582	1290
Hélio	-270	0,02	-269	6
Hidrogênio	-259	68	-252,8	108
Ferro	1535	64,4	2800	1515
Mercúrio	-39	2,82	356,5	68
Ouro	1063	15,8	2660	377
Zinco	419	28,13	906	-

Tabela 2: Calores latentes de mudança de fase de algumas substâncias.

As temperaturas de mudanças de fase ocorrem sob pressão constante.

A seguir sugerimos um experimento simples sobre calorimetria que pode ser realizado em sala de aula com o auxílio de um professor:

EXPERIMENTAÇÃO:

Materiais utilizados:

- 1 bécker;
- 1 ebulidor;
- 1 termômetro;
- 1 balança digital de precisão;
- água;
- 1 cronômetro.

Procedimento experimental:

- Inserir um volume de água no Becker;
- aferir a temperatura inicial da água;
- fazer a leitura na balança do conjunto (água + bécker) e descontar a massa do bécker para saber a massa exata de água;
- inserir o ebulidor e o termômetro no recipiente;

- observar a variação de temperatura da água líquida à medida que o ebulidor fornece calor ao conjunto;
- observar a temperatura na qual a água começa a vaporizar;
- ao iniciar a ebulição, aferir o tempo até a balança indicar uma considerável redução de massa de água líquida (algo em torno de 60 %);

A partir dessas observações, determinar:

- a) A quantidade de calor recebida pela água até atingir a sua temperatura de ebulição;
- b) A quantidade de calor recebida pela água que se vaporizou?
- c) A potência do ebulidor.

Dados: calor específico da água líquida $c = 1 \text{ Cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$ e calor latente de vaporização: $L_f = 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$.

Uma maneira de termos uma noção sobre o comportamento microscópico dos átomos ou moléculas de algumas substâncias durante as mudanças de estado físico é através do simulador PhET em https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/states-of-matter-basics.

Exemplo 1) Determine as quantidades de calor necessárias e interprete fisicamente os resultados para:

- a) Vaporizar 500 g de água a 100°C ;
- b) Solidificar 100 g de água a 0°C .
- c) Sabendo que na vaporização da letra a) foi utilizado um ebulidor elétrico, cuja potência é de 1200 W, determine :

- O tempo gasto para ocorrer a ebulição de toda a massa de água e o gasto de energia elétrica;
- A transformação de energia ocorrida nesse processo;
- Se o custo de $1 \text{ KW} \cdot \text{h}$ é de R\$ 0,80, então determine quanto será gasto no período de 1 mês (30 dias) se esse procedimento for realizado uma vez ao dia.

(Utilizar os valores dos calores latentes da água fornecidos na tabela

2.)

Resolução:

a) Temos que a massa de água é $m = 500 \text{ g}$ e que o calor latente de vaporização é $L_V = 540 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$ daí: $Q = m \cdot L_V \rightarrow Q = 500 \cdot 540 \rightarrow Q_V = 270\,000 \text{ cal}$

Conclui-se fisicamente que é necessário fornecer 270 000 cal para fazer com que 500 g de água líquida passe para o estado gasoso.

b) A massa de água é de $m = 100 \text{ g}$ e o calor latente de solidificação é

$L_S = -80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$ logo a quantidade de calor necessária para transformar essa massa de água líquida em gelo é dada por: $Q_S = m \cdot L_S \rightarrow Q_S = 100 \cdot (-80) \rightarrow Q_S = -8000 \text{ cal}$

Essa massa de água libera 8000 calorias para passar do estado líquido para o estado sólido.

c) A energia elétrica dissipada pelo ebulidor foi convertida em energia térmica, $Q_V = 270\,000 \text{ cal} = 270\,000 \cdot 4,18 = 1\,128\,600 \text{ J}$. Sabe-se que a potência de um aparelho é dado pela razão entre a energia consumida por ele e o tempo gasto nesse processo, daí:

$$P = \frac{Q_V}{\Delta t} \rightarrow 1200 = \frac{1\,128\,600}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = \frac{1\,128\,600}{1200} \rightarrow \Delta t = 15,67 \text{ min} \div 60 \equiv 0,26 \text{ h}$$

Convertendo o consumo de Joule para $KW \cdot h$, tem-se:

$$P = 1200 \text{ W} = 1,2 \text{ KW e } \Delta t = 0,26 \text{ h} \rightarrow 1,2 = \frac{Q_v}{0,26} \rightarrow Q_v = 0,312 \text{ KW} \cdot h \text{ (dia)}$$

Se esse procedimento for realizado uma vez ao dia no período de um mês, então o consumo mensal será $Q_v = 30 \cdot 0,312 = 9,36 \text{ KW} \cdot h \text{ (mês)}$.

Como o preço de 1 $KW \cdot h$ é de R\$ 0,80, então o custo mensal com energia elétrica será $9,36 \cdot 0,8 \equiv R\$ 7,50$.

Assim, pode-se concluir que no período de 1 mês (30 dias) uma pessoa pagará aproximadamente R\$ 7,50 para realizar esse procedimento diariamente.

Exercício de fixação: Tem-se uma massa de 200 g de uma substância, inicialmente a -5°C .

a) Calcule a quantidade total de calor que se deve fornecer para se atingir 90°C ;

b) Esboce a curva de aquecimento do processo em um diagrama da temperatura em função da quantidade de calor absorvida.

4.4 Calorímetro

É um sistema isolado termicamente, no qual são realizados estudos de trocas de calor entre dois ou mais corpos no seu interior. Um calorímetro deve evitar ao máximo que o calor se propague através dele, e para isso deve ser fechado e suas paredes adiabáticas.

O calorímetro ideal apesar de não trocar calor com o meio externo pode ou não trocar calor com os corpos que estão no seu interior. Quando ele não participa das trocas energéticas, possui capacidade térmica desprezível; e quando participa das trocas de calor, possui capacidade térmica considerada. Caixas de isopor e garrafas térmicas comportam-se como calorímetros ideais.

Figura 2: Isopor térmico



Fonte: <https://www.lojasbastos.com.br/comprar/caixa-termica-de-isopor/3-1/503>. Acesso em 04/06/19.

A capacidade térmica do calorímetro é também denominada de equivalente em água do calorímetro, que representa a massa de água que sofreria a mesma variação de temperatura do calorímetro. Por exemplo, se o equivalente em água do calorímetro é 3 gramas, é o mesmo que para essa massa e com o calor específico da água líquida $c_{\text{água}} = 1,00 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$ a capacidade térmica do calorímetro ser:

$$C = m \cdot c \rightarrow C = 3 \cdot 1 \rightarrow C = 3 \frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}}$$

4.4.1 Princípio geral das trocas de calor

Dois ou mais corpos sob diferentes temperaturas, inseridos em um ambiente termicamente isolado (calorímetro), trocam calor entre si até atingirem o equilíbrio térmico e a soma algébrica das quantidades de calor trocadas pelos corpos é nula. Assim:

$$\Sigma Q = 0 \rightarrow Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0$$

A FÍSICA NO DIA A DIA

Como a transpiração ajuda na regulação da temperatura do corpo humano? Em dias quentes, uma das maneiras de o corpo humano manter a sua temperatura constante é por meio do suor. A sensação de “calor” que nos afeta não depende apenas da temperatura ambiente, mas quantidade de vapor d’água existente no ar. Se o ar estiver úmido (alta concentração de vapor), a velocidade de evaporação do suor será pequena; se a evaporação é pequena, a perda de calor também é pequena e nós teremos a sensação de “calor”. Com o ar seco (baixa concentração de vapor) ocorre o contrário. A velocidade de evaporação do suor é maior e nós perdemos mais calor para o ambiente, tendo assim um maior conforto.

Por isso, podemos “sentir” mais calor em um ambiente úmido à temperatura de 28 °C do que em um ambiente seco à temperatura de 38 °C. O ar condicionado atua baixando, além da temperatura, a umidade, para promover maior sensação de conforto.

Exercícios:

1) Um bloco metálico com 100 g de massa, a 225 °C é introduzido num calorímetro de capacidade térmica desprezível que contém 500 g de água, a 21 °C. Determine o calor específico do metal que constitui o bloco, sabendo-se que o equilíbrio térmico se estabelece a 25 °C.

2) Tem-se um calorímetro de capacidade térmica 40 cal / °C, com 800 g de água, a 20 °C. Introduz-se nesse calorímetro um pedaço de ferro ($c = 0,1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$) de massa 1600 g, a 300 °C. Determine a temperatura de equilíbrio térmico.

CAPÍTULO 5: GASES PERFEITOS

5.1 Introdução

Os gases perfeitos (ideais) são uma idealização dos gases reais que por motivos didáticos facilitam o estudo do seu comportamento. A constituição de um gás é de átomos ou moléculas que estão em um movimento contínuo e desordenado e que ocupam todo o volume que o contém.

As variáveis de estado, que são grandezas macroscópicas, analisadas são o volume, a temperatura e a pressão que estão diretamente ligados a valores estatísticos (valores médios) de algumas grandezas microscópicas do gás.

O volume do gás é o mesmo do recipiente que o contém, a pressão é a força de colisão das partículas nas paredes do recipiente por unidade de área e a temperatura é associada à energia cinética das partículas do gás.

Os gases perfeitos obedecem às seguintes características, que constituem a teoria cinética dos gases:

- As partículas do gás possuem movimento caótico e contínuo, obedecendo às leis de Newton;
- só há interação entre as partículas durante as colisões (não há forças de coesão entre elas);
- as colisões entre as partículas e as paredes do recipiente e entre as próprias partículas são perfeitamente elásticas (não há perda de energia pelo sistema);
- as moléculas possuem dimensões desprezíveis.

É importante ressaltar que na natureza não existe nenhum gás perfeito, porém muitos gases reais têm comportamento aproximado dos gases ideais em condições de baixas pressão (1 atm) e temperatura (0 °C).

O estado normal de um gás é aquele cuja temperatura é 0 °C (273 K) e sua pressão é de 1 atm, essas são as chamadas Condições Normais de Temperatura e Pressão do gás (CNTP).

As variáveis de estado de um gás (pressão, volume e temperatura) caracterizam o estado termodinâmico de um gás. A condição necessária para que se altere o estado termodinâmico de um gás, ou seja, para que ele sofra uma transformação gasosa é que pelo menos duas de suas variáveis de estado se modifiquem.

5.2 TRANSFORMAÇÕES GASOSAS ESPECIAIS

Já mostramos anteriormente a condição necessária para que um gás sofra uma transformação gasosa. Consideremos certa massa gasosa, alterando duas dessas variáveis e mantendo a outra constante.

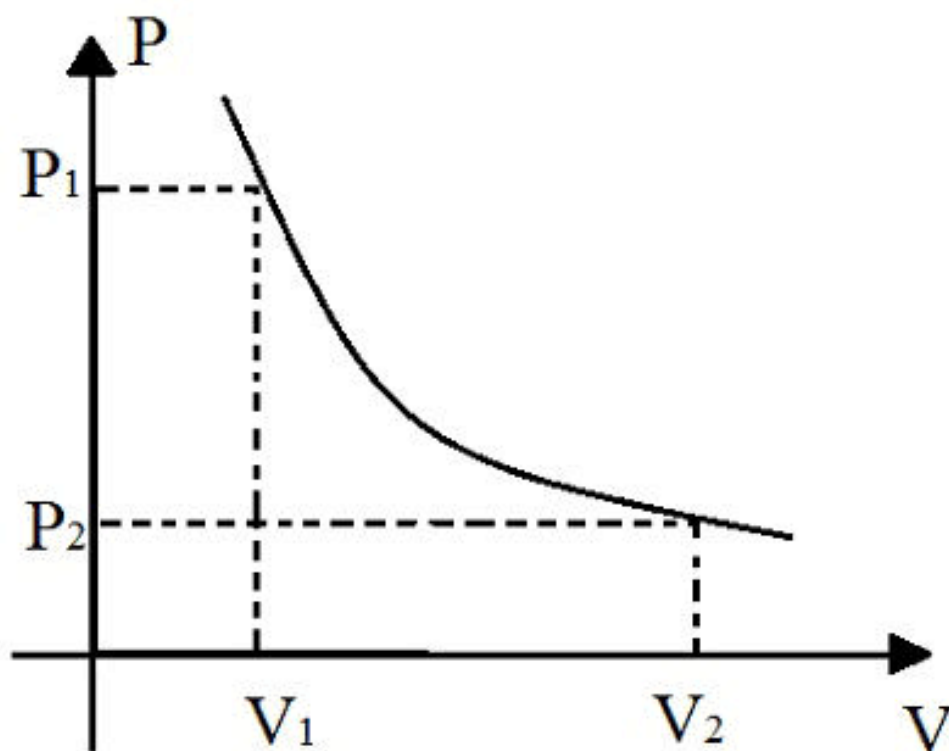
5.2.1 Transformação Isotérmica: É a transformação gasosa na qual a temperatura se mantém constante, variando a pressão e a temperatura.

De acordo com experimentos realizados sob temperatura constante, Boyle e Mariote concluíram que a pressão é inversamente proporcional ao volume do gás:

$P \cdot V = \text{constante}$, daí:

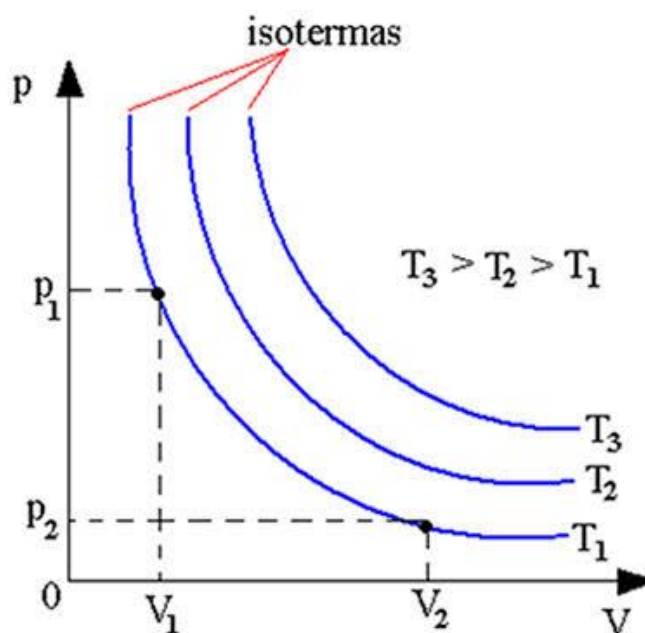
$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

Figura 1: Gráfico de uma transformação isotérmica



Pode-se perceber uma demonstração de aplicação da Lei de Boyle e Mariote através do vídeo contido no link a seguir:
<https://www.youtube.com/watch?v=7hemUwHkqus>.

Figura 2: Gráfico de várias transformações isotérmicas.



Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/transformacao-isotermica.htm>.

Acesso em: 05/06/19

Um exemplo de aplicação cotidiana é o uso de uma seringa (movimento do êmbolo).

Figura 3: Situação de uma transformação isotérmica.



Fonte: <https://blogdoenem.com.br/revisao-de-quimica/>.

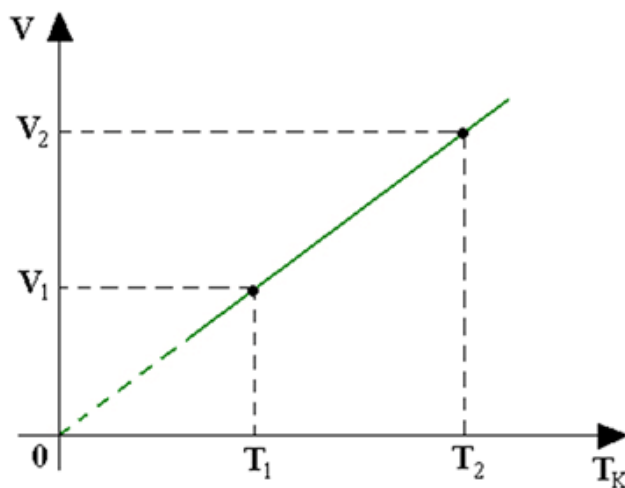
Acesso em: 05/06/19.

5.2.2 Transformação Isobárica: É a transformação gasosa na qual a pressão permanece constante, variando a temperatura e o volume do gás.

Numa transformação isobárica, o volume e a temperatura são diretamente proporcionais de acordo com a lei de Charles-Gay Lussac. Matematicamente:

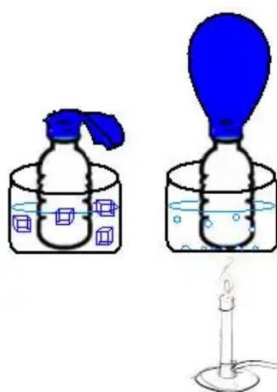
$$\frac{V}{T} = \text{constante, se } P_1 = P_2 \text{ então, } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Figura 4: Gráfico de uma transformação isobárica.



Um exemplo prático e simples de transformação isobárica que podemos realizar é colocarmos um balão no gargalo de uma garrafa, ficando retida certa massa constante de ar. Ao mergulharmos essa garrafa em um recipiente com água gelada, o balão permanece murcho. Já, quando inserimos o balão em um recipiente com água quente, o balão se enche.

Figura 5: Experimento de uma transformação isobárica.



Fonte: <https://www.manualdaquimica.com/quimica-geral/transformacao-isobarica.htm>.

Acesso em: 05/06/19.

Esse experimento é uma transformação isobárica porque é realizada em um ambiente aberto e a pressão é a pressão atmosférica que permanece constante. Ao ser inserido no recipiente com água quente, a sua temperatura aumenta devido ao aumento da velocidade das moléculas do gás o que ocasiona também o seu aumento de volume, fazendo com que o balão encha. Ao baixarmos a temperatura, inserindo água gelada, ocorre o contrário e o balão murcha.

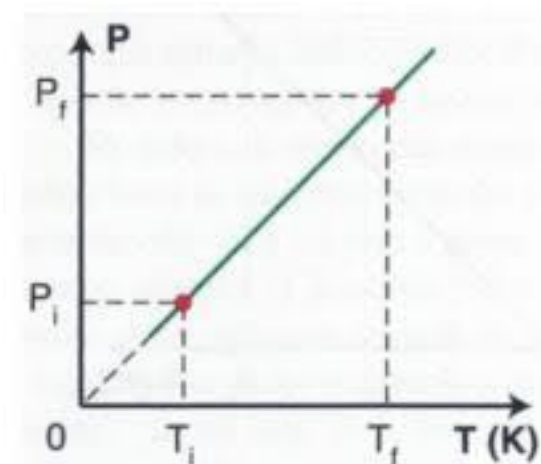
Um experimento bem parecido com esse que foi proposto anteriormente pode ser visualizado através do link: <https://www.youtube.com/watch?v=VqriP81ATU4>.

5.2.3 Transformação Isocórica, Isométrica ou Isovolumétrica: É a transformação gasosa na qual o volume permanece constante, variando a pressão e a temperatura do gás.

A transformação isocórica obedece à lei de Charles que diz que a pressão e a temperatura são diretamente proporcionais. Matematicamente:

$$\frac{P}{V} = \text{Constante, se } V_1 = V_2, \text{ então } \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = \text{constante}$$

Figura 6: Gráfico de uma transformação isocórica.



Um exemplo cotidiano de uma transformação isocórica é o aquecimento do vapor d'água no interior de uma panela fechada. Quando os gases são aquecidos ocorre um aumento da pressão interna na panela e os gases ocupam seu volume máximo (volume da panela) que é constante.

Nas panelas de pressão, existe uma válvula de segurança que regula a pressão interna de modo a não ultrapassar o seu limite suportado.

[Existe um vídeo de uma simulação virtual de partículas de um gás, no qual é possível visualizar o comportamento microscópico das partículas ao sofrer uma](#)

[transformação isocórica e também visualizar o traçado do gráfico da pressão em função da temperatura absoluta.](#)

Agora que já terminamos o estudo das 3 transformações gasosas, vamos realizar as simulações no PhET com cada uma delas e realizar as discussões necessárias. https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/gas-properties.

5.3 Quantidade de matéria (mol)

A massa de um gás pode ser representada por uma grandeza fundamental de quantidade de matéria que contém um número fixo de partículas, denominada de mol.

Esse número fixo de partículas é igual a $6,022 \cdot 10^{23}$ e é conhecido como número de Avogrado. Assim, 1 mol de uma substância representa a quantidade de matéria de $6,022 \cdot 10^{23}$ moléculas dessa substância.

A massa de um mol de uma substância, dada em gramas, é denominada de massa molar (M). A massa molar é a massa de $6,022 \cdot 10^{23}$ moléculas da substância. Assim, podemos relacionar a massa de uma substância com seu número de mols:

$$1 \text{ mol} \rightarrow M \text{ (massa molar)}$$

$$\eta \text{ mols} \rightarrow m \text{ (massa da substância)}$$

$$\text{Daí, } \eta = \frac{m}{M}$$

5.3.1 EQUAÇÃO DE CLAYPERON (Equação de Estado de um Gás Perfeito)

O físico francês Paul-Émile Clayperon (1799 – 1864) através de estudos das transformações isotérmicas e isobáricas, relacionou as variáveis de estado de um gás perfeito (pressão, volume e temperatura) com o número de mols desse gás.

Na transformação isotérmica, a pressão é inversamente proporcional à temperatura do gás. Já na transformação isobárica, o volume é diretamente proporcional à temperatura do gás.

Daí, Clayperon concluiu que a razão $\frac{P \cdot V}{T}$ é proporcional ao número de mols, assim $\frac{P \cdot V}{T} = R \cdot \eta$, onde R é uma constante de proporcionalidade denominada constante universal dos gases perfeitos.

Organizando a equação anterior, temos: $P \cdot V = \eta \cdot R \cdot T$

O valor da constante R depende das unidades utilizadas na pressão, volume, número de mols e temperatura absoluta. Podemos facilmente determinar para 1 mol

do gás o valor de R nas condições normais de temperatura e pressão e com as unidades do Sistema Internacional.

Nas CNTP, temos:

$$\eta = 1 \text{ mol}; \quad P = 1 \text{ atm} = 1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad ; \quad V = 22,414 \text{ l} = 22,414 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \quad \text{e} \quad T = 0^\circ \text{C} = 273 \text{ K}.$$

$$\frac{P \cdot V}{T} = R \cdot \eta \rightarrow \frac{(1 \text{ atm}) \cdot (22,41 \text{ l})}{(273 \text{ K})} = R \cdot (1 \text{ atm}), \text{ daí:}$$

$$R = 0,082057 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Utilizando as unidades do Sistema Internacional, temos:

$$\frac{P \cdot V}{T} = R \cdot \eta \rightarrow \frac{\left(1 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right) \cdot (22,414 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3)}{(273 \text{ K})} = R \cdot (1 \text{ mol}), \text{ daí:}$$

$$R = 8,31 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

5.4 Equação geral dos gases perfeitos

Imaginemos uma mesma massa gasosa (mesmo número de mols) que passa de um estado inicial 1 para um novo estado 2,

ESTADO 1 (P_1, V_1, T_1)	ESTADO 2 (P_2, V_2, T_2)
---------------------------------	---------------------------------

Ao aplicarmos a equação de Clayperon nos dois estados, temos:

$$P_1 \cdot V_1 = \eta \cdot R \cdot T_1 \rightarrow \eta \cdot R = \frac{P_1 \cdot V_1}{T_1}$$

$$P_2 \cdot V_2 = \eta \cdot R \cdot T_2 \rightarrow \eta \cdot R = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Igualando as duas equações anteriores, temos:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Essa equação relaciona dois estados quaisquer de certa massa gasosa e representa a lei geral dos gases perfeitos.

Vamos agora realizar simulações no PhET aplicando a lei geral dos gases perfeitos e analisar o comportamento microscópico e macroscópico de certa massa gasosa: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/gas-properties.

EXERCÍCIOS:

1) (Unicamp – SP) Uma bola de futebol impermeável e murcha é colocada sob uma campânula, num ambiente hermeticamente fechado. A seguir, extrai-se

lentamente o ar da campânula até que a bola acabe por readquirir sua forma esférica. Ao longo do processo, a temperatura é mantida constante. Ao final do processo, tratando-se o ar como um gás perfeito, podemos afirmar que:

- a) A pressão do ar dentro da bola diminuiu.
- b) A pressão do ar dentro da bola aumentou.
- c) A pressão do ar dentro da bola não mudou.
- d) O peso do ar dentro da bola não mudou.
- e) A densidade do ar dentro da bola aumentou.

2) Os pneus de um automóvel foram “calibrados” com 30 libras-força de ar, numa fria manhã. Após uma longa viagem, o motorista para em um posto de serviços automotivos e mede novamente a pressão dos pneus encontrando 32 libras-força. Considere que o volume interno dos pneus praticamente não tenha variado.

- a) Que tipo de transformação ocorreu com o ar interno dos pneus?
- b) Como você explica o aumento da pressão interna dos pneus?

3) Uma bexiga contendo certa massa gasosa, inicialmente a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e à pressão atmosférica normal, tem seu volume duplicado enquanto a pressão permanece a mesma. A que temperatura isso ocorrerá?

4) (EEM – SP) Um gás perfeito realiza um ciclo (1, 2, 3) formado por três transformações: (1, 2) isobárica; (2, 3) isovolumétrica e (3, 1) isotérmica. Em 1, suas variáveis são: $P_1 = 20\text{ atm}$, $V_1 = 1,5\text{ l}$ e $T_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na transformação isobárica (1, 2), o volume do gás é duplicado.

a) Calcule os valores das variáveis de estado (pressão, volume e temperatura) em cada um dos outros dois estados (2 e 3);

b) Esboce o gráfico pressão x volume para as três transformações no ciclo.

5) À mesma temperatura, moléculas de diferentes gases perfeitos têm, em média:

- a) A mesma velocidade.
- b) A mesma aceleração.
- c) Mesmo impulso.
- d) Mesma quantidade de movimento.
- e) Mesma energia cinética.

6) A pressão que um gás exerce em uma superfície é devida (o):

- a) Ao choque entre as moléculas;
- b) À força de atração entre as moléculas;
- c) Ao choque das moléculas contra a superfície considerada;
- d) À força de repulsão entre as moléculas;
- e) À força com que a superfície atrai as moléculas.

7) O pneu de um carro estacionado tem uma pressão de 2 atm, quando a temperatura é de 9 °C. Depois de o veículo correr em alta velocidade, a temperatura do pneu sobe a 37 °C e seu volume aumenta de 10 %. Qual a nova pressão do pneu?

8) Determine a massa de oxigênio (O_2) que deve conter um recipiente de volume igual a 20 l, sob pressão de 4 atm e temperatura de 27 °C.

(Dados: $R = 0,082 \frac{\text{atm}\cdot\text{l}}{\text{mol}\cdot\text{K}}$ e massa molar do oxigênio $M = 32 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$)

CAPÍTULO 6: TERMODINÂMICA

6.1 Introdução

A termodinâmica estuda as relações entre dois tipos de transferência de energia, a térmica (calor) e a mecânica (trabalho), que são originadas da interação de um sistema físico não isolado com o meio externo.

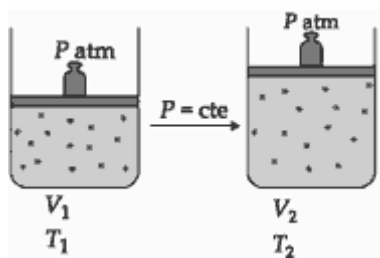
A energia mecânica pode ser convertida em energia térmica e vice-versa. Por exemplo, uma massa gasosa ao ser inserida em um recipiente cilíndrico com um êmbolo móvel, ao ser aquecida sofre uma expansão, pois foi aplicada uma força sobre o êmbolo, deslocando-o. Desse modo, o gás (sistema) recebe uma quantidade de calor do meio externo e aplica uma força no êmbolo causando o seu deslocamento, e conseqüentemente realizando um trabalho sobre o meio externo.

O sentido de propagação do calor é regido pela temperatura, pois quanto maior a temperatura, mais intensos são os choques entre as moléculas, transferindo energia cinética para as moléculas de menor velocidade, ou seja, de menor temperatura. O trabalho é realizado por uma força e não depende do movimento das moléculas do gás, ou seja, não depende da temperatura.

6.2 Trabalho em uma transformação gasosa

Um gás contido em um cilindro com um êmbolo móvel encontra-se no estado 1, esse gás é aquecido sob pressão constante (a massa sobre o êmbolo é inalterada). O gás agiu com uma força \vec{F} sobre o êmbolo produzindo o seu deslocamento (d) e ocasionando uma variação de volume ($\Delta V = V_2 - V_1$).

Figura 1: Expansão gasosa à pressão constante.



Fonte: <https://exerciciosweb.com.br/fisica/energia-interna-de-um-gas-e-trabalho-em-uma-transformacao-gasosa-exercicios/>. Acesso em: 18/06/19.

ESTADO 1 (P_1, V_1, T_1)	ESTADO 2 (P_2, V_2, T_2)
---------------------------------	---------------------------------

Sabemos que o trabalho de uma força é dado por $W = F \cdot d$ e que a variação de volume é $\Delta V = A \cdot d$, daí o deslocamento pode ser escrito $d = \frac{\Delta V}{A}$.

Substituindo, temos: $W = F \cdot \frac{\Delta V}{A} \rightarrow W = \frac{F \cdot \Delta V}{A}$ só que $\frac{F}{A} = P$, daí:

$$W = P \cdot \Delta V \rightarrow W = P \cdot (V_2 - V_1)$$

Essa expressão só é válida quando a pressão é mantida constante, ou seja, quando a transformação for isobárica. Observemos que como o trabalho é uma grandeza escalar, o seu sinal depende da variação de volume.

- Se o gás se expande, a variação de volume é positiva, então o trabalho é positivo.

- Se o gás se contrai, a variação de volume é negativa, então o trabalho é negativo.

Matematicamente:

- Se $V_2 > V_1 \rightarrow \Delta V > 0 \rightarrow W > 0$ (expansão)

- Se $V_2 < V_1 \rightarrow \Delta V < 0 \rightarrow W < 0$ (compressão)

- Se $V_2 = V_1 \rightarrow \Delta V = 0 \rightarrow W = 0$ (transformação isocórica)

Na expansão, o sistema (gás) realiza trabalho sobre o meio externo e, na compressão, o meio externo realiza trabalho sobre o sistema.

É possível calcularmos também o trabalho de um gás quando a pressão é variável através de uma propriedade matemática no gráfico da pressão em função do volume.

O trabalho de um gás é numericamente igual à área da região delimitada pela curva e o eixo das abscissas.

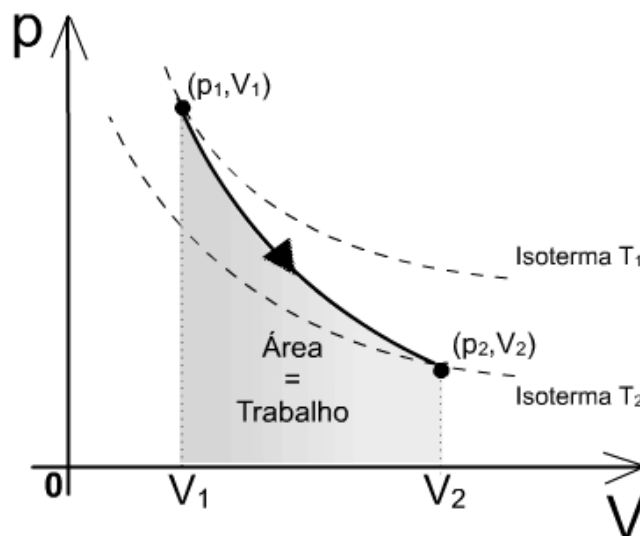
A realização de trabalho ($W > 0$) é o grande objetivo das máquinas térmicas que serão estudadas posteriormente, são exemplos: a locomotiva a vapor, caldeiras e motores de automóveis.

Os refrigerados e o ar condicionado são exemplos de aparelhos que funcionam quando o sistema sofre trabalho ($W < 0$) e o gás é comprimido.

No capítulo 7 será dada uma ênfase às máquinas térmicas e aos refrigeradores, sendo estudados em cada seção.

Figura 2: Propriedade gráfica para o cálculo do trabalho.

Daniel Schulz © (2008)



Fonte: <https://www.if.ufrgs.br/~dschulz/web/adiabatica.htm>. Acesso em: 19/06/19.

É importante observar que se houver expansão ($W > 0$) e se houver compressão ($W < 0$).

6.3 Quantidade de calor trocada entre o gás e o meio externo

Conforme já vimos no capítulo 4 deste livro, se um sistema (gás) recebe calor do meio externo, essa quantidade de calor é positiva. Já se o sistema cede calor ao meio externo, essa quantidade de calor é negativa.

6.3.1 Transformação Adiabática: É o tipo de transformação gasosa na qual não ocorre troca de calor entre o sistema e o meio externo. Esse tipo de transformação é

comum quando ocorrem variações de volume (expansão e compressão) muito rápidas, de modo que não haja tempo para a troca de calor entre o gás e o ambiente.

Um exemplo cotidiano é a expansão sofrida pelos gases que são liberados dos [sprays aerossóis](#), como os desodorantes. A velocidade com que os gases saem é tão intensa que não há tempo de trocar calor com o ambiente. A saída do gás faz com que a temperatura no interior do recipiente caia devido à diminuição na pressão interna.

Figura 3: Expansão gasosa por um spray aerossol.



Fonte: <https://alunosonline.uol.com.br/fisica/exemplos-transformacoes-gasosas.html>.

Acesso em: 24/06/19.

Outro exemplo é um gás contido em um ambiente isolado termicamente como em um isopor ou em uma garrafa térmica.

6.4 Energia interna de um gás

A energia interna de uma massa gasosa que não sofre mudança de fase depende única e exclusivamente da temperatura absoluta e é representada pela energia cinética das moléculas.

Para um gás perfeito e monoatômico, tem que sua energia interna é dada por:

$$U = \frac{3}{2} \cdot \eta \cdot R \cdot T$$

Na qual,

$U \rightarrow$ Energia interna (J)

$\eta \rightarrow$ Número de mols (mols)

$R \rightarrow$ Constante Universal dos gases perfeitos

$T \rightarrow$ Temperatura absoluta

Em uma transformação termodinâmica, temos a variação da energia interna que é dada por: $U_2 - U_1 = \Delta U = \frac{3}{2} \cdot \eta \cdot R \cdot \Delta T$

Na qual,

$\Delta U \rightarrow$ Variação de energia interna

$\Delta T \rightarrow$ Variação de temperatura

Assim, a variação de energia interna vai depender da variação da temperatura absoluta. Daí:

- Se o gás sofre aquecimento ($\Delta T > 0$), a variação de energia interna é positiva ($\Delta U > 0$), ou seja, a energia interna aumenta.

- Se o gás sofre um resfriamento ($\Delta T < 0$), a variação de energia interna é negativa ($\Delta U < 0$), ou seja, a energia interna diminui.

- Se a temperatura for mantida constante ($\Delta T = 0$), a variação de energia interna é nula, ou seja, a energia interna permanece constante.

De acordo com a teoria cinética dos gases, a variação de energia interna depende apenas das temperaturas inicial e final do gás e não dos estágios intermediários durante o processo.

6.5 1ª Lei da termodinâmica

É uma aplicação a processos termodinâmicos do princípio da conservação da energia. Esse princípio afirma que a energia não pode ser criada nem destruída, e sim transformada de uma forma de energia em outra, e a energia total permanece constante.

A 1ª lei da termodinâmica é assim enunciada: A variação de energia interna de um sistema é igual à diferença entre a quantidade de calor trocada com o meio externo e o trabalho realizado no processo. Matematicamente:

$$\Delta U = Q - W$$

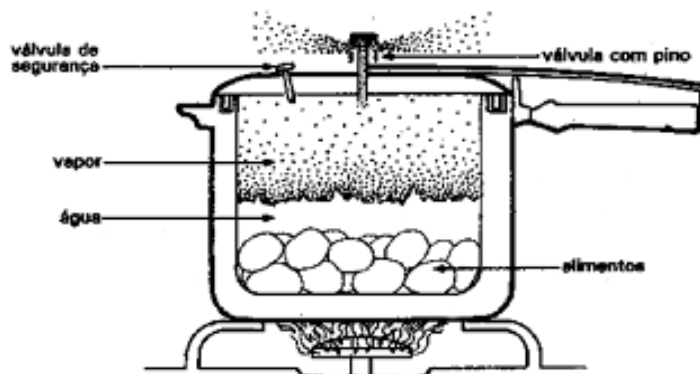
É importante ressaltar que essa lei não se aplica apenas a sistemas gasosos.

A FÍSICA NO DIA A DIA:

Um aparelho de grande serventia e utilizado em quase todas as residências é a panela de pressão, que tem como principal objetivo reduzir o tempo de cozimento dos alimentos. Já estudamos no capítulo 4 que cada substância tem sua temperatura de mudança de fase sob uma determinada pressão, por exemplo, a temperatura de ebulição da água é de aproximadamente 100 °C à uma pressão de 1 atm. Então, a

panela de pressão por ter sua tampa de vedação aumenta a pressão no seu interior e consequentemente a água nela contida irá vaporizar à uma temperatura mais elevada do que os 100 °C fazendo com que o tempo de cozimento dos alimentos no seu interior seja reduzido consideravelmente.

Figura 4: Esquema de uma panela de pressão em funcionamento.



Fonte: <http://casadosfogos.com/panela-de-pressao/>. Acesso em 26 de jun. 2019.

Vamos agora fazer uma análise da aplicação da 1ª lei da termodinâmica na utilização da panela de pressão. Consideremos uma panela de pressão contendo água e alimentos em seu interior sendo aquecida por uma fonte térmica (fogão). O sistema (panela + água + alimentos) recebe calor da fonte térmica e consequentemente tem sua energia interna aumentada devido ao seu aquecimento e daí realiza um trabalho mecânico elevando o pino da válvula da panela.

Então podemos relacionar três diferentes formas de energias em diversos fenômenos do nosso dia a dia.

6.5.1 Análise das transformações gasosas a partir da 1ª lei da termodinâmica

Transformação Isotérmica: Conforme vimos no capítulo 4, na transformação isotérmica a temperatura permanece constante, daí a variação de temperatura é igual a zero. Como a variação de energia interna depende da variação de temperatura, então podemos concluir que a variação da energia interna é zero.

$$\text{Se } \Delta T = 0 \rightarrow \Delta U = 0.$$

Nesse caso, aplicando a 1ª lei da termodinâmica, temos:

$$\Delta U = Q - W \rightarrow 0 = Q - W \rightarrow Q = W$$

Então podemos concluir que em uma transformação isotérmica, o calor trocado pelo gás é igual ao trabalho realizado no processo.

Transformação Isobárica: é a transformação na qual a pressão permanece constante, variando o volume e a temperatura. Nesse caso, podemos calcular o trabalho pela expressão: $W = P \cdot \Delta V$, conforme visto quando estudamos o tópico 1 deste capítulo.

Podemos calcular a quantidade de calor trocada pelo gás e o ambiente através da quantidade de calor sensível: $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$

Na qual:

Q: Quantidade de calor trocado à pressão constante

m: Massa do gás

c_p : Calor específico à pressão constante

ΔT : Variação de temperatura

A expressão da 1ª lei não sofre simplificação na transformação isobárica, mantendo a relação entre as três grandezas físicas. Assim $\Delta U = Q - W$.

Transformação Isocórica: Na transformação isocórica, o volume permanece constante, ou seja, sua variação é nula, daí o trabalho realizado pelo gás ou pelo ambiente também será nulo. Assim, $\Delta V = 0 \rightarrow W = 0$.

Aplicando a 1ª lei da termodinâmica na transformação isocórica, temos:

$$\Delta U = Q - W \rightarrow \Delta U = Q - 0 \rightarrow \Delta U = Q$$

Podemos concluir que na transformação isocórica, a quantidade de calor trocada pelo gás é igual à sua variação de energia interna. Assim:

- Se o gás recebe calor ($Q > 0$), sua energia interna aumenta ($\Delta U > 0$) e a temperatura aumenta;

- Se o gás perde calor ($Q < 0$), sua energia interna diminui ($\Delta U < 0$) e a temperatura diminui.

Nesse caso, a quantidade de calor trocada pelo gás pode ser calculada pela expressão da quantidade de calor sensível: $Q_V = m \cdot c_V \cdot \Delta T$

Em que,

Q_V : Quantidade de calor trocado a volume constante

m: massa do gás

c_V : Calor específico a volume constante

ΔT : Variação de temperatura

Um exemplo prático de transformação isocórica é o uso de cilindros de ar utilizados por mergulhadores.

Figura 5: Mergulhador utilizando cilindro de ar no mergulho.



Fonte: <https://www.gifel.com.br/uso-de-cilindro-de-ar-comprimido-para-mergulho/>.

Acesso: 02 de jul. 2019.

Transformação Adiabática: Numa transformação adiabática não há trocas de calor entre o sistema e o meio externo. Para que esse tipo de transformação ocorra, é necessário que a fronteira entre o gás e o meio externo seja um ótimo isolante térmico de modo a impedir as trocas de calor ou as variações de volume sejam muito rápidas de maneira que sejam desprezíveis as trocas de calor.

Aplicando a 1ª lei da termodinâmica para a transformação adiabática, temos:

$$\Delta U = Q - W, \text{ como } Q = 0, \Delta U = 0 - W \rightarrow \Delta U = -W$$

Podemos interpretar fisicamente da seguinte maneira:

- Se o gás se expande ($W > 0$), a energia interna diminui ($\Delta U < 0$) e a temperatura diminui.
- Se o gás sofre compressão ($W < 0$), a energia interna aumenta ($\Delta U > 0$) e a temperatura aumenta.

Em uma transformação adiabática é válida a lei de Poisson, na qual:

$P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma = \text{constante}$, na qual o expoente γ é denominado expoente de Poisson e dado pela razão entre os calores específicos do gás à pressão e a volume constantes:

$$\gamma = \frac{c_P}{c_V}$$

As transformações adiabáticas necessitam de condições ideais para que aconteçam conforme vimos no início deste tópico. São exemplos cotidianos de transformações adiabáticas a calibragem de pneus, a expansão de gases contidos em

sprays aerossóis e os amortecedores pressurizados que contêm gás nitrogênio em seu interior.

A seguir encontra-se um texto falando sobre as diferenças entre os amortecedores hidráulicos e os amortecedores pressurizados:

AMORTECEDORES HIDRÁULICOS E AMORTECEDORES PRESSURIZADOS

Amortecedores hidráulicos

São amortecedores equipados com óleo e ar e que possuem dois tubos distintos (reservatório e pressão) e por esse motivo são denominados "bitudos". Possuem construção simplificada de alta tecnologia proporcionando ao veículo a estabilidade necessária e um nível elevado de conforto. São desenvolvidos para todos os tipos de veículos, dos menores aos mais pesados.

Amortecedores pressurizados

São amortecedores semelhantes aos hidráulicos, porém com algumas diferenças importantes:

- O ar é substituído internamente pelo gás nitrogênio (gás inerte) a baixa pressão, injetado no momento da fabricação do amortecedor;
- O selo de vedação ou retentor é especial para esse tipo de amortecedor. Possui um lábio para prevenir a entrada de pó ou sujeira e dois lábios que previnem o vazamento do óleo. A base do selo é flexível, funcionando como uma válvula de retorno do gás, mantendo a pressão de gás somente no tubo reservatório.

Os amortecedores pressurizados proporcionam rodagem confortável e elevado nível de controle e estabilidade.

Vantagens dos amortecedores pressurizados

1. A presença do gás nitrogênio evita a formação de bolhas de ar no óleo - as bolhas são formadas quando os amortecedores alcançam altas temperaturas ou quando há movimentação intensa da suspensão. Esse processo de formação de bolhas de ar no óleo do amortecedor é denominado aeração ou cavitação. Durante sua ocorrência há uma leve perda momentânea de carga do amortecedor.
2. A pressão do gás nitrogênio no tubo reservatório pressiona o óleo para o tubo de pressão, mantendo-o sempre cheio, sem a presença de bolsas de ar. Isso auxilia na preparação do amortecedor antes da sua instalação.
3. O gás nitrogênio produz uma ação mais rápida no trabalho do amortecedor. Durante a movimentação de abertura e fechamento do amortecedor a pressão do gás nitrogênio pressionará constantemente o óleo a preencher os espaços livres decorrentes do movimento do pistão, produzindo uma reação quase instantânea aos amortecedores. Como resultado, o desempenho do amortecedor é mais constante e melhora ainda mais o contato do pneu com o pavimento, trazendo melhor dirigibilidade e segurança.

Disponível em: <https://www.monroe.com.br/tudo-sobre-amortecedores/amortecedores-hidraulicos-e-amortecedores-pressurizados>. (Acesso em: 15 ago. 2019.)

6.6 Transformação cíclica

Uma massa gasosa sofre uma transformação cíclica ao sofrer um conjunto de transformações e retornar ao mesmo estado que tinha inicialmente.

Nesse tipo de transformação, como o estado inicial coincide com o estado final, temos que a temperatura final é igual à temperatura inicial, daí a variação de temperatura é zero e, consequentemente a variação de energia interna também é zero.

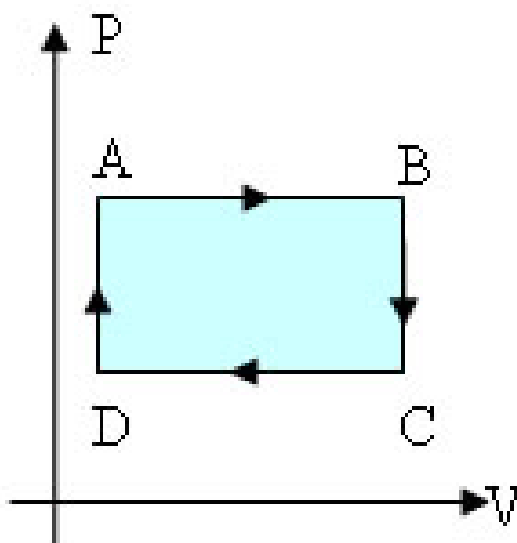
Aplicando a 1ª lei da termodinâmica, temos:

$$\Delta U = Q - W \rightarrow 0 = Q - W \rightarrow Q = W$$

Isso nos mostra que em uma transformação cíclica, o trabalho é totalmente convertido em calor ou o calor é totalmente convertido em trabalho.

O sentido dessa conversão é dado pelo diagrama P x V, pois no sentido horário, temos que o trabalho é positivo, então houve uma conversão de calor em trabalho pelo gás. Exemplos desse tipo de transformação são as máquinas térmicas (máquinas a vapor e motores de combustão).

Figura 6: Gráfico P x V no sentido horário.

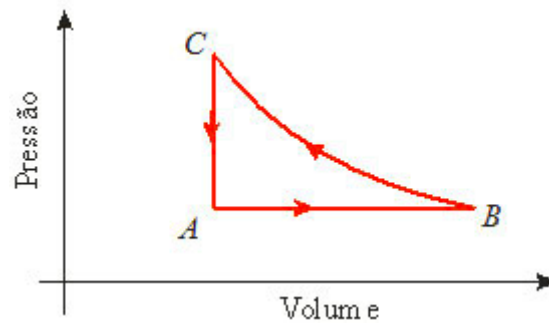


Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/transformacoes-ciclicas.htm>.

Acesso em: 16 de ago. 2019.

Quando o ciclo é no sentido anti-horário, o trabalho é negativo, ou seja, o ambiente exerce um trabalho sobre o gás que cede calor produzindo um aquecimento do ambiente. As máquinas frigoríficas (geladeiras, freezers, ar condicionados) são exemplos desse caso.

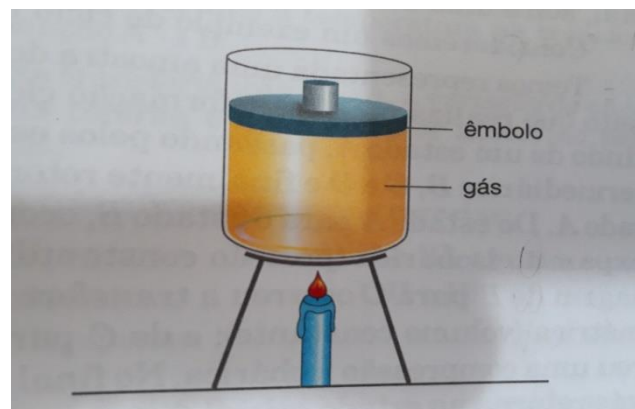
Figura 7: Gráfico P x V no sentido anti-horário.



Fonte: <https://blogdoenem.com.br/transformacao-ciclica-de-um-gas-fisica-enem/>.
Acesso em: 16/08/19.

EXERCÍCIOS

- 1) (UFMG) Um cilindro é fechado por um êmbolo que pode se mover livremente. Um gás, contido nesse cilindro, está sendo aquecido, conforme representado nessa figura:



Fonte: Xavier e Barreto (2008, p. 225).

Com base nessas afirmações, é correto afirmar que, nesse processo:

- A pressão do gás aumenta e o aumento da sua energia interna é menor que o calor fornecido.
- A pressão do gás permanece constante e o aumento da sua energia interna é igual ao calor fornecido.
- A pressão do gás aumenta e o aumento da sua energia interna é igual ao calor fornecido.
- A pressão do gás permanece constante e o aumento da sua energia interna é menor que o calor fornecido.

2) Uma certa massa gasosa sofre uma transformação isocórica e, ao final da sua transformação, sua energia interna sofreu um aumento ΔU . O que se pode afirmar a respeito da pressão do gás durante a transformação? Justifique a sua resposta.

3) Um recipiente indeformável e indilatável contém 5 mols de um gás perfeito, cujo calor específico a volume constante é $12,46 \frac{J}{mol \cdot K}$. Esse gás é aquecido desde a temperatura inicial de $30^\circ C$ até a temperatura de $280^\circ C$. Determine:

- a) A quantidade de calor que o gás recebe no processo;
- b) O trabalho realizado na transformação;
- c) A variação de energia interna do gás no processo.

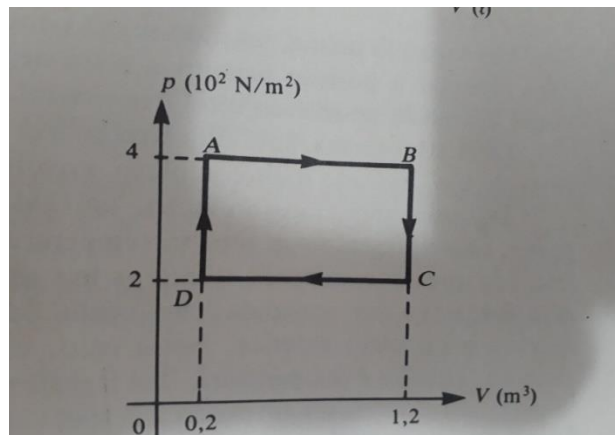
4) (UFSCar – SP) Mantendo uma pequena abertura em sua boca, assopre com vigor a sua mão agora! Viu? Você produziu uma transformação adiabática! Nela, o ar que você expeliu sofreu uma violenta expansão, durante a qual:

- a) Não houve realização de trabalho, uma vez que o ar não absorveu calor do meio e não sofreu variação de energia interna.
- b) Não houve realização de trabalho, uma vez que o ar não cedeu calor para o meio e não sofreu uma variação de energia interna.
- c) O trabalho realizado correspondeu ao aumento da quantidade de calor trocado por esse ar com o meio, por não ocorrer variação da sua energia interna.
- d) O trabalho realizado correspondeu ao aumento da energia interna desse ar, por não ocorrer troca de calor com o meio externo.
- e) O trabalho realizado correspondeu à diminuição da energia interna desse ar, por não ocorrer troca de calor com o meio externo.

5) Em uma transformação isotérmica de um gás ideal, o produto $P \cdot V$ é constante e igual a $33.240 J$. Durante o processo, 5 mols desse gás recebe do ambiente $2.000 J$ de calor. Sabendo que a constante universal dos gases perfeitos é $8,31 \frac{J}{mol \cdot K}$ determine:

- a) Se o gás sofre expansão ou compressão;
- b) A temperatura em que ocorre a transformação;
- c) A variação de energia interna do gás;
- d) O trabalho realizado na transformação.

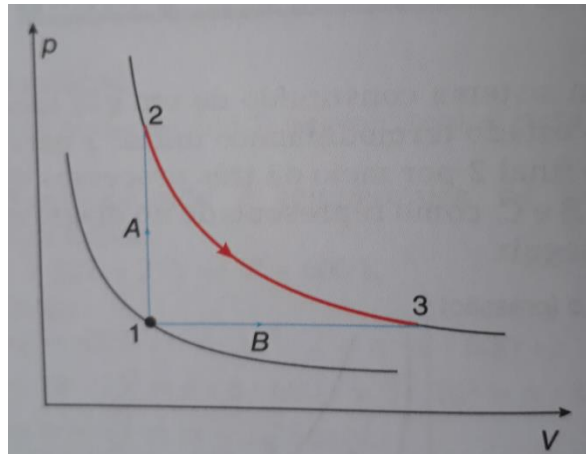
6) Uma certa quantidade de gás ideal realiza o ciclo esquematizado no gráfico a seguir.



- Calcule o trabalho realizado em cada uma das fases do ciclo (AB, BC, CD, e DA), indicando se foi realizado trabalho pelo gás ou sobre o gás.
- Quais as transformações em que há aumento de energia interna e quais aquelas em que há diminuição? justifique.
- Ao completar cada ciclo, há conversão de calor em trabalho ou de trabalho em calor? Por quê?
- Calcule a quantidade de calor e de trabalho que se interconvertem em cada ciclo.
- Supondo que esse ciclo seja utilizado em uma máquina térmica, de modo que o gás realize quatro ciclos em cada segundo. Qual a potência dessa máquina?

7) Um gás ideal de η mols está no estado 1 representado pelo diagrama $P \times V$, podendo passar para um dos dois estados, 2 ou 3, pelos percursos A e B, absorvendo do meio externo, respectivamente, 2000 cal ou 2800 cal. O diagrama apresenta também uma possível expansão isotérmica do gás, ao longo de uma curva, abaixo da qual a área corresponde a 2200 cal.

Calcule os valores da variação de energia interna, do trabalho realizado e da quantidade de calor trocado, na transformação:



Fonte: Martini et. al (2013 p. 126).

- a) Isocórica;
- b) Isobárica;
- c) Isotérmica.

8) Sob pressão de 3 atm, o volume de um gás ideal é 9 litros. Esse volume varia para 1 litro quando o gás sofre um processo adiabático. Considere que o expoente de Poisson pra esse gás é $\gamma = 1,5$.

- a) Qual a pressão final do gás?
- b) Se a temperatura no estado inicial era 600 K, qual o seu valor no estado final?
- c) A sua energia interna aumenta ou diminui?

CAPÍTULO 7: A 2ª LEI DA TERMODINÂMICA

7.1 Introdução

Na natureza muitos (ou quase todos) os fenômenos que ocorrem de maneira espontânea não ocorrem no sentido inverso sem a ação de um agente externo, são os denominados processos irreversíveis. Uma pedra ao ser abandonada não retorna espontaneamente à sua posição inicial; ao misturar duas tintas de cores distintas e miscíveis, elas não retornarão às suas cores iniciais espontaneamente sem a ação de um procedimento externo de separação; uma taça de cristal ao cair no chão quebra e seus pedaços nunca se organizarão sozinhos voltando ao seu formato original; uma

folha de papel ao ser queimada não retorna espontaneamente ao seu formato inicial. Esses são apenas alguns exemplos de processos irreversíveis existentes na natureza.

Já um processo reversível é aquele que a transformação pode ocorrer em ambos os sentidos, passando por etapas intermediárias sem causar modificações ao meio externo.

Estudamos no capítulo anterior que a 1ª lei da termodinâmica trata do princípio da conservação da energia e pode ser aplicada a processos reversíveis ou irreversíveis. Já a 2ª lei impõe os limites da natureza às ocorrências de certos fenômenos termodinâmicos, apontando o sentido de ocorrência dessas transformações. Dentre as diversas formas que essa lei pode ser enunciada, destacamos:

- 2ª lei segundo Clausius: O calor não pode fluir de forma espontânea de um corpo de menor temperatura para outro que se encontra a uma temperatura mais alta.

- 2ª lei segundo Kelvin-Planck: É impossível construir um dispositivo (máquina térmica) que, operando em ciclos termodinâmicos, transforme totalmente todo o calor recebido em trabalho.

De acordo com a 2ª da termodinâmica, não é possível construir máquinas térmicas cujo rendimento seja 100 %.

7.2 Máquinas térmicas

São dispositivos que transformam calor em trabalho através de transformações cíclicas. Para que essa transformação seja possível, é necessário que a máquina opere entre duas fontes térmicas: uma fonte quente a uma temperatura T_1 , que fornece uma quantidade de calor Q_1 à máquina térmica e uma fonte fria a uma temperatura T_2 , que recebe uma quantidade de calor Q_2 rejeitada pela máquina.

Uma parte da quantidade de calor recebida da fonte quente (Q_1) é convertida em trabalho pela máquina (W) e a outra parte é rejeitada na forma de calor para a fonte fria (Q_2).

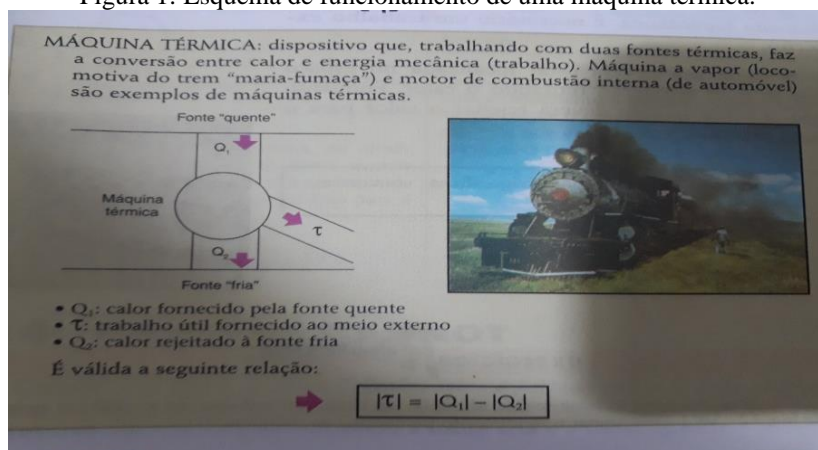
Matematicamente, podemos escrever assim: $|Q_1| = W + |Q_2|$ Na qual:

$Q_1 \rightarrow$ Calor fornecido pela fonte quente; $W \rightarrow$ Trabalho útil obtido;

$Q_2 \rightarrow$ Calor rejeitado à fonte fria

Não há como falar em máquinas térmicas sem levar em consideração a sua importância ao longo da história. Está disponível neste trabalho, [um artigo](#) sob as perspectivas histórica e cultural, no qual é possível entender como os conhecimentos de termodinâmica se relacionou com a Revolução Industrial Inglesa.

Figura 1: Esquema de funcionamento de uma máquina térmica.



Fonte: Fuke et al (1998, p. 123).

Uma sugestão de vídeo sobre a invenção, funcionamento, aperfeiçoamento e aplicações do motor a vapor (máquina térmica) está contida no link <https://www.youtube.com/watch?v=tvJ2BDhKsaQ>. Nele, é possível entendermos de maneira simples como sua invenção foi capaz de desencadear a 1ª revolução industrial Inglesa

Os ciclos, que ocorrem continuamente durante o funcionamento de uma máquina térmica, são realizados pela chamada "substância trabalhante" ou fluido de trabalho. Por exemplo, na locomotiva a vapor (Maria-fumaça) o fluido de trabalho é o vapor d'água; já nos motores a explosão de um automóvel o fluido de trabalho é uma mistura de ar com vapor de combustível.

A FÍSICA NO DIA A DIA:

Motor de explosão

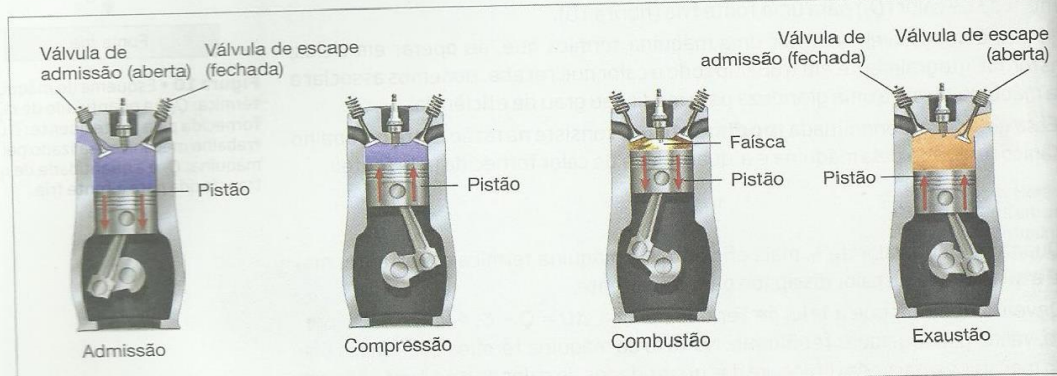
Quando ouvimos a expressão *máquinas térmicas*, é comum associá-la a máquinas a vapor. De fato, os barcos a vapor, certas locomotivas e as panelas de pressão são máquinas térmicas. Mas você sabia que os carros também são máquinas térmicas? Mais precisamente, os motores de explosão, ou de combustão interna, que utilizam álcool, *diesel* ou gasolina, são máquinas térmicas desenvolvidas ao longo do século XX, bem recentes na história da humanidade.

Vamos descrever sucintamente o que ocorre num motor de quatro tempos, que funciona em ciclos. A maior parte dos carros em circulação utiliza esse tipo de motor.

Na parte superior do motor, há um sistema de injeção eletrônica, responsável por dosar a quantidade e a composição de uma mistura de vapor de combustível e ar. Essa massa gasosa é então injetada em um pequeno cilindro, onde é comprimida e inflamada por meio de uma faísca elétrica. Assim, essa mistura de gases sofre uma combustão explosiva, gera grande quantidade de calor e si-

multaneamente eleva a pressão do sistema gasoso. Essa pressão é transmitida ao pistão, que, ao ser impelido, provoca a rotação do eixo do motor, por meio de um sistema de alavancas e engrenagens.

Os quatro tempos



Fonte: *Physical Science*. Nova York: Glencoe, 2008.

1º tempo: admissão. A válvula de admissão se abre, permitindo que a mistura gasosa entre no cilindro enquanto o pistão desce. Nessa fase, ocorre uma expansão isobárica sob pressão atmosférica (etapa OA do gráfico ao lado).

2º tempo: compressão. O pistão sobe e a massa gasosa sofre compressão na câmara. As válvulas de admissão e de escape permanecem fechadas, e a temperatura do gás se eleva. Agora, ocorre uma compressão adiabática (etapa AB).

3º tempo: combustão, ou explosão. Nessa etapa, a vela de ignição gera uma faísca elétrica que causa a combustão explosiva da mistura gasosa. O sistema gasoso sofre expansão e produz trabalho mecânico efetivo, pois força intensamente o pistão a descer. Essa força sobre o pistão provoca o movimento de rotação do eixo do motor, que está acoplado ao pistão. Nesse estágio, ocorre uma transformação isovolumétrica durante a explosão e a absorção de calor, seguida de uma expansão adiabática durante a realização de trabalho pelo gás (etapas BC e CD, respectivamente).

4º tempo: exaustão, ou escapamento. A válvula de escape se abre, permitindo a saída dos gases, e o pistão volta a subir. Ocorre transformação isovolumétrica seguida de compressão isobárica (etapas DA e AO, respectivamente).

O ciclo então se reinicia com o fechamento da válvula de escape, nova descida do pistão e reabertura da válvula de admissão.

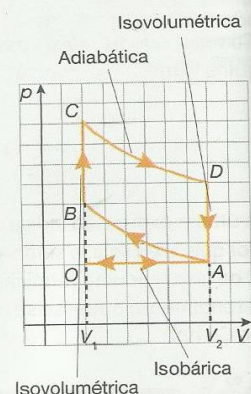


Gráfico $p \times V$ do ciclo de transformações gasosas que ocorrem em um motor de combustão.

Extraído de: Blaid Sant'Anna ... [et al.]/ Conexões com a Física – 2ª edição – págs. 133 e 134 – São Paulo: Moderna, 2013.

7.3 Rendimento de uma máquina térmica

O rendimento de uma máquina térmica é a energia que é utilizada (trabalho) da energia total fornecida (calor fornecido pela fonte quente):

$$\eta = \frac{W_{\text{útil}}}{Q_1}$$

Vimos que o trabalho é dado pela diferença entre as quantidades de calor da fonte quente e fonte fria: $W = Q_1 - Q_2$ assim:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \rightarrow \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Essa última expressão nos mostra que o rendimento de uma máquina térmica é sempre menor que 1, ou seja, nunca atingirá o rendimento de 100 %.

O rendimento de uma máquina térmica está diretamente ligado à redução dos custos da produção industrial e consequentemente ocasionando um maior lucro.

Outro fator importante, é que uma máquina com um bom rendimento polui menos, pois rejeitará menos calor e gases poluentes derivados da combustão para o meio ambiente, reduzindo assim os impactos ambientais.

A seguir está disponível um texto do livro Energia e Meio Ambiente, editora Moderna, 1990, de autoria de Samuel Murgel Branco. Nesse texto é possível entendermos os problemas causados por alguns gases provenientes da combustão.

Efeitos devidos a outros produtos da combustão

Já dissemos que a matéria combustível não é formada apenas de carbono, hidrogênio e oxigênio. Assim, os gases resultantes da queima não são apenas gás carbônico e água. Há vários outros, destacando-se os compostos de enxofre e de nitrogênio. Além disso, dependendo da maneira como é realizada a combustão, outras combinações de carbono e oxigênio podem ser formadas junto com o gás carbônico.

Entre estes últimos compostos de carbono, destaca-se, pela sua importância como poluente tóxico, o *monóxido de carbono*. Esse gás resulta da combustão incompleta do carvão e do petróleo principalmente. Talvez você já tenha ouvido falar de pessoas que morreram por ficar fechadas em uma garagem com o motor do automóvel em funcionamento; ou de famílias inteiras intoxicadas à noite, enquanto dormiam, com um fogareiro de carvão aceso para aquecer o quarto, com as vidraças fechadas.

O monóxido de carbono é o poluente atmosférico que se encontra em maior quantidade no ar das cidades, principalmente como subproduto da combustão nos automóveis. Nas grandes metrópoles – como São Paulo, por exemplo –, existem dispositivos de medida e de alarme usados para determinar a proibição do trânsito de automóveis, por algumas horas, nas áreas da cidade em que as concentrações do gás ultrapassarem um certo limite considerado perigoso à saúde da população.

Os *óxidos de nitrogênio* – especialmente o dióxido de nitrogênio –, além de irritantes das mucosas e dos pulmões, podem ser transformados, no interior do aparelho respiratório, em *nitrosaminas*. Estas são consideradas potencialmente como *carcinogênicas*, isto é, causadoras de câncer, ou ainda como produtoras de *metaemoglobinemia* – uma forma particularmente perigosa de anemia –, quando transferidas ao sangue. Os óxidos de nitrogênio estão associados aos produtos da queima de combustíveis em veículos ou em caldeiras, originando-se da oxidação do próprio nitrogênio do ar, a alta temperatura.

Os óxidos de enxofre constituem possivelmente o mais freqüente causador de problemas respiratórios nas grandes cidades. Eles resultam diretamente da queima de petróleo ou de carvão fóssil, uma vez que ambos possuem enxofre em quantidades variáveis. Os carvões nacionais, abundantes no Sul do país, são particularmente ricos em *piritas*, que são impurezas de sulfeto de ferro em estado cristalino. Os compostos de enxofre formados na combustão, além de nocivos à saúde do homem e de animais, são também muito tóxicos às plantas, causando a inibição do processo fotossintético ou, em maiores quantidades, a destruição das folhas.

CURIOSIDADE!! Você sabe por que ao encher o tanque de um automóvel bicombustível (gasolina/álcool) com gasolina ele tem uma autonomia (“roda mais”) nas mesmas condições do que ao encher com álcool?

Sabemos que o rendimento de um automóvel (máquina térmica) é a porcentagem de calor proveniente da queima do combustível utilizado que ele consegue converter em trabalho útil para se locomover. Um dos fatores mais importante no rendimento de uma máquina térmica é o tipo de fluido de trabalho utilizado, nesse caso o combustível. Como a gasolina libera uma maior energia por unidade de massa do que o álcool, então consegue ser mais eficiente. A grandeza que representa a quantidade de energia liberada por unidade de massa ao sofrer combustão é a capacidade calorífica (C).

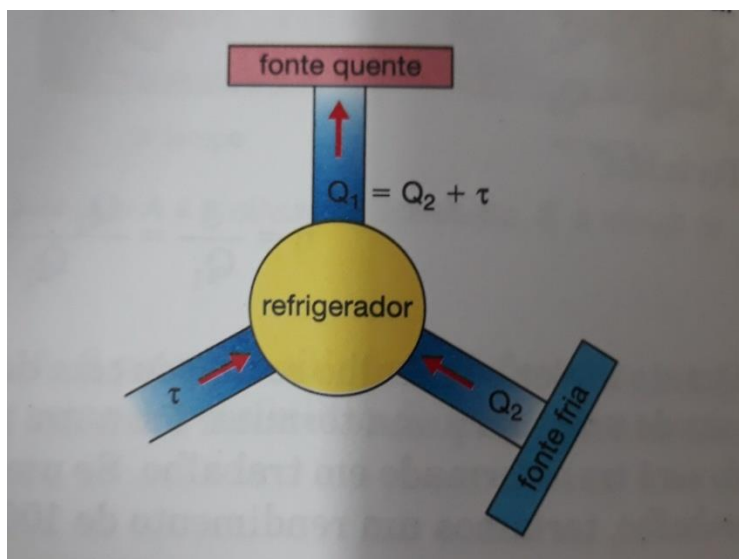
$$C_{gasolina} = 11\,200 \text{ Kcal/g} \quad e \quad C_{álcool} = 6\,650 \text{ Kcal/g}$$

7.4 Máquinas frigoríficas

Estudamos que o calor passa espontaneamente de um ambiente de maior temperatura para um ambiente de menor temperatura, porém alguns dispositivos como as geladeiras e os aparelhos de ar condicionado fazem exatamente o contrário ao retirar calor da fonte fria e rejeitar para a fonte quente. Essa transferência de calor, entretanto, não ocorre de maneira espontânea, pois assim estaria violando a 2ª lei da termodinâmica e sim devido a um trabalho externo realizado pelo compressor. As máquinas frigoríficas convertem trabalho em calor.

Os refrigeradores comuns transferem o calor retirado do ambiente de menor temperatura (refrigerador) para um ambiente de maior temperatura (meio externo) com a realização de um trabalho externo, promovendo assim o resfriamento da parte interna.

Figura 2: Esquema de funcionamento de uma máquina frigorífica



Fonte: Xavier e Barreto (2008, p. 230).

Matematicamente, $Q_1 = W + Q_2$

Na qual,

$Q_1 \rightarrow$ Calor rejeitado para a fonte quente

$W \rightarrow$ Trabalho externo (realizado sobre o compressor)

$Q_2 \rightarrow$ Calor retirado da fonte fria

A eficiência de uma máquina frigorífica é a razão entre a quantidade de calor retirada da fonte fria e o trabalho externo:

$$e = \frac{Q_2}{W}$$

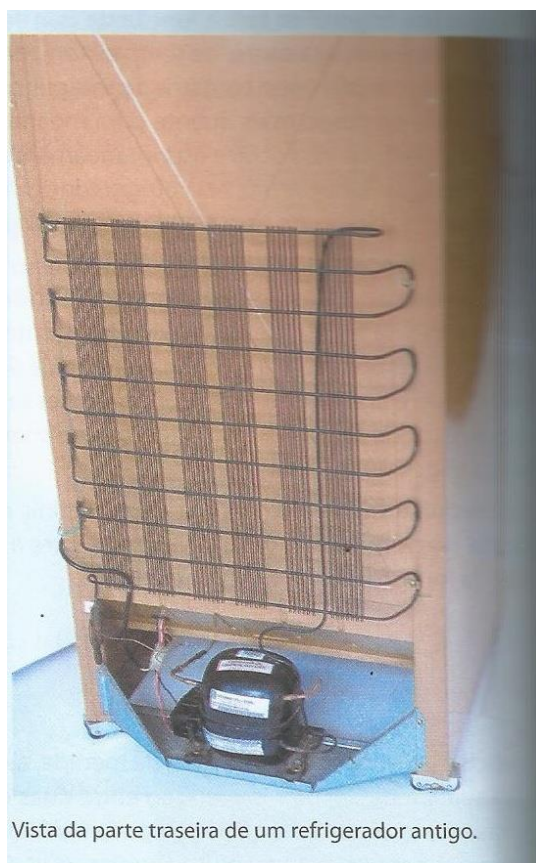
A FÍSICA NO DIA A DIA:

O REFRIGERADOR DOMÉSTICO

O refrigerador doméstico, como já foi dito, é uma máquina frigorífica. Nele, há retirada de calor do congelador (fonte fria) e rejeição de calor para o ar atmosférico (fonte quente). Essa rejeição é feita por meio de um dissipador de calor, a serpentina, colocada na parte posterior do aparelho. A transferência de calor do congelador para a atmosfera obviamente não é espontânea, pois, se isso acontecesse, a segunda lei da Termodinâmica seria violada. Ela só é possível porque o compressor realiza um trabalho externo sobre o fluido de trabalho.

A substância utilizada nos refrigeradores é denominada **refrigerante**. Desde a década de 1930, vinha sendo usado o gás fréon, mas, por ser um clorofluorcarboneto (CFC), que agride a camada de ozônio da atmosfera, um acordo internacional propôs sua substituição por outras substâncias que não produzam esse composto.

No processo de funcionamento do aparelho, essa substância alternadamente evapora (o líquido se transforma em vapor) e condensa (o vapor se transforma em líquido). No processo de evaporação, a substância absorve calor e, por isso, durante essa fase ela deve estar em contato com o congelador. Em contrapartida, a condensação do vapor ocorre com perda de calor; portanto, nessa etapa do processo, a substância deve estar em contato com a serpentina, rejeitando calor para o meio ambiente.



Extraído de: Torres... [et al.]/Física Ciência e Tecnologia– 3ª edição – págs. 120 e 121 – São Paulo: Moderna, 2013.

7.5 Ciclo de Carnot

O engenheiro francês Sadi Carnot (1796 – 1832), ao realizar estudos sobre as transformações de calor em trabalho, idealizou um ciclo termodinâmico no qual as máquinas térmicas teriam um rendimento máximo operando entre as temperaturas absolutas T_1 e T_2 .

Esse ciclo, denominado de ciclo de Carnot, é composto de duas transformações isotérmicas e duas adiabáticas alternadas e existe uma relação de proporcionalidade entre as quantidades de calor rejeitada à fonte fria (Q_2) e recebida da fonte quente (Q_1) com as respectivas temperaturas absolutas dessas fontes, assim:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

Estudamos que o rendimento de uma máquina térmica é dado por $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$

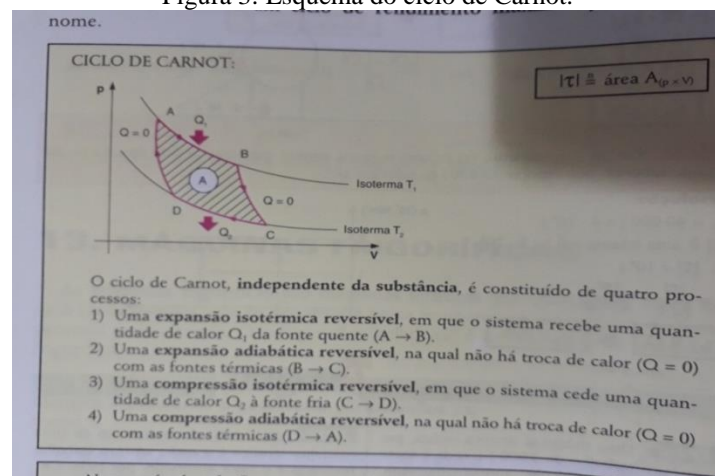
. Se substituirmos, obteremos a seguinte expressão para o rendimento de uma máquina térmica que opere no ciclo de Carnot:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \text{ (Rendimento da máquina de Carnot)}$$

Podemos concluir que, no ciclo de Carnot, o rendimento da máquina térmica depende exclusivamente das temperaturas das fontes quente e fria.

Mesmo as máquinas térmicas que operem realizando o ciclo de Carnot tendo rendimento máximo, nunca terão rendimento de 100 %, pois para que isso fosse possível a temperatura da fonte fria deveria ser 0 K, o que é fisicamente impossível.

Figura 3: Esquema do ciclo de Carnot.



Fonte: Fuke et al (1998, p. 126).

7.6 Noções de entropia

Na natureza, os fenômenos naturais ocorrem passando de maneira espontânea de um estado cujas partículas estão mais ordenadas para outro estado em que estão mais desordenadas. Podemos definir a entropia como sendo uma grandeza que está relacionada à desordem de um sistema, então, quanto maior for a entropia, maior é a desordem do sistema.

Em um sistema fechado, um processo irreversível é caracterizado por ter uma variação de entropia positiva. Já em um processo reversível, a variação de entropia é nula.

Então podemos enunciar a 2ª lei da termodinâmica da seguinte maneira:

Se um processo ocorre em um sistema fechado, a entropia aumenta para processos irreversíveis ($\Delta S > 0$) e se mantém constante para processos reversíveis ($\Delta S = 0$), ou seja, ela nunca diminui.

Existe uma tendência natural de transformação integral de formas ordenadas de energia (energia elétrica, energia mecânica, energia química, etc.) em energia térmica, que é uma forma desordenada devido ao grau de agitação das moléculas. Embora seja possível a transformação inversa, no caso das máquinas térmicas, possuem um baixo rendimento.

A energia térmica é considerada uma forma degradada de energia, e à medida que o tempo passa, diminui a chance de obtenção de energia útil em um sistema.

Podemos generalizar, afirmando que a entropia do universo sempre aumenta.

Apesar de a entropia ser expressa em termos probabilísticos dos estados microscópicos da matéria (microestados), podemos em nível de ensino médio, calcular o seu valor para transformações a temperaturas constantes pela razão entre a quantidade de calor trocado no processo e a temperatura absoluta na qual ocorre o processo.

$$\text{Assim, } \Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

$\Delta S \rightarrow$ Variação de entropia ($\frac{J}{K}$)

$\Delta Q \rightarrow$ Quantidade de calor trocado no processo (J)

$T \rightarrow$ Temperatura (K)

O vídeo contido no hiperlink a seguir fornece uma ideia maior do conceito de entropia e sua relação com a segunda da lei da termodinâmica

<https://www.youtube.com/watch?v=ouDzzvFbhDw>.

EXERCÍCIOS:

- 1) (UFAL) Analise as proposições a seguir e dê a soma das alternativas corretas:
- (01) Máquina térmica é um sistema que realiza transformação cíclica: depois de sofrer uma série de transformações, ela retorna ao estado inicial.
- (02) É impossível construir uma máquina térmica que transforme integralmente calor em trabalho.
- (04) O calor é uma forma de energia que se transfere espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.
- (08) É impossível construir uma máquina térmica que tenha um rendimento superior ao da máquina de Carnot, operando entre as mesmas temperaturas.
- (16) Quando um gás recebe 400 J de calor e realiza um trabalho de 250 J, sua energia interna sofre um aumento de 150 J.

2) (UFRGS) Um jornal noticia que um inventor excêntrico e desconhecido está anunciando um motor térmico que opera segundo um novo ciclo, no qual a totalidade do calor extraído de uma fonte de calor é transformada em trabalho. O jornal também informa que a comunidade científica recebeu com ceticismo essa notícia, uma vez que a existência de tal mecanismo violaria uma lei física bem estabelecida.

Que lei física estaria sendo frontalmente violada caso o motor anunciado funcionasse de fato com o desempenho divulgado?

- A lei da conservação da quantidade de movimento.
- A 2ª lei de Newton.
- A 1ª lei da termodinâmica.
- A 2ª lei da termodinâmica.
- A lei que traduz a equivalência entre massa e energia.

3) O diretor de uma empresa recebeu uma proposta para construir uma máquina térmica que, funcionando entre as temperaturas de 27 °C e 327 °C obtém uma potência útil de 800 W, mediante o recebimento de uma potência total, na forma de calor, de 1250 W. Consultando seu engenheiro, obteve um parecer técnico baseado

nas leis da termodinâmica. Você acha que o parecer do engenheiro foi a favor ou contra a viabilidade do projeto? Justifique.

4) Uma caldeira, a temperatura de 600 K, fornece vapor, correspondente a 1000 Kcal em cada segundo, a uma turbina. O vapor, depois de passar pela turbina, cede ao condensador 800 Kcal por segundo a uma temperatura de 293 K. Considerando $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$, determine:

- a) A potência produzida pela máquina em KW;
- b) O seu rendimento.

5) Em uma máquina frigorífica, em cada ciclo do gás utilizado, são retirados 120 J do congelador. No processo, a atmosfera recebe 150 J. Determine:

- a) O trabalho do compressor em cada ciclo;
- b) A eficiência da máquina térmica.

6) Em um refrigerador, observa-se a transferência de calor de um corpo frio para um corpo mais quente. A 2ª lei da termodinâmica, enunciada por Clausius, afirma que: “O calor não passa espontaneamente de um corpo frio para um corpo mais quente”. Escreva um texto explicando por que o funcionamento de um refrigerador não contraria o enunciado da 2ª lei proposto por Clausius.

7) Determine qual dispositivo desempenha o papel de fonte quente (a alta temperatura) e de fonte fria (a baixa temperatura) em:

- a) Um motor de carro;
- b) Uma máquina a vapor.

8) (Unifesp – SP) Costuma-se especificar os motores dos automóveis com valores numéricos 1.0, 1.6, 1.8, 2.0, entre outros. Esses números indicam também os valores crescentes da potência do motor. Pode-se explicar essa relação direta entre a potência do motor e esses valores numéricos porque eles indicam o volume aproximado, em litros:

- a) De cada cilindro do motor e, quanto maior esse volume maior, maior a potência que o combustível pode fornecer.
- b) Do consumo de combustível e, quanto maior esse volume, maior a quantidade de calor que o combustível pode fornecer.

- c) De cada cilindro do motor e, quanto maior esse volume, maior a temperatura que o combustível pode atingir.
- d) Do consumo de combustível e, quanto maior esse volume, maior a temperatura que o combustível pode fornecer.
- e) De cada cilindro do motor e, quanto maior esse volume, maior o rendimento do motor.

9) Calcule a variação de entropia no ciclo de Carnot e justifique o resultado obtido.

Referências bibliográficas

- AMORIM, A. Balão de Boyle na garrafa. Disponível em:
< <https://www.youtube.com/watch?v=7hemUwHkqus>>. Acesso em 10 de jun. 2019.
- ARTUSO, A.R; WRUBLEWSKI, M. Física. Curitiba: Positivo, 2013. v.2.
- BONJORNO, J.R; BONJORNO, R.A; BONJORNO, V; RAMOS, C.M. Física: história e cotidiano. São Paulo: FTD, 2003. (Coleção Física: história e cotidiano)
- BRANCO, S.M. Energia e meio ambiente. São Paulo: Moderna, 1990. (Coleção polêmica)
- BRASIL ESCOLA. O que é combustão?. Disponível em:
< <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-combustao.htm> >. Acesso em 13 mar. 2019.
- BRASIL ESCOLA. Pressão. Disponível em:
< <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/pressao.htm>>. Acesso em 20 de abr. 2019.
- BRUNOZisC, P. Capacidade Térmica de um Calorímetro. Disponível em
< https://www.youtube.com/watch?v=Nm_4LISU7CI>. Acesso em 07 de maio 2019.
- BRUNOZiSc, P. Medindo o calor específico do alumínio. Disponível em:
< <https://www.youtube.com/watch?v=7orxbiaRc34> >. Acesso em 07 de maio 2019.
- CARLI, E. de. Água Fervendo. 2014. Disponível em:
< <https://www.youtube.com/watch?v=Lj3TI050hxA>>. Acesso em 08 de maio 2019.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J.A; Colaboração de PIERSON, A.C. Física. São Paulo: Cortez, 1992.
- ENVEST PREVESTIBULAR. Física – Transformação Isovolumétrica. 2013. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=RSKKNV6xUfs>>. Acesso em: 12 de jun. 2019.
- FARIAS, A.J.O. Experimentos para a vida: Kit energia. Maceió: Edufal, 2014.
- FRANÇA, A. Experimento Isobárico. Disponível em:
< <https://www.youtube.com/watch?v=VqriP81ATU4>>. Acesso em 10 de jun. 2019.
- FUKE, L.F; SHIGEKIYO, C.T; YAMAMOTO, K. Os alicerces da Física. São Paulo: Saraiva, 1998. v. 2.
- INVENÇÕES NA HISTÓRIA. Como foi inventado o motor a vapor?. 2008. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=tvJ2BDhKsaQ>>. Acesso em 12 de out. 2019 .

JUNIOR, A.C.M. Curva de aquecimento da água. 2013. Disponível em:
<<https://www.youtube.com/watch?v=pJvFy8c5vdk>>. Acesso em 10 de maio 2019.

KHAN ACADEMY BRASIL. **Entropia: Abraça os caos**. 2017. Disponível em:
<<https://www.youtube.com/watch?v=ouDzzvFbhDw>>. Acesso em 23 de out. 2019.

KOHNGAMER. Vôo de asa delta no Rio de Janeiro. 2017. Disponível em
<https://www.youtube.com/watch?v=WM4L_8SoAs4>. Acesso em 26 de abr. 2019.

LAVARDA, F. Física Térmica, experimento 4: propagação de calor por condução. 2012. Disponível em:<<https://www.youtube.com/watch?v=aKwZDvq2nm0>>. Acesso em 22 de abr. 2019.

MARTINI, G; SPINELLI, W; REIS, H.C; SANT'ANNA, B. Conexões com a Física. São Paulo: Moderna, 2013. v.2.

MUNDO EDUCAÇÃO. Efeito Estufa. Disponível em:
< <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/efeito-estufa.htm>>. Acesso em 22 de abr. 2019.

PAES. T. Elementos e fatores do clima. 2018. Disponível em:
<<https://www.youtube.com/watch?v=KuRW8vcK8ZA>>. Acesso em 13 de mar. 2019.

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. O Efeito Estufa. Disponível em:
<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/greenhouse>. Acesso em 18 abr. de 2019 .

PHET INTERACTIVE SIMULATIONS. Os Estados da Matéria: Básico. Disponível em:
<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/states-of-matter-basics>. Último acesso em 25 de abr. 2019.

PhET INTERACTIVE SIMULATIONS. Propriedades dos gases. Disponível em:
<https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/gas-properties>. Acesso em 10 de jun. 2019.

PICCOLLO. T. Experiência sobre convecção térmica. 2017. Disponível em:
<<https://www.youtube.com/watch?v=QjgQCmIowwU>>. Acesso em:22 de abr. 2019.

REFÚGIO MENTAL. Como um iglu mantém as pessoas aquecidas?. 2017. Disponível em:
<<https://www.youtube.com/watch?v=1wNvi74lw08&feature=youtu.be>>. Acesso em 10 de abr. 2019.

SILVA, G.R; ERROBIADART, N.C.G. Termodinâmica e Revolução Industrial: Uma abordagem por meio da História Cultural da Ciência. História da Ciência e Ensino, v.19, 2019, p. 71 – 97.

SUPER INTERESSANTE. O que é o aerossol? Por que ele fica gelado quando agitado? Disponível em: <<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/o-que-e-o-aerossol-por-que-ele-fica-gelado-quando-agitado/>>. Acesso em 12 de out. 2019.

TORRES, C.M.A; FERRARO, N.G; SOARES, P.A.T; PENTEADO, P.C.M. Física ciência e tecnologia. São Paulo: Moderna, 2013. v.2.

XAVIER, C; BARRETO, B. Física aula por aula. São Paulo: FTD, 2008. v.2.