



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS
SANTA CLARA – POLO 28
PROGRAMA DE MESTRADO POFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

Bruno Fernandes Garcia

Física Solar como convergência de áreas da Física no Ensino Médio

Alfenas/MG

2022



FÍSICA SOLAR COMO CONVERGÊNCIA DE ÁREAS DA FÍSICA NO ENSINO MÉDIO

Bruno Fernandes Garcia

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), da Universidade Federal de Alfenas- Polo 28, como condição parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Samuel Bueno Soltau

Alfenas/MG

2022

Bruno Fernandes Garcia

Física Solar como convergência de áreas da Física no Ensino Médio

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Samuel Bueno Soltau,
Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Ihosvany Camps Rodríguez,
Universidade Federal de Alfenas

Prof. Dr. Fabian Marcel Menezes,
Observatoire de La Côte d'Azur/Lagrange Laboratoire

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Ensino de Física

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Dr. Samuel Bueno Soltau,
Orientador

Alfenas, 2022.

Dedico a minha mãe pelo apoio constante.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Alfenas, pela oportunidade. Ao SBF pelo programa no qual possibilita o aprimoramento de nossa formação continuada como professor. Às Escolas Estaduais, suas direções, administrações e funcionários: Judith Vianna, Clóvis Salgado, Godofredo Rangel, Brasil. À Escola Gralha de Azul no município de Lavras, professora Sônia e estudantes do primeiro ano do ensino médio. Ao orientador Prof. Samuel Bueno Soltau pelo acompanhamento, auxílio e demais discussões. Aos demais professores do programa do mestrado nacional profissional em ensino de Física pelo apoio constante e auxílio durante o programa. A todos funcionários da UNIFAL - MG. Aos meus pais, Angela e Juscelino pelo amor e apoio incondicional, e aos meus irmãos Pedro Henrique, André Fernandes e Gustavo Fernandes. À Ana Karla, pelo companheirismo, amor, apoio em todos os momentos e singular torcida. Aos meus amigos da Universidade Federal Fluminense, Pólo de Volta Redonda, Daniel Gonzaga e Denimara Dias e André Luís da Universidade Federal de Lavras pelo apoio constante e amizade. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa. MUITO OBRIGADO!

Se o conhecimento fosse perigoso, a solução seria a ignorância. Sempre me pareceu que a solução teria que ser a sabedoria

Isaac Isamov

Resumo

A pandemia de COVID-19 impôs adaptações nos processos de ensino e aprendizagem, visto que, as principais medidas de proteção à população são o distanciamento e o isolamento social. Com isso, na área da educação, o ensino remoto surge como resposta a essas medidas de segurança, no qual instituições de ensino, professores e alunos, viram-se diante de um grande desafio. Em especial para alguns estudantes, que não possuem acesso a meios tecnológicos e que se viram diante de um cenário em que o seu processo de aprendizagem depende unicamente dele mesmo, sendo o professor um auxiliar em seu próprio desenvolvimento. O presente trabalho visa apresentar um material didático lúdico com temáticas de física solar e astronomia, no âmbito dos tópicos de física abordados no ensino básico, que seja ao mesmo tempo acessível e que o estudante crie autonomia em seu processo de aprendizagem. Além disso, o material é polivalente para ser utilizado no ensino remoto, como também, no ensino presencial. Há nele um capítulo sobre o relato da aplicação ocorrida em escola pública rural e urbana, durante a vigência do ensino remoto, sucedido no início da pandemia e também no ano seguinte, em escola pública e particular urbana. A aplicação teve êxito em promover as atitudes esperadas dos alunos, como é verificado nos relatos e resultados dos próprios estudantes participantes das atividades de ensino.

Palavras-chave: Ensino Remoto. Física Solar. Material Didático.

Abstract

The COVID-19 pandemic imposed adaptations in the teaching and learning processes, as the main measures to protect the population are social distancing and isolation. With this, in the area of education, remote teaching appears as a response to these security measures, in which educational institutions, teachers and students, are faced with a great challenge. Especially for some students, who do not have access to technological means and who are faced with a scenario in which their learning process depends solely on themselves, with the teacher being an assistant in their own development. The present work aims to present a playful didactic material with themes of solar physics and astronomy, within the scope of physics topics covered in basic education, which is at the same time accessible and that the student creates autonomy in his learning process. In addition, the material is versatile to be used in remote teaching, as well as in face-to-face teaching. There is a chapter in it on the report of the application that took place in rural and urban public schools, during the duration of remote teaching, which took place at the beginning of the pandemic and also in the following year, in public and private urban schools. The application was successful in promoting the attitudes expected from the students, as can be seen in the reports and results of the students who participated in the teaching activities.

Keywords: Remote Teaching. Solar Physics. Didactic Material.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Representação de uma onda.	5
Figura 2 – Representação analítica de uma onda.	7
Figura 3 – Representação de uma onda senoidal, bem como o comprimento de onda e amplitude.	9
Figura 4 – Representação da frente de onda de uma onda plana.	15
Figura 5 – O espectro eletromagnético baseado nos valores de frequência	19
Figura 6 – O espectro da luz visível	20
Figura 7 – As radiações monocromáticas e seus respectivos intervalos	22
Figura 8 – Um corpo nos parece azul devido a refletir as radiações dentro do intervalo azul da luz visível.	23
Figura 9 – Um corpo nos parece com uma cor alaranja devido a refletir as radiações entre os intervalos amarelo, laranja e vermelho.	23
Figura 10 – O girassol se destaca pela coloração amarela de suas pétalas.	24
Figura 11 – Um corpo vermelho sobre uma mesa branca sendo iluminado por uma luz vermelha.	24
Figura 12 – Um corpo vermelho sobre uma mesa branca sendo iluminado por uma luz verde.	25
Figura 13 – Representação do processo de reflexão de um raio de luz incidente em uma superfície refletora	26
Figura 14 – Representação do processo de refração de um raio de luz incidente em uma superfície refratora	27
Figura 15 – Visão geométrica da lei de Snell	28
Figura 16 – Ilustração da dispersão da luz branca	31
Figura 17 – É comum vermos arco íris no final de uma chuva ou durante um chuveiro.	32
Figura 18 – A dispersão da luz branca, proveniente do Sol, em uma única gota de água de uma nuvem.	32
Figura 19 – Termômetro de mercúrio	36
Figura 20 – Aparato no qual os três estados físicos da água, gelo, água e vapor, estão em equilíbrio térmico. A temperatura (T) de equilíbrio é de $273,16K$	37
Figura 21 – Termômetro de gás com volume constante. O bulbo com o gás está dentro de um recipiente com água, no qual pretende-se medir sua temperatura	38
Figura 22 – Relação entre as escalas de temperatura, baseada no ponto triplo da água	40
Figura 23 – O Calorímetro	45
Figura 24 – Representação de uma cavidade que simula um corpo negro.	50

Figura 25 – Comparação entre a previsão teórica e os resultados experimentais para a emissão de um corpo negro e uma certa temperatura	52
Figura 26 – Espectro solar no topo da atmosfera terrestre	54
Figura 27 – Diagrama (P, V) de um gás contido em um recipiente isolado termicamente, com uma parede móvel, o pistão.	56
Figura 28 – Tampo móvel com um peso sobre um cilindro, que possui em seu interior uma quantidade de volume de gás qualquer.	59
Figura 29 – Representação do processo ligando os estado A e B . A área sob a curva entre os pontos A e B é igual ao trabalho realizado.	60
Figura 30 – Um exemplo de um Ciclo de Carnot, em um diagrama de Clapeyron.	61
Figura 31 – Curvas adiabáticas e isotérmicas se cruzando em um ciclo de Carnot.	64
Figura 32 – Uma foto do Sol capturada em 1° de Outubro de 2015, pelo <i>Solar Dynamics Observatory</i> (PESNELL; THOMPSON; CHAMBERLIN, 2011) da Nasa, mostrando a emissão de uma explosão solar de nível médio.	67
Figura 33 – Representação da estrutura do Sol, onde temos o interior que é formado pelo núcleo, zona radiativa e zona convectiva. Além disso temos a atmosfera, formada pela fotosfera, cromosfera e coroa, e que também há a presença de alguns fenômenos como os grânulos, manchas solares e proeminências.	69
Figura 34 – O processo de produção de energia no núcleo do Sol.	71
Figura 35 – A granulação presente na fotosfera, com um zoom para melhor visualização e identificação.	73
Figura 36 – As manchas solares presentes na atmosfera solar.	74
Figura 37 – Médias mensais de manchas solares ao longo dos anos.	75
Figura 38 – Durante um eclipse solar total é possível visualizar minimamente a coroa solar.	77
Figura 39 – Uma representação aproximada do que seja os filamentos ou proeminências provenientes da superfície solar.	78
Figura 40 – Ejeções de massa coronal capturadas no ano 2000, em dois horários diferentes.	78
Figura 41 – Interação das CME's com o campo magnético terrestre.	79
Figura 42 – Aurora boreal vista de uma estação espacial, na atmosfera da Terra.	80
Figura 43 – Representação do modelo descrito acima dos autores citados, a partir de um diagrama.	82
Figura 44 – Respostas das atividades ao longo do conjunto de pranchas de um estudante da zona urbana.	90
Figura 45 – Estudante com dúvidas na resolução de uma atividade.	91

Figura 46 – Estudante mostrando dificuldade em manipular a equação na resolução do problema.	91
Figura 47 – Estudante com dúvidas quanto a qual equação utilizar.	92
Figura 48 – Comentário do estudante do primeiro ano do ensino médio da escola particular, acerca das pranchas.	93
Figura 49 – Aplicação presencial do produto, na sala de vídeo da presente escola. . .	96
Figura 50 – Valores de comprimento de onda da radiação no intervalo do visível. . .	110
Figura 51 – As primeiras linhas escuras no espectro da luz solar, desenvolvido pelo Fraunhofer.	111
Figura 52 – O espectro solar a partir de uma alta resolução, no qual é descrito por valores de comprimentos de onda	112
Figura 53 – A prancha central, no qual aborda alguns tópicos de física solar.	116
Figura 54 – Todas as pranchas juntas, formando uma espécie de quebra cabeça, no qual temos tópicos de física solar no centro com os demais conjuntos de pranchas ao seu redor.	117
Figura 55 – Prancha 1 da temática de ondulatória.	119
Figura 56 – Prancha 2 da temática de ondulatória.	120
Figura 57 – Prancha 3 da temática de ondulatória.	121
Figura 58 – Prancha 4 da temática de ondulatória.	122
Figura 59 – Prancha 5 da temática de ondulatória.	123
Figura 60 – Prancha 6 da temática de ondulatória.	124
Figura 61 – Prancha 7 da temática de ondulatória.	125
Figura 62 – Prancha 8 da temática de ondulatória.	126
Figura 63 – Prancha 9 da temática de ondulatória.	127
Figura 64 – Prancha 1 da temática de temperatura.	129
Figura 65 – Prancha 2 da temática de temperatura.	131
Figura 66 – Prancha 3 da temática de temperatura.	133
Figura 67 – Prancha 4 da temática de temperatura.	134
Figura 68 – Prancha 5 da temática de temperatura.	135
Figura 69 – Prancha 1 da temática de calor.	137
Figura 70 – Prancha 2 da temática de calor.	138
Figura 71 – Prancha 3 da temática de calor.	140
Figura 72 – Prancha 4 da temática de calor.	141
Figura 73 – Prancha 5 da temática de calor.	143
Figura 74 – Prancha 6 da temática de calor.	144
Figura 75 – Prancha 7 da temática de calor.	145
Figura 76 – Prancha 8 da temática de calor.	146
Figura 77 – Prancha 1 da temática de cores e ótica.	148
Figura 78 – Prancha 2 da temática de cores e ótica.	149

Figura 79 – Prancha 3 da temática de cores e ótica.	150
Figura 80 – Prancha 4 da temática de cores e ótica.	151
Figura 81 – Prancha 5 da temática de cores e ótica.	152
Figura 82 – Prancha 6 da temática de cores e ótica.	154
Figura 83 – Prancha 7 da temática de cores e ótica.	155
Figura 84 – Prancha 8 da temática de cores e ótica.	156
Figura 85 – Prancha 9 da temática de cores e ótica.	157
Figura 86 – Prancha 10 da temática de cores e ótica.	159
Figura 87 – Prancha 1 da temática de espectro eletromagnético.	161
Figura 88 – Prancha 2 da temática de espectro eletromagnético.	162
Figura 89 – Prancha 3 da temática de espectro eletromagnético.	163
Figura 90 – Prancha 4 da temática de espectro eletromagnético.	164
Figura 91 – Prancha 5 da temática de espectro eletromagnético.	165
Figura 92 – Prancha 6 da temática de espectro eletromagnético.	166
Figura 93 – Prancha 7 da temática de espectro eletromagnético.	168
Figura 94 – Prancha 8 da temática de espectro eletromagnético.	169
Figura 95 – Prancha 1 da temática de notação científica.	170
Figura 96 – Prancha 2 da temática de notação científica.	171
Figura 97 – Prancha 3 da temática de notação científica.	172
Figura 98 – Prancha 1 da temática de análise dimensional.	173
Figura 99 – Prancha 2 da temática de análise dimensional.	174
Figura 100 – Prancha 3 da temática de análise dimensional.	175

Lista de tabelas

Tabela 1 – Índice de refração de diversos materiais	27
Tabela 2 – Principais características do Sol	67

Lista de abreviaturas e siglas

SBF: Sociedade Brasileira de Física

MNPEF: Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

BNCC: Base Nacional Comum Curricular

G: Gauss

CME: Coronal Mass Ejection

EUA: Estados Unidos da América

Lista de símbolos

CO_2	Dióxido de Carbono
C_{3+}	Hidrocarbonetos com três ou mais carbonos

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivo	2
1.1.1	Objetivo Geral	2
1.1.2	Objetivos Específicos	2
1.2	Organização	3
2	PRINCÍPIOS DE FÍSICA SOLAR	5
2.1	Ondas	5
2.1.1	Discussão Analítica de uma onda	7
2.1.2	Caso particular: Funções Senoidais ou Harmônicas	9
2.1.2.1	O Movimento Ondulatório: Equação Diferencial	11
2.1.3	Ondas Eletromagnéticas	13
2.1.3.1	Equações de Maxwell	13
2.1.3.1.1	Ondas Eletromagnéticas Planas	15
2.1.4	Espectro Eletromagnético	19
2.2	Fenômenos Óticos	21
2.2.1	Cores	21
2.2.1.1	Pigmentos	25
2.2.2	Reflexão e Refração da luz	26
2.2.2.1	Refração do ponto de vista geométrico: Lei de Snell	28
2.2.3	Espalhamento e Dispersão da luz branca	30
2.3	Termodinâmica	33
2.3.1	Temperatura	35
2.3.1.1	Medindo a Temperatura	36
2.3.1.1.1	As Escalas de medida: Celsius e Kelvin	39
2.3.2	Dilatação Térmica	40
2.3.3	Calor	43
2.3.3.1	Calculando a Quantidade de Calor	44
2.3.3.2	O Calorímetro	45
2.3.4	Conduções do Calor	47
2.3.5	Radiação Térmica	49
2.3.6	Radiação do Corpo Negro	49
2.3.6.1	Teoria de Planck	52
2.3.7	Primeira Lei da Termodinâmica	55
2.3.7.1	Algumas considerações sobre a 1ª Lei da Termodinâmica	57

2.3.7.2	O Trabalho Mecânico	59
2.3.7.3	O Ciclo de Carnot	61
2.3.7.4	Entropia	64
2.4	Física Solar	66
2.5	O Sol	66
2.5.1	Estrutura do Sol	68
2.5.1.1	Interior Solar	70
2.5.1.1.1	Núcleo	70
2.5.1.1.2	Zona Radiativa	71
2.5.1.1.3	Tacoclina	72
2.5.1.1.4	Zona Convectiva	72
2.5.1.2	Atmosfera Solar	73
2.5.1.2.1	Fotosfera	73
2.5.1.2.2	Cromosfera	75
2.5.1.2.3	Coroa	76
3	REFERENCIAL TEÓRICO	81
3.1	Sequência Didática	81
3.2	Ludicidade	83
4	METODOLOGIA	85
5	RELATO DA APLICAÇÃO	88
5.1	Remoto	88
5.2	Presencial	94
5.2.1	1º Prancha	96
5.2.2	2º Prancha	97
5.2.3	3º Prancha	98
5.2.4	4º Prancha	98
6	CONCLUSÃO	100
	REFERÊNCIAS	102
	APÊNDICE A – CRITÉRIO DE SCHWARZSCHILD	106
	APÊNDICE B – COMPARANDO AS INTENSIDADES DE LUZ ESPALHADA	110
	APÊNDICE C – O ESPECTRO DE FRAUNHOFER	111
	APÊNDICE D – O PRODUTO EDUCACIONAL	113

D.1	Prancha Central: O Sol	116
D.2	Ondulatória	118
D.2.1	Prancha 1: Cometas	119
D.2.2	Prancha 2: Propriedades de um cometa	120
D.2.3	Prancha 3: Discutindo o calor	121
D.2.4	Prancha 4: Atividades Lúdicas	122
D.2.5	Prancha 5: Propriedades da onda	123
D.2.6	Prancha 6: Grandezas de uma onda	124
D.2.7	Prancha 7: Relação entre frequência e período	125
D.2.8	Prancha 8: Cálculo da velocidade de uma onda	126
D.2.9	Prancha 9: Problemas e exercícios sobre ondulatória	127
D.3	Temperatura	128
D.3.1	Prancha 1: Energia de dentro do Sol	129
D.3.2	Prancha 2: O que mede a temperatura?	131
D.3.3	Prancha 3: Unidades de Medida da Temperatura	133
D.3.4	Prancha 4: Relações entre as principais unidades de medida	134
D.3.5	Prancha 5: Problemas e exercícios sobre temperatura	135
D.4	Calor	136
D.4.1	Prancha 1: Caminho do calor do Sol até nós	137
D.4.2	Prancha 2: Classificação das ondas	138
D.4.3	Prancha 3: A unidade de medida do calor	140
D.4.4	Prancha 4: A quantidade de calor	141
D.4.5	Prancha 5: Exemplo - Cálculo de Q	143
D.4.6	Prancha 6: Condução por Radiação	144
D.4.7	Prancha 7: Condução por Condução e Convecção	145
D.4.8	Prancha 8: Problemas e exercícios sobre calor	146
D.5	Cores e Ótica	147
D.5.1	Prancha 1: A cor verde de um vegetal	148
D.5.2	Prancha 2: A luz do sol é branca?	149
D.5.3	Prancha 3: A mistura de cores	150
D.5.4	Prancha 4: Os pigmentos	151
D.5.5	Prancha 5: A dispersão da luz branca	152
D.5.6	Prancha 6: Discutindo o fenômeno ótico de dispersão	154
D.5.7	Prancha 7: A dispersão e o arco íris	155
D.5.8	Prancha 8: As cores do arco íris	156
D.5.9	Prancha 9: Espalhamento e o pôr do Sol	157
D.5.10	Prancha 10: Problemas e exercícios sobre cores e ótica	159
D.6	Espectro Eletromagnético	160
D.6.1	Prancha 1: Tipos de energia provenientes do Sol	161

D.6.2	Prancha 2: O que tem no vácuo do espaço?	162
D.6.3	Prancha 3: Breve história sobre James Clerk Maxwell	163
D.6.4	Prancha 4: Trabalhos desenvolvidos por Maxwell	164
D.6.5	Prancha 5: O Espectro Eletromagnético	165
D.6.6	Prancha 6: Ondas de alta energia e de baixa energia	166
D.6.7	Prancha 7: O intervalo de luz visível	168
D.6.8	Prancha 8: Problemas e exercícios sobre o espectro eletromagnético	169
D.7	Pranchas auxiliares	170
D.7.1	Prancha: Múltiplos e Submúltiplos de Unidades de Medida	170
D.7.2	Prancha: Análise Dimensional	173

1 Introdução

Todos os seres vivos e mecanismos relacionados a manutenção da vida na Terra dependem direta ou indiretamente da dinâmica e das reações nucleares presentes no Sol (GARCIA; SOLTAU, 2021).

As estrelas são corpos gasosos muito quentes no qual emitem radiações para todo o espaço (HARRISON, 2001). Essas radiações se originam em seu interior e se difundem lentamente por toda a estrela até uma camada limite, se propagando pelo espaço. O Sol portanto, é uma estrela cuja energia é produzida em seu interior, o núcleo, a partir de um processo de fusão nuclear. Ela se difunde ao longo das camadas do interior solar, até se desprender de seu interior e propagar em todas as direções do espaço.

Com o intuito de apresentar tais temas aos alunos do Ensino Médio e que, segundo Mota, Bonomini e Rosado (2009) são recursos muito pouco utilizados em ensino de física, elaborou-se um material didático que aborda temáticas de física solar e astronomia.

O propósito foi criar, desenvolver e utilizar um material didático flexível o bastante para ser utilizado tanto no contexto do isolamento social, provocado pela pandemia de COVID-19, que deixou aos professores e alunos apenas a alternativa do ensino remoto, quanto a sua aplicação no âmbito do ensino presencial.

Com a pandemia, o ensino remoto foi uma solução adotada por todas as escolas do país. Porém, a estrutura das escolas, o acesso precário e até mesmo o não acesso à internet e meios tecnológicos que possibilitam o ensino remoto dos estudantes, é algo bem presente e conceitual nas escolas. E com o distanciamento social, o contato do estudante com o professor foi prejudicado, de forma que tiveram de desenvolver por conta própria uma autonomia em seus processos de aprendizagens.

Assim, a necessidade de um material acessível, de linguagem clara e direta, diferente do que já há proposto, visto que são considerados para um encontro presencial e que nele esteja presente elementos lúdicos, é considerável. Assim, a criação e diagramação do material deve escapar do lugar comum dos livros e apostilas convencionais, a fim de estimular a imaginação do aluno através da surpresa e da reflexão. Por outro lado, levando em conta que a pandemia é temporária, tal material também deve atender o ensino presencial de forma que ele não tenha sua utilidade descartada quando o contexto de pandemia não existir mais.

Portanto, essa mesclagem do material foi realizada por entenderem que o esforço para se criar e desenvolver um material inovador (GARCIA; SOLTAU, 2021), que discute temáticas, que não são presente no ensino básico conforme apontam Aroca (2009) e Aroca,

Jr e Silva (2012) seja capaz de unir um conjunto de conceitos da física e que possibilite a discussão contextualizada (GARCIA; SOLTAU, 2021). Assim, reforçamos que esse material não deve ter seu uso apenas a um período de exceção, como o do ensino remoto, devido à uma pandemia e sim, que também seja aplicado e utilizado no ensino presencial como um material complementar, de apoio ou até mesmo como o material principal de aula.

O uso do material na vigência do ensino remoto tem de atribuir funções tanto ao professor quanto aos alunos. Ao professor, cabe auxiliar, sanar dúvidas e analisar os principais tópicos do material junto aos estudantes (GARCIA; SOLTAU, 2021) para em um momento posterior, discutir suas respostas das atividades e resoluções das atividades lúdicas. Já aos alunos, foco principal da proposta, cabe o papel de entende-lá e proceder ao estudo do material de forma mais autônoma e dedicada possível (GARCIA; SOLTAU, 2021).

1.1 Objetivo

1.1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de tópicos do segundo ano do ensino médio regular, segundo a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e documentos oficiais, a partir das temáticas de física solar. O produto educacional desenvolvido é um conjunto de material lúdico, denominado como pranchas, no qual há todas as temáticas a serem desenvolvidas, conforme planejamento do professor, no respectivo ano do ensino médio. Todas as pranchas e seus conjuntos, no qual representa um tópico de física em específico a ser desenvolvido, tem como relação direta as temáticas de física solar.

1.1.2 Objetivos Específicos

Considerando o desenvolvimento do trabalho e o objetivo geral apresentado, destacam-se os seguintes objetivos específicos:

- Objetivo 1: Discutir e desenvolver temas de física solar;
- Objetivo 2: Aplicar um conjunto de pranchas;
- Objetivo 3: Relacionar temáticas de astronomia com os tópicos de física do segundo ano do ensino médio, conforme BNCC e documentos oficiais.

1.2 Organização

O presente trabalho está organizado da seguinte forma:

- Seção 2: apresentamos uma breve revisão de literatura, abordando alguns conceitos físicos sobre: (2.1) Ondas, (2.2) Fenômenos Óticos e (2.3) Termodinâmica. Além disso, abordamos também um referencial teórico acerca do (2.5) Sol, discutindo suas principais características e suas (2.5.1) estruturas internas e (2.5.2) externas.
- Seção 3: apresentamos a metodologia utilizada na construção e desenvolvimento do produto educacional, as pranchas, bem como em sua aplicação levando em consideração um contexto de ensino remoto e presencial.
- Seção 4: apresentamos um relato da aplicação do produto, sendo que este ocorre na forma (4.1) remota e (4.2) presencial. Além disso, nessa seção também é discutida o *feedback* dos estudantes participantes da aplicação na forma remota, bem como de outros professores regentes.
- Seção 5: discutimos nossas considerações finais sobre a aplicação do presente e os seus resultados apresentados e a conclusão do trabalho.

No final do trabalho, temos a seção de apêndices no qual há material complementar acerca de tópicos de física. No apêndice A há a abordagem sobre o critério de Schwarzschild, no apêndice B uma discussão sobre as comparações das intensidades de luz espalhada e no apêndice C uma abordagem sobre o Espectro de Fraunhofer.

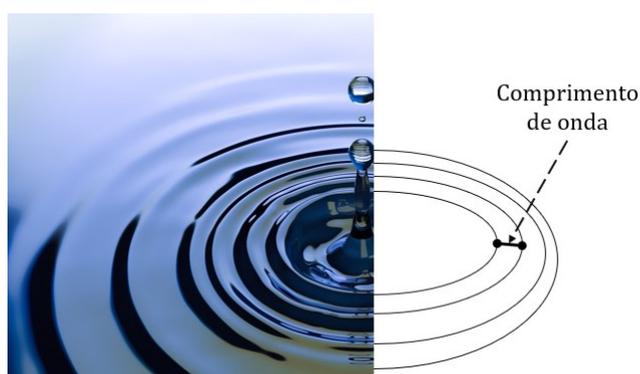
2 Princípios de Física Solar

Neste capítulo, revisamos alguns dos conceitos básicos da Termodinâmica, Ondulatória, Ótica e da Física Solar que foram usados neste trabalho ao desenvolver e aplicar os produtos didáticos resultantes do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. Existem muitos bons livros-texto sobre os assuntos abordados aqui e trataremos os pontos necessários e relevantes de cada assunto. Este Capítulo, portanto, não se destina a substituir quaisquer livros nestes importantes e vastos campos da Física, mas sim, a destacar a relevância destas noções para o entendimento do trabalho realizado durante o Mestrado e da necessidade deste conhecimento ao professor que pretenda utilizar os produtos dele resultantes.

2.1 Ondas

Segundo Nussenzveig (2018), o conceito de onda é uma informação que vai de um ponto ao outro, com uma velocidade bem definida. Ondas transportam informação, não matéria. No estudo de ondulatória, a grandeza comprimento de onda que é a distância entre o começo e o fim de uma perturbação, pode ser visto melhor na Figura 1. Do lado esquerdo temos uma representação do que se observa da perturbação. Do lado direito esquema ilustrativo indicando o comprimento de onda

Figura 1 – Representação de uma onda.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As perturbações podem ser diferentes conforme a causa da fonte. O que produz os fenômenos físicos em um ponto do espaço, no qual sua energia é propagada e captada logo depois em outro ponto, é a fonte. Outras duas grandezas presentes no estudo de ondulatória são o comprimento de onda e a frequência. Assim, toda perturbação, toda onda, há uma fonte geradora fornecendo energia, no qual há ela se propaga apenas, sem

carregar a matéria, o meio, junto consigo. Na natureza, há dois tipos de ondas classificadas conforme a direção de propagação:

- **Ondas Transversais:** perturbações em que cada ponto da onda oscila para cima e para baixo, ou seja, a perturbação é um deslocamento na direção y , perpendicular à direção de propagação da onda (NUSSENZVEIG, 2018);
- **Ondas Longitudinais:** a perturbação transmitida pela fonte tem lugar ao longo da direção de propagação x da onda (NUSSENZVEIG, 2018).

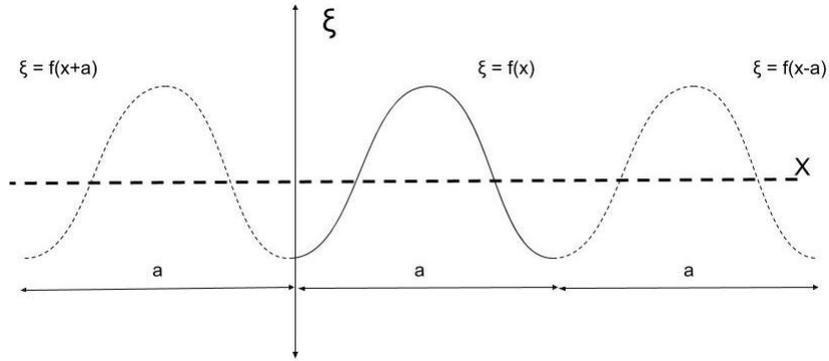
A vibração das partículas é perpendicular a direção de propagação em uma onda transversal, ou seja, a perturbação do meio faz um ângulo de 90° com a direção de propagação. Já nas ondas longitudinais, a vibração é paralela a direção de propagação.

Esses tipos de ondas só ocorrem em meio material, os quais dependem das partículas formam esse meio, para que a energia seja encaminhada. Porém há diversas perturbações na natureza que não necessitam de meio material, como o rádio, as micro-ondas, raios x, raios gama e entre outros. Isso quer dizer, que essas ondas transportam informação sem a necessidade de partículas. As que necessitam são denominadas como *ondas mecânicas* e as que não necessitam, são denominadas *ondas eletromagnéticas*.

2.1.1 Discussão Analítica de uma onda

Na Fig. 2, representa-se uma propagação de energia:

Figura 2 – Representação analítica de uma onda.



Fonte: Elaborado pelo autor

Denominamos como ξ a função $f(x)$ que representa a propagação. Seu formato, bem como seu deslocamento que permanece com representação constante, não sofrem modificações com o acréscimo ou decréscimo de uma distância qualquer, que no caso, denominamos como a . Dos conhecimentos de física básica, sabemos que distância percorrida é dado por:

$$a = v \times t \quad (2.1)$$

Assim, concluímos também que:

- $\xi = f(x - vt)$: propagação que se move para a direita;
- $\xi = f(x + vt)$: propagação que se move para a esquerda.

Portanto, a descrição de uma onda sem deformação, que se propaga ao longo do eixo positivo ou negativo dos x , é denominado como movimento ondulatório. A descrição matemática dele é:

$$\xi = f(x \pm vt) \quad (2.2)$$

A equação 2.2 pode ser a representação de um campo elétrico ou magnético, a deformação de um sólido, a pressão de um gás e entre outros (ALONSO; FINN, 2018).

Além disso, há outras duas grandezas fundamentais que caracterizam os movimentos ondulatórios que são:

- Comprimento de onda (λ): é distância entre dois pontos que se repetem ao longo de uma propagação;
- Frequência (f): é o número de oscilações que uma onda realiza em um intervalo de tempo de um segundo.

Essa última possui uma outra definição, que é o inverso do período (T):

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

O período (T) é o tempo de uma oscilação completa, ou seja, o tempo gasto para se completar um comprimento de onda, e é dado em segundos (s). Além destas, temos também a velocidade de uma onda (v), que pode ser calculada de maneira análoga aos problemas de mecânica:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow v = \frac{\lambda}{T} \quad (2.4)$$

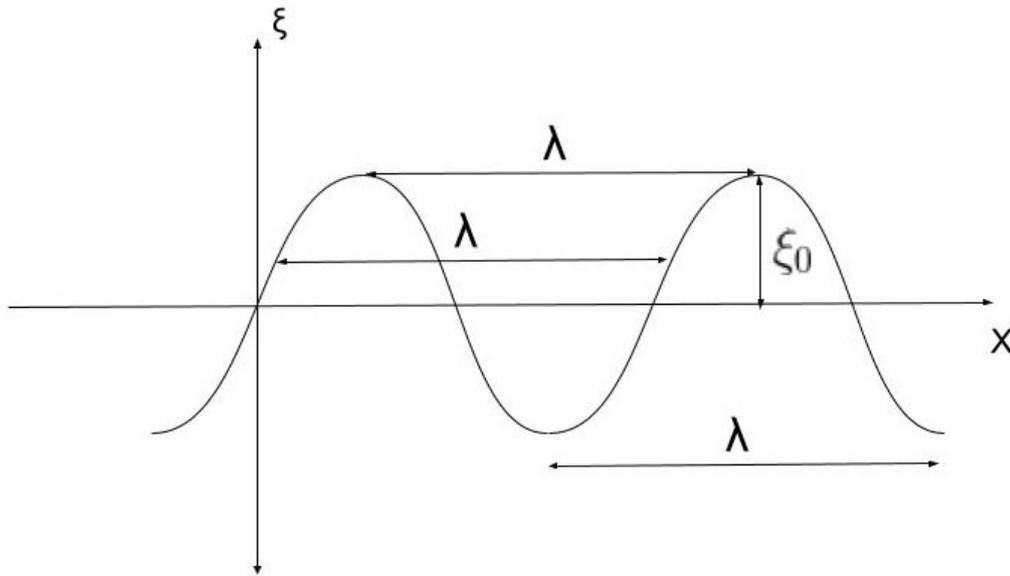
A equação 2.4 pode ser escrita em função da frequência, realocando a equação 2.3:

$$v = \lambda f \quad (2.5)$$

2.1.2 Caso particular: Funções Senoidais ou Harmônicas

Uma representação bastante comum de movimentos ondulatórios são as chamadas ondas senoidais, conforme imagem abaixo:

Figura 3 – Representação de uma onda senoidal, bem como o comprimento de onda e amplitude.



Fonte: Elaborado pelo autor

E são representadas pela função (ALONSO; FINN, 2018):

$$\xi(x, t) = \xi_0 \sin k(x' - vt) \quad (2.6)$$

Sendo k , a representação do número de comprimento de onda em uma distância de 2π e denominado como número de onda e:

$$x' = x + \frac{2\pi}{k} \quad (2.7)$$

Substituindo 2.7 em 2.6, temos:

$$\xi\left(x + \frac{2\pi}{k}, t\right) = \xi_0 \sin\left(x + \frac{2\pi}{k} - vt\right) = \xi_0 \sin[k(x - vt) + 2\pi] \quad (2.8)$$

Portanto:

$$\xi(x - vt) = \xi_0 \sin[k(x - vt) + 2\pi] \quad (2.9)$$

Sabendo que o comprimento de onda para uma oscilação senoidal é dado por:

$$\lambda = \frac{2\pi}{k} \quad (2.10)$$

Logo,

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2.11)$$

Assim, substituindo 2.11 em 2.6, temos a representação de uma onda senoidal com comprimento de onda λ , com velocidade v propagando para a direita ao longo do eixo X :

$$\xi(x, t) = \xi_0 \sin k(x' - vt) = \xi_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda}(x - vt) \quad (2.12)$$

Sendo

$$\omega = kv = \frac{2\pi v}{\lambda} \quad (2.13)$$

a frequência angular de uma onda, então 2.12 ficará:

$$\xi(x, t) = \xi_0 \sin kx - \omega t \quad (2.14)$$

2.1.2.1 O Movimento Ondulatório: Equação Diferencial

Um movimento oscilatório é regido por uma equação diferencial do tipo:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \quad (2.15)$$

Todo tipo de propagação de energia, que é dependente do tempo e que oscila sem distorção, pode ser expressa na forma da equação 2.15. A solução geral dela, é a superposição de dois movimentos ondulatórios, que se propagam em sentidos opostos e é expresso por:

$$\xi(x, t) = f_1(x - vt) + f_2(x + vt) \quad (2.16)$$

As duas funções são expressões representativas de duas oscilações em sentidos opostos: uma no sentido $+X$ e outra no sentido $-X$. Se houver apenas um movimento ondulatório, não é utilizado as duas funções.

Para demonstrar que de fato a equação 2.16 seja uma solução de equação de onda, basta aplicar as derivadas parciais e verificar se sua forma é análoga à 2.15. Reescrevendo 2.16:

$$\xi(x, t) = f(x \pm vt) \quad (2.17)$$

Usando a regra da cadeia:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{dy}{du} \frac{du}{dx} \quad (2.18)$$

pois se temos uma função $y = f(u)$, no qual u é uma função de x , $u(x)$, então temos que $u = x \pm vt$, sendo $\xi = f(u)$. Portanto, calculando separadamente temos:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 1 \quad (2.19a)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \pm v \quad (2.19b)$$

Assim,

$$\frac{\partial \xi}{\partial x} = \frac{d\xi}{du} \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{d\xi}{du} \quad (2.20a)$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial t} = \frac{d\xi}{du} \frac{\partial u}{\partial t} = \pm v \frac{d\xi}{du} \quad (2.20b)$$

Desenvolvendo a segunda derivação e usando os resultados encontrados, temos:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{d}{du} \left(\frac{\partial \xi}{\partial x} \right) \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{d^2 \xi}{du^2} \quad (2.21a)$$

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \frac{d}{du} \left(\frac{\partial \xi}{\partial t} \right) \frac{\partial u}{\partial t} = \pm v \frac{d^2 \xi}{du^2} = v^2 \frac{d^2 \xi}{du^2} \quad (2.21b)$$

Substituindo os resultados encontrados, temos:

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \quad (2.22)$$

Obtendo assim, a equação diferencial do movimento ondulatório dado em 2.15. Por fim, sabemos que a superposição de ondas dada por 2.17 é uma solução de equação de onda, sem distorção. Podemos analisar o mesmo para a onda senoidal, $\xi(x, t) = \epsilon_0 \sin k(x' - vt)$, considerando novamente as derivadas parciais:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \xi}{\partial x} &= k \xi_0 \cos k(x - vt) \\ \frac{\partial \xi}{\partial t} &= -kv \xi_0 \cos k(x - vt) \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} &= -k^2 \xi_0 \sin k(x - vt) \\ \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} &= -k^2 v^2 \xi_0 \sin k(x - vt) \end{aligned} \quad (2.24)$$

Logo,

$$\frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = v^2 \frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} \quad (2.25)$$

resultado esse que corrobora que a equação representa um movimento ondulatório.

2.1.3 Ondas Eletromagnéticas

Próximo ao fim do século XIX, Heinrich Hertz (1857 – 1894) conseguiu dados que demonstrava que o campo eletromagnético se propaga no vácuo com velocidade igual a velocidade da luz, denominada como c . Naquele período, tais estudos possibilitaram o desenvolvimento das telecomunicações. Anos antes, Maxwell previu a existência das ondas eletromagnéticas, através de uma análise cuidadosa das equações do campo eletromagnético (ALONSO; FINN, 2018). Como forma de interpretar a propagação desse campo sob a forma de ondas, faremos uma análise dessas equações. Primeiramente, haverá uma breve discussão acerca das equações de Maxwell no qual nos dará informações acerca da propagação dos campos sob a forma de ondas. Além disso, os campos elétrico e magnético devem satisfazer a equação 2.22. Será feito uma discussão inicial sobre Ondas Eletromagnéticas Planas. Porém, antes disso discutiremos de maneira breve as equações que Maxwell desenvolveu.

2.1.3.1 Equações de Maxwell

A interação entre as partículas fundamentais da matéria está associada à carga elétrica, e isso é denominado como Interação Magnética. Para descrevê-la, introduzimos a preconcepção do que seja um campo eletromagnético, no qual é caracterizado pelos vetores campo elétrico e magnético, denominados por \vec{E} e \vec{B} , respectivamente e a força elétrica sobre uma carga elétrica, dado por:

$$\vec{F} = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.26)$$

Sendo que \vec{E} e \vec{B} são determinadas pelas posições das cargas e por seus movimentos. Além disso, ressaltamos que ao separar um campo eletromagnético em suas componentes elétricas e magnéticas, isso é dependente do movimento relativo do observador e das cargas que produzem o campo (ALONSO; FINN, 2018). Outro detalhe é que \vec{E} e \vec{B} estão relacionadas pelas leis de Ámpere – Maxwell e de Faraday – Henry. Assim, todas essas relações descritas são caracterizadas por quatro leis, que descreve a teoria do Campo Eletromagnético. Maxwell desenvolveu apenas a quarta lei, porém reconheceu que as demais constituem a estrutura básica das interações eletromagnéticas.

A carga elétrica q e a corrente elétrica, I , são as fontes do campo eletromagnético. É a partir de ambas que conseguimos caracterizar os campos elétrico e magnético, pelas equações de Maxwell. A seguir, as equações de Maxwell para o campo eletromagnético em suas formas integral e diferencial:

1. Lei de Gauss para o Campo Elétrico

- Forma Integral:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \oint_S \vec{B} \cdot \vec{\mu}_N dS$$

- Forma Diferencial:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

2. Lei de Gauss para o Campo Magnético

- Forma Integral:

$$\oint \vec{B} \cdot \vec{\mu}_N dS = 0$$

- Forma Diferencial:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0$$

3. Lei de Faraday – Henry

- Forma Integral:

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \oint_S \vec{B} \cdot \vec{\mu}_N dS$$

- Forma Diferencial:

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

4. Lei de Ampere – Maxwell

- Forma Integral:

$$\oint_L \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I + \epsilon_0 \mu_0 \frac{d}{dt} \int \vec{E} \cdot \vec{\mu}_N dS$$

- Forma Diferencial:

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \hat{j} + \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

Sendo $\vec{\mu}_N$ o vetor unitário normal à superfície gaussiana, $d\vec{l}$ o elemento unitário linear do percurso, μ_0 a permeabilidade magnética no vácuo e ϵ_0 a permissividade magnética do vácuo. O índice \hat{j} representa a direção do eixo y .

As leis de Gauss para \vec{E} e \vec{B} , foram desenvolvidas para campos estáticos. Porém, Maxwell as incorporaram em uma teoria que envolve campos dependentes dos tempos. Em consequência, permanecem inalteradas, no qual concordam com as experiências e os resultados estão de acordo com os dados experimentais (ALONSO; FINN, 2018).

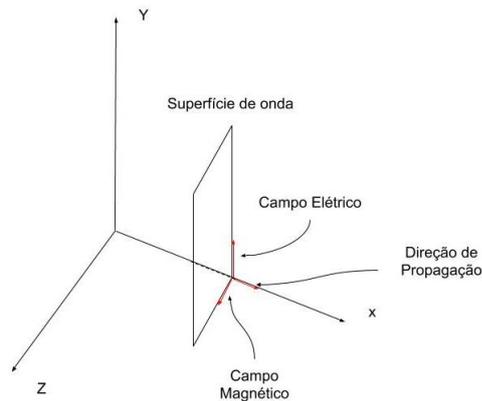
Todas as equações descritas são compatíveis com o princípio da relatividade, pois não se alteram quando as coordenadas x , y , z e t são aplicadas conforme transformações de Lorentz.

A maioria dos processos naturais e artificiais, criados pelo homem, possuem algum aspecto de interação eletromagnética. Portanto, o desenvolvimento das equações anteriores é considerado uma das maiores realizações em física. São compreendidas e expressas numa forma matemática compreendida e consistente (ALONSO; FINN, 2018). Mas apesar disso, as interações eletromagnéticas entre partículas fundamentais são diferentes, sendo necessário a utilização dos recursos da mecânica quântica, sendo denominada como: eletrodinâmica quântica. Discutiremos como se comporta um campo elétrico e magnético, perpendiculares entre si, a partir de uma onda eletromagnética plana.

2.1.3.1.1 Ondas Eletromagnéticas Planas

Uma solução particular para as equações de Maxwell acima, é um campo eletromagnético composto por um campo elétrico \vec{E} e magnético \vec{B} , perpendiculares entre si. Conforme figura 4:

Figura 4 – Representação da frente de onda de uma onda plana.



Fonte: Elaborado pelo autor

Temos:

$$\vec{E}_x = 0, \vec{E}_y = \vec{E}, \vec{E}_z = 0$$

$$\vec{B}_x = 0, \vec{B}_y = 0, \vec{B}_z = \vec{B}$$

Além disso, supondo que esse campo esteja se propagando no vácuo, temos que não há correntes elétricas nem cargas elétricas livres:

$$\rho = 0$$

$$\hat{j} = 0$$

Aplicando essas informações nas equações de Maxwell, descritas anteriormente:

1. Lei de Gauss para o Campo Elétrico

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \rightarrow \vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 &\rightarrow \left(\frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{k} \right) \cdot (E_x \hat{i} + E_y \hat{j} + E_z \hat{k}) \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{\partial E}{\partial y} = 0\end{aligned}\quad (2.27)$$

2. Lei de Gauss para o Campo Magnético

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 &\rightarrow \left(\frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{k} \right) \cdot (B_x \hat{i} + B_y \hat{j} + B_z \hat{k}) = 0 \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{\partial B}{\partial z} = 0\end{aligned}\quad (2.28)$$

3. Lei de Faraday - Henry

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} &\rightarrow \left(\frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{k} \right) \times (E_x \hat{i} + E_y \hat{j} + E_z \hat{k}) = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{\partial E}{\partial x} \hat{k} - \frac{\partial E}{\partial z} \hat{i} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \rightarrow \frac{\partial E}{\partial x} \hat{k} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}\end{aligned}\quad (2.29)$$

4. Lei de Ampere – Maxwell

$$\begin{aligned}\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \hat{j} + \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} &\rightarrow \left(\frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{k} \right) \times (B_x \hat{i} + B_y \hat{j} + B_z \hat{k}) = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{\partial B}{\partial y} \hat{i} - \frac{\partial B}{\partial x} \hat{j} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \rightarrow -\frac{\partial B}{\partial x} \hat{j} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\end{aligned}\quad (2.30)$$

Com os resultados encontrados, temos que o campo elétrico e o campo magnético dependem de x e t . Com as equações encontradas, é possível verificar se respeitam a equação diferencial de propagação [2.22](#):

$$\begin{aligned}\frac{\partial E}{\partial x} \hat{k} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ -\frac{\partial B}{\partial x} \hat{j} &= \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\end{aligned}\quad (2.31a)$$

Derivando a primeira relação em relação a x :

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2} = -\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial x \partial t} \quad (2.32)$$

Derivando a segunda equação em relação ao tempo t :

$$-\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial x \partial t} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (2.33)$$

Combinando os resultados encontrado, teremos:

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2} = \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \rightarrow \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x^2} \quad (2.34)$$

Assim, o resultado encontrado em 2.34 é semelhante à equação diferencial de uma propagação, dada por 2.22. Temos então, que o campo elétrico se propaga ao longo do eixo X com a velocidade:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \quad (2.35)$$

Portanto, o campo elétrico \vec{E} pode ser representado pela seguinte função:

$$\vec{E} = \vec{E}(x - ct) \quad (2.36)$$

Para o campo magnético, com o procedimento similar realizado, derivando a primeira em 2.31 em relação ao tempo t e a segunda em relação a x , respectivamente:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x \partial t} &= -\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \\ -\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial x^2} &= \varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial x \partial t} \end{aligned} \quad (2.37a)$$

Combinando os resultados:

$$-\frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial x^2} = -\varepsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \rightarrow \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} = \frac{1}{\varepsilon_0 \mu_0} \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial x^2} \quad (2.38)$$

Novamente, temos que o campo magnético se propaga ao longo do eixo X com a mesma velocidade encontrada:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} \quad (2.39)$$

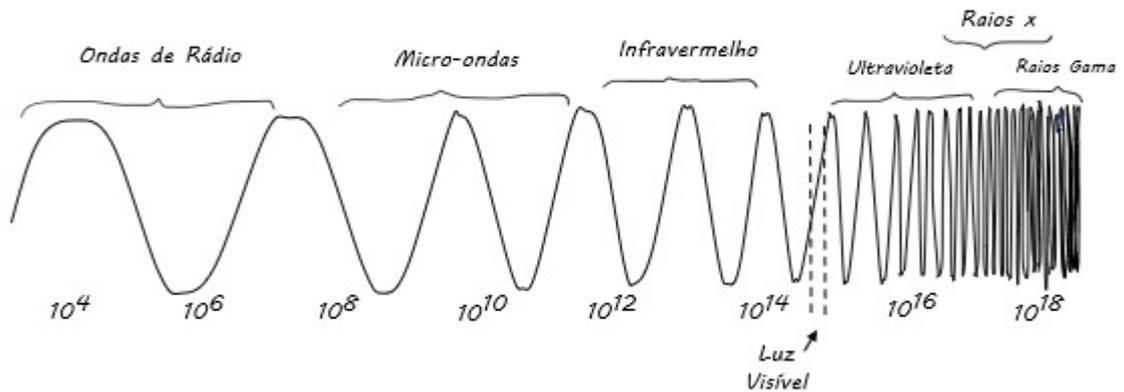
Além disso, finalmente, o campo magnético pode representado pela função:

$$\vec{B} = \vec{B}(x - ct) \tag{2.40}$$

2.1.4 Espectro Eletromagnético

Todas as ondas eletromagnéticas podem ser dispostas ou classificadas, baseada em sua frequência ou comprimento de onda, em um *espectro eletromagnético* (Figura 5. O Sol é uma estrela que, em sua emissão de energia, é possível detectar todas essas radiações, sendo inclusive responsável por oferecer a luz visível ao nosso planeta. Como já discutido, a frequência da luz que chega até nós e das demais, é idêntica à frequência da carga elétrica oscilante que a gerou (HEWITT, 2000).

Figura 5 – O espectro eletromagnético baseado nos valores de frequência



Fonte: Elaborado pelo autor

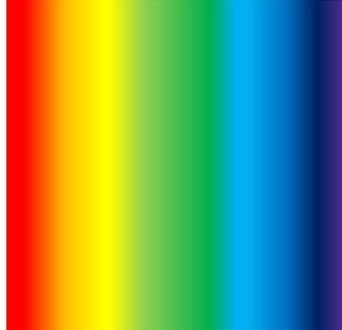
Dentro das ondas de rádio, há radiações com frequência abaixo dos 0,01 hertz, algumas com milhares de hertz e outras de alta frequência, com milhões de hertz, que estão em um intervalo de 88 a 108 MHz. Estas últimas são denominadas como *Very High Frequencies* (HEWITT, 2000).

Após as ondas de rádio, temos as micro-ondas e as ondas infravermelhas, radiações denominadas como *Ultra high Frequencies* (HEWITT, 2000). No cotidiano, as micro-ondas são encontradas principalmente em sinas de *wifi* e de telefonia celular, além claro, do aparelho doméstico, forno de micro-ondas. Na faixa do infravermelho, as ondas são as radiações mais energéticas e, portanto são associadas em geral ao calor. Entretanto, a rigor, todas as radiações em todas as faixas emitem calor em maior ou menor grau. Portanto, quando há a presença de calor com grande intensidade, temos a leitura de frequências que estão no intervalo das ondas infravermelho.

Na sequência, há a luz visível que representa menos do que 1 milionésimo de 1% do espectro eletromagnético (HEWITT, 2000). Todo o espaço e universo ao nosso redor, até na atmosfera terrestre, é um denso conglomerado de radiações que não podemos visualizar, com exceção desse pequeno intervalo. Dentro dele, temos que as frequências mais baixas, nos parecem como luz vermelha e as mais altas, luz violeta. Os prefixos *infra* e *ultra*, em infravermelho e ultravioleta, indicam de maneira prática essa divisão, sendo aquele

inferior ao vermelho (antes) e este superior (depois) do violeta. Portanto, tudo que vemos e enxergamos está dentro desse intervalo, conforme Figura 6.

Figura 6 – O espectro da luz visível



Fonte: Elaborado pelo autor

Das equações 2.4 e 2.5, podemos dizer que:

$$c = f\lambda \quad (2.41)$$

Considerando o vácuo do espaço, onde a velocidade da luz c é constante, equação 2.41, temos que a frequência e o comprimento de onda são inversamente proporcionais:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.42)$$

sendo portanto, ondas de alta frequência possuem pequenos comprimentos de onda e ondas de baixa frequência, longos comprimentos de onda.

As radiações ultravioleta, conhecidas por causar queimaduras à pele, já fazem parte das ondas com frequências bem altas, sendo em sequência as ondas de raios X e dos raios gama. As regiões dessas não são bem definidas e elas se superpõem (HEWITT, 2000).

Todas as radiações discutidas até então, possuem um grande intervalo entre seus limites e dentro deles, há diversas classificações como por exemplificado, as ondas de rádio.

2.2 Fenômenos Óticos

Para se compreender melhor as características e propriedades da luz visível, são necessárias as discussões acerca da trajetória e meio de propagação da luz, da fonte para o objeto e, na sequência, para nosso olho. Além disso, há também a consideração acerca dos aspectos físicos de sua visualização, sem considerar a fisiologia do olho humano.

Um outro fator é a compreensão dos aspectos físicos através de uma geometria e lógica matemática, no qual é possível a organização em um modelo topológico identificando a infinidade de radiações dentro do intervalo de frequências/comprimento de onda de radiação visível no espectro eletromagnético.

2.2.1 Cores

A cor de um objeto não está relacionado com as suas substâncias constituintes. Uma bola vermelha, por exemplo, nos parece com essa cor devido à fisiologia de nosso olho, devido à uma sensação produzida por determinadas terminações nervosas sob a ação da luz (GOETHE, 2018).

As ondas eletromagnéticas dentro do intervalo do visível do espectro eletromagnético, são denominadas como *ondas luminosas*. Uma outra definição dada são os raios de luz, no qual representa a direção de propagação da energia de uma onda de luz (MALACARA, 2015). Assim, elas alcançam nossos olhos através de uma transmissão, no qual parte de uma fonte de luz que incide no objeto, e deste para o observador (GOETHE, 2018). Há os casos também em que o próprio objeto é a fonte de luz.

Portanto, as cores dos objetos e de tudo que vemos ao nosso redor, é um fenômeno de interação entre a luz e os objetos no qual é percebida em nossos olhos. Essa luz incide sobre o corpo, os átomos constituintes de um corpo, no qual interage e gera a coloração dos objetos (GOETHE, 2018). Dizemos que um corpo nos parece com uma determinada cor, sendo que para outros, pode parecer com outra cor, tal como o *Daltonismo*, no qual é um distúrbio que se caracteriza pela dificuldade de diferenciação de tons de cores (CUNHA; CRUZ, 2016).

Dentre as inúmeras fontes de luz, tais como as luzes artificiais de aparelhos eletrônicos, de lâmpadas sódio ou as luzes incandescentes, a luz do Sol é a ideal para se estudar as cores, devido possuir todo o intervalo de frequências do espectro visível (GOETHE, 2018). A radiação solar que possui frequência dentro do intervalo do espectro visível, é denominada *luz branca*, pois ela representa a soma de todas as cores. Porém, isso só é verdade no vácuo, sendo que quando ela penetra na atmosfera terrestre, as partículas presentes no ar interferem, no qual visualizamos os fenômenos óticos, que serão discutidos adiante.

Issac Newton, conhecido pelos seus estudos na Mecânica e na Gravitação, teve seu papel de destaque também no estudo das radiações, em inclusive a radiação solar. Newton dividiu a luz em componentes (GOETHE, 2018), a partir de suas propriedades físicas e nas distinções realizadas pela nossa própria visão. Tais componentes diz respeito ao comprimento de onda e ficou denominados como *radiações monocromáticas*. Portanto, uma luz que nos parece azul, é uma radiação monocromática com um valor de frequência e comprimento de onda fixo e absoluto. Da Figura 5, podemos dizer que as cores estão dispostas e separadas conforme intervalo de valores da Figura 7.

Figura 7 – As radiações monocromáticas e seus respectivos intervalos

f (Hz)	Cor
$0,789 \times 10^{15}$	Violeta
$0,688 \times 10^{15}$	Azul
$0,606 \times 10^{15}$	Verde
$0,530 \times 10^{15}$	Amarelo
$0,509 \times 10^{15}$	Laranja
$0,478 \times 10^{15}$	Vermelho
$0,384 \times 10^{15}$	

Fonte: Elaborado pelo autor

Isso também vale para as infinitas variações existentes dentro do intervalo do espectro visível¹, como uma luz que nos parece azul - claro ou verde escuro, que são radiações monocromáticas com um valor de frequência ou comprimento de onda fixo e absoluto.

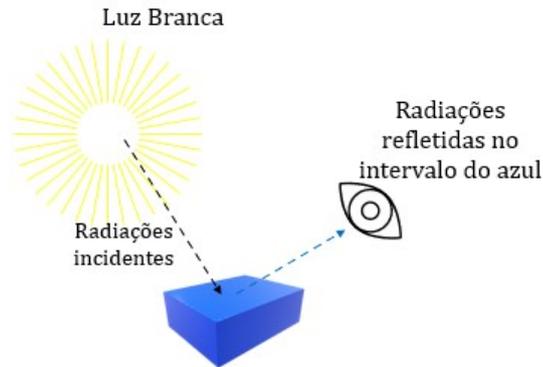
No dia a dia, a radiação solar, composta por inúmeras radiações monocromáticas, são distinguidas por fenômenos óticos. Radiações que possuem uma frequência menor que $0,384 \times 10^{15}$ Hz são praticamente invisíveis para nossos olhos, as radiações infravermelho. As com frequência superior a $0,789 \times 10^{15}$ Hz, também são invisíveis a nós, as radiações ultravioletas.

Assim sendo, uma radiação monocromática incidindo sobre um corpo, parte é refletida, o que nós visualizamos, parte é absorvida. A parcela de luz que é refletida, tem seu valor de frequência e cor inalterados, visto que a frequência é dependente apenas da fonte. Quando iluminamos diferentes corpos com a mesma luz, a luz solar por exemplo, as cores que eles no parecem nos diz que os objetos possuem diferentes distribuições de energia espectral da fonte de luz (GOETHE, 2018). Na Figura 8 abaixo, vemos que o objeto nos parece azul pois reflete apenas os raios de luz com frequência no intervalo próximo ao azul (7), e as demais cores ou são todas absorvidas ou fracamente refletidas.

Um outro exemplo abaixo, porém diferente é um objeto com a cor laranja. De

¹ A Figura 6 nos dá uma visualização melhor sobre essa infinidade de variações das cores existentes, entre as radiações monocromáticas.

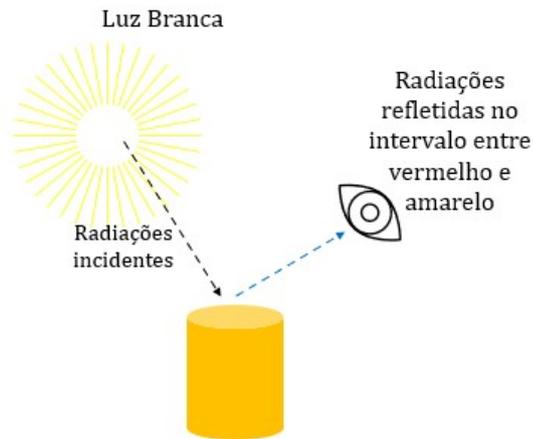
Figura 8 – Um corpo nos parece azul devido a refletir as radiações dentro do intervalo azul da luz visível.



Fonte: Elaborado pelo autor

maneira análoga, a luz solar incide sobre o objeto e a cor alaranjada nos remete que, a radiação refletida possui frequências no intervalo entre amarelo, laranja e vermelho.

Figura 9 – Um corpo nos parece com uma cor alaranjada devido a refletir as radiações entre os intervalos amarelo, laranja e vermelho.



Fonte: Elaborado pelo autor

E podemos dizer o mesmo para um objeto que nos parece com uma cor de verde-escuro ou verde-lodo, que nos diz que a luz refletida que incide em nossos olhos possui um valor de frequência entre azul e verde. O girassol da Figura 10, por exemplo, é iluminado pela luz solar e reflete radiações distintas: temos o caule no qual reflete uma radiação no intervalo de frequência da cor verde enquanto que as pétalas refletem uma radiação mais próxima ao intervalo do amarelo.

Mas temos casos também de luzes monocromáticas de outras cores incidindo em corpos, como o da Figura 11. Nela temos a representação de um corpo da cor vermelha que está disposto em cima de uma mesa branca e é iluminado com uma luz vermelha.

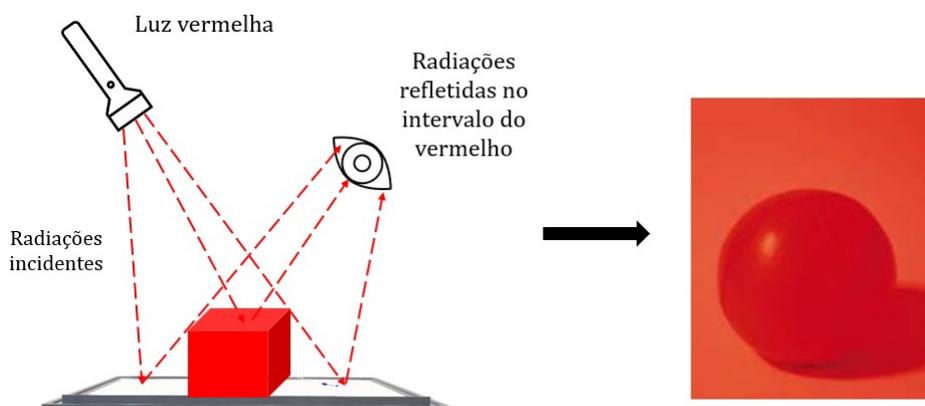
Tanto a mesa como o corpo, nos parece vermelho, o que nos diz que ambos refletem

Figura 10 – O girassol se destaca pela coloração amarela de suas pétalas.



Fonte: Hospedagem de imagens gratuitas. Disponível em: <<https://pixabay.com/pt/>>. Acesso em 28 de set. de 2021.

Figura 11 – Um corpo vermelho sobre uma mesa branca sendo iluminado por uma luz vermelha.



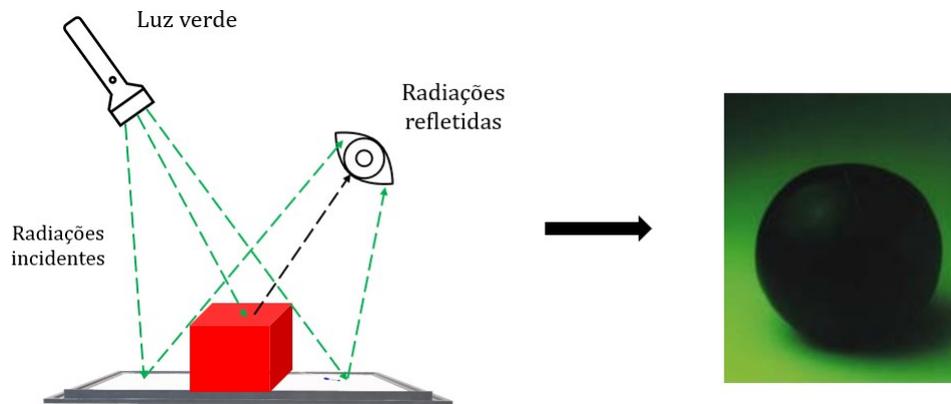
Fonte: Elaborado pelo autor e (HEWITT, 2000)

a radiação de cor vermelha incidente. Se sobre esse mesmo corpo, incidirmos uma luz da cor verde visualizaremos outras cores e uma imagem distante da Figura 11:

O corpo que nos parece vermelho, não é visto como vermelho ao ser iluminado por uma radiação luminosa de cor verde e sim, da cor preta. Portanto, esse corpo só reflete radiações no intervalo do vermelho. E a mesa branca reflete a própria cor da radiação, visto que o branco reflete a luz de todas as frequências dentro do visível. O preto é a ausência da reflexão de qualquer radiação, sendo que um material que absorve toda a luz incidente, no qual nada é refletido, ele aparece em preto (HEWITT, 2000).

Assim, um objeto só pode refletir radiações com frequências que estão presentes na luz que o ilumina. E a reflexão nos materiais se dá pelos limites de valores da frequência de ressonância entre as oscilações dos elétrons mais externos do material e da radiação incidente. Os elétrons mais externos, assim como os mais interiores, estão em altas velocidades ao redor de um núcleo atômico no qual podem oscilar em um campo elétrico de

Figura 12 – Um corpo vermelho sobre uma mesa branca sendo iluminado por uma luz verde.



Fonte: Elaborado pelo autor e (HEWITT, 2000)

uma onda eletromagnética. Com isso, tais elétrons podem emitir suas próprias radiações. Assim, pelas frequências naturais dos materiais, há a absorção ou emissão de radiação:

- Frequências de ressonâncias: luz absorvida;
- Frequências abaixo ou acima das frequências de ressonância: luz refletida ou reemitida.

Na Figura 8, os átomos constituinte do material absorvem toda a radiação do espectro visível, com exceção do azul, no qual é refletido. O amarelo das pétalas do girassol, de maneira análoga, os átomos constituintes dela absorvem toda a luz visível e reflete a radiação no intervalo do amarelo.

Por fim, a cor que nos parece de um determinado objeto varia conforme: a disposição e estrutura química dos átomos na molécula, a natureza de sua composição e da substância utilizada sobre o objeto, que leva o nome de cores-pigmento.

2.2.1.1 Pigmentos

Os pigmentos são substâncias constituintes de um objeto que é denominada conforme sua composição química, no qual pode absorver, refratar ou refletir determinados raios luminosos de uma radiação incidente. Portanto, as cores dos objetos variam conforme substâncias de seus pigmentos, sendo, por exemplo, um corpo que nos parece azul, absorve quase todas as radiações da luz branca incidente e reflete apenas a luz no intervalo do azul.

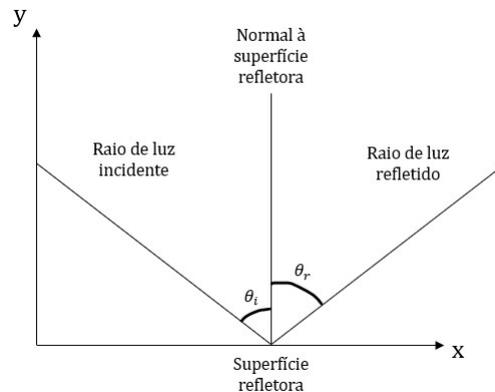
Assim, as cores possuem uma classificação de acordo com a sensação e percepção cromática, ou seja, nossa visão.

2.2.2 Reflexão e Refração da luz

Quando uma radiação luminosa, vindo de uma fonte primária (tal como o Sol), incide sobre um objeto, uma parte é refletida no qual incide sobre nossos olhos e outra é absorvida pelo corpo. Quando toda a luz ou parte dela, retorna ao ambiente de onde veio, tal processo é denominado *reflexão*.

Em uma análise geométrica de um processo de reflexão, nós temos o raio incidente, o raio refletido e a normal à superfície refletora (MALACARA, 2015), no qual estão em um plano comum $x \times y$ como a Figura 13.

Figura 13 – Representação do processo de reflexão de um raio de luz incidente em uma superfície refletora



Fonte: Elaborado pelo autor

Temos também a formação de dois ângulos com a normal: o ângulo de incidência θ_i e o ângulo de reflexão θ_r .

Em um processo de reflexão, eles são idênticos:

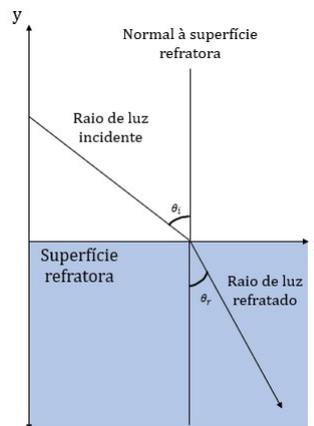
$$\theta_i = \theta_r \quad (2.43)$$

sendo que, se forem diferentes em um fenômeno óptico, não há o fenômeno de reflexão.

No processo de refração da luz, há semelhanças com a reflexão. Porém, temos que o raio incidente, ora passa de um meio para o outro, ora o ângulo de incidência é diferente do outro ângulo formado. Além disso, não temos uma superfície refletora e sim, uma superfície refratora. Nesse fenômeno, temos que o raio de luz incidente ao passar pela normal à superfície refratora, muda de meio material, como a Figura 14.

Um outro detalhe que surge no processo de refração é que a velocidade da luz, em qualquer outro meio na superfície terrestre, sendo transparente ou não, tem uma velocidade v diferente de c , que é dependente do meio em que está. Essa característica é denominada como *índice de refração* n de um meio material e é definida pela relação:

Figura 14 – Representação do processo de refração de um raio de luz incidente em uma superfície refratora



Fonte: Elaborado pelo autor

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.44)$$

Como já mencionado anteriormente, no vácuo o raio de luz possui uma velocidade de 300.000 km/s e ao entrar na atmosfera terrestre, que é o ar, já não é mais a mesma velocidade, sofrendo uma refração e possuindo um valor de velocidade de propagação diferente, conforme a relação 2.44.

A tabela seguinte 1, nos mostra os valores de diferentes meios.

Tabela 1 – Índice de refração de diversos materiais

Materiais	Índice de Refração
Vácuo	1.0000
Ar	1.0003
Água	1.33
Quartzo derretido	1.46
Acrílico	1.49
Vidro crown	1.51
Vidro comum	1.52
Diamante	2.42

Fonte: (MALACARA, 2015)

2.2.2.1 Refração do ponto de vista geométrico: Lei de Snell

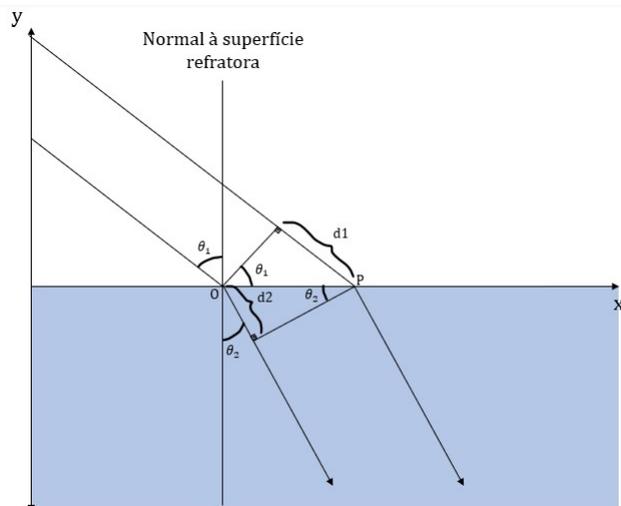
A lei de Snell é uma relação que diz respeito a propagação de um raio de luz monocromático, no qual atravessa uma superfície de separação de dois meios transparentes, sendo ambos com índices de refração n_1 e n_2 , e tendo ângulo do raio incidente θ_1 e ângulo do raio refratado θ_2 , como ilustrado na Figura 14. Tal relação é:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.45)$$

De maneira experimental, o índice de refração depende da substância que compõem o meio de propagação do raio luminoso (FASSARELLA, 2007), quanto da frequência da luz. Essas duas variáveis já é o suficiente para caracterizar a interação do raio luminoso com o meio, sendo independente a descrição das trajetórias dos raios de luz.

Assim, a relação 2.45 pode ser encontrada a partir da uma análise geométrica do fenômeno de refração, tal como Figura 14, no qual de maneira imaginária extendemos um raio paralelo ao raio incidente e ao raio refratado:

Figura 15 – Visão geométrica da lei de Snell



Fonte: Elaborado pelo autor

Com isso, traçamos uma reta partindo da origem O até o raio paralelo ao raio incidente, de maneira perpendicular. E façamos o mesmo do ponto P , indo até o raio refratado de maneira perpendicular. Temos agora, duas semi retas, denominadas como d_1 e d_2 e também, por semelhança de triângulos, dois ângulos idênticos aos já conhecidos ângulos do raio incidente e raio refratado. Portanto, basta encontrarmos as relações da função trigonométrica:

$$\sin \theta_1 = \frac{d_1}{OP} \quad (2.46)$$

e

$$\sin \theta_2 = \frac{d_2}{OP} \quad (2.47)$$

Logo, da igualdade da semireta \overline{OP} , podemos isolar em ambas equações acima e igualá-las, de forma que:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{d_1}{d_2} \quad (2.48)$$

Reescrevendo d_1 e d_2 , em funções de suas velocidades, sendo que o tempo para ambas é igual, então:

$$v_1 = \frac{d_1}{t} \rightarrow d_1 = v_1 \cdot t \quad (2.49)$$

e

$$v_2 = \frac{d_2}{t} \rightarrow d_2 = v_2 \cdot t \quad (2.50)$$

Assim, substituindo as relações 2.49 e 2.50 em 2.48 temos:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1 \cdot t}{v_2 \cdot t} \rightarrow \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (2.51)$$

Da relação de índice de refração, dada pela equação 2.44, a velocidade de um raio luminoso por ser dada por:

$$v_i = \frac{c}{n_i} \quad (2.52)$$

Fazendo isso para v_1 e v_2 e substituindo em 2.51, temos:

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{c/n_1}{c/n_2} \rightarrow \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2.53)$$

E, sendo assim, realocando essa equação, temos finalmente a relação de Snell:

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.54)$$

2.2.3 Espalhamento e Dispersão da luz branca

Todo corpo ou objeto que é iluminado por uma fonte luminosa, tem que os raios de luz incidentes interagem com as partículas e moléculas deste corpo. Uma parcela dela é refletida, outra retransmitida, denominada como espalhamento, e outra absorvida pelas partículas constituintes do corpo.

Os primeiros estudos acerca do espalhamento da luz data de 1871, no qual Rayleigh tenta caracterizar o espalhamento da luz por pequenas partículas (TEIXEIRA; SANTOS, 2002). Em seus trabalhos, desenvolve uma relação para a intensidade da luz espalhada no qual é indiretamente proporcional ao comprimento de onda:

$$I = k \frac{1}{\lambda^4} \quad (2.55)$$

sendo k uma constante de proporcionalidade. No desenvolvimento dessa relação é considerado que as dimensões lineares das partículas são menores que o comprimento de onda luz espalhada (TEIXEIRA; SANTOS, 2002) e que a equação 2.55 somente pode ser utilizada em casos em que há troca de meio material, sendo o índice de refração n do meio em que a luz foi espalhada, diferente do qual imergiu.

Dois fenômenos físicos do dia a dia que nos demonstram o espalhamento da luz por partículas é o céu azul e o pôr do sol, sendo que ambas respeitam a relação de Rayleigh. O céu azul é devido a grande porcentagem de gás oxigênio (O_2) e gás nitrogênio (N_2) na atmosfera terrestre e conforme a relação 2.55, temos que luz azul espalha com mais intensidade do que a luz vermelha. Por isso o céu nos parece azul (cf. Apêndice B). Se não fosse a atmosfera terrestre e suas inúmeras partículas, o céu nos pareceria negro e continuaríamos vendo o Sol.

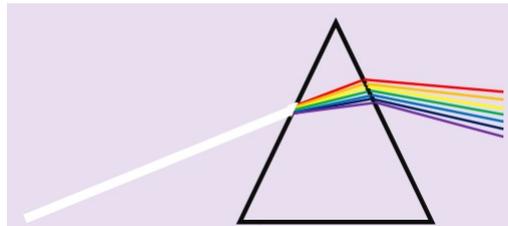
Para partículas que estão na atmosfera, que excedem o comprimento de onda do intervalo visível, o espalhamento é o mesmo para todas as cores e isso explica, em grande parte, a cor branca das nuvens, já que são constituídas de partículas maiores que o oxigênio e nitrogênio da atmosfera.

Porém, isto pode ser notado quando a observação é feita a partir de diferentes ângulos com respeito à direção de incidência da luz do sol. Assim, à medida que a Terra gira ao redor de seu eixo, varia a distância percorrida pela luz na atmosfera, o número de partículas espalhadoras e, conseqüentemente, a quantidade de luz espalhada. No por do Sol, por exemplo, a luz solar percorre um caminho maior na atmosfera do que quando ele está a pino, por volta das 12 horas. E a conseqüência disso é que mais luz é espalhada, sendo as radiações nas frequências mais próximas à da cor azul (SILVEIRA; SARAIVA, 2008) e as demais transmitidas, que não foram espalhadas, apresentam-se nas radiações com intervalos do amarelo, atingindo uma tonalidade de laranja e vermelho (SILVEIRA; SARAIVA, 2008). Outro fator importante, são as partículas de poeiras presentes na

atmosfera que contribuem para essa coloração avermelhada, pois espalham mais a luz azul do que a vermelha (SILVEIRA; SARAIVA, 2008).

O fenômeno de dispersão da luz ocorre quando a luz branca é refratada duas vezes e essa separação é notada pela formação de um pequeno arco íris ou pela separação das diversas cores luz, e isso é denominado como *dispersão*. A figura 16 abaixo representa um fenômeno de dispersão:

Figura 16 – Ilustração da dispersão da luz branca



Fonte: Elaborado pelo autor

No caso de um prisma de vidro, temos um meio transparente e a velocidade da luz nesse meio é dependente do índice de refração e da sua frequência. Se a frequência da luz é idêntica à frequência natural do meio, ou seja as frequências de oscilações dos elétrons nos átomos e moléculas do meio transparente (HEWITT, 2000), ela é absorvida. O que não ocorre para as radiações que possuem valores de frequências próximas à elas, sendo que se interagem com a matéria ocorrendo uma sequência de absorções e reemissões, propagando-se mais lentamente no meio (HEWITT, 2000). A explicação, para o fato dessa representação, se dá pelo fato de que a frequência natural da maior parte dos materiais transparentes, é próxima do valor da frequência da região do ultravioleta da luz branca (HEWITT, 2000). Portanto, a luz com valores no intervalo de maior frequência se propaga mais lentamente do que a luz com valores no intervalo de menor frequência. Assim, as radiações dentro do intervalo do visível, do vermelho ao violeta, se propagam com seus próprios valores de velocidades (HEWITT, 2000).

Um exemplo comum da dispersão é o arco íris:

A luz branca proveniente do Sol, se dispersa nas milhares de gotas de água, que possuem uma geometria esférica e se comportam como o prisma da figura 16. A composição da dispersão de cada raio de luz nas diversas gotículas de água, formam um arco, com as cores do espectro. Na figura 18 abaixo, vemos como esse fenômeno ocorre em uma única gota:

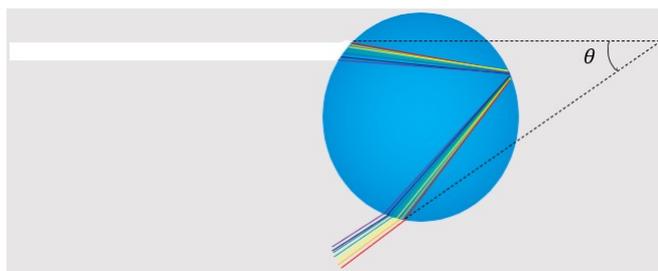
Considerando um raio de luz solar e uma gota, temos que a luz ao incidir na parte superior dela, uma parte é refletida, que não é ilustrada, e a outra é refratada, como na figura. Veja que a luz é dispersa nas cores que está dentro do intervalo visível, sendo a radiação de cor violeta com menor ângulo de refração e o vermelho com maior ângulo.

Figura 17 – É comum vermos arco íris no final de uma chuva ou durante um chuveiro.



Fonte: Hospedagem de imagens gratuitas. Disponível em: <<https://pixabay.com/pt/>>. Acesso em 10 de out. de 2021.

Figura 18 – A dispersão da luz branca, proveniente do Sol, em uma única gota de água de uma nuvem.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dentro da gota, ao alcançar a outra extremidade, novamente uma parte é refletida, que está ilustrada na figura 18, e a outra refratada, que não é mostrada. Na parte mais inferior da gota, o processo se repete.

Ambas as cores representam o extremo do espectro visível e também o extremo de refração da luz branca dentro da gota, sendo o ângulo θ a representação entre o raio incidente e os raios que saem da gota pela parte inferior. Para o violeta, o ângulo θ entre o raio incidente e os raios refratados é próximo dos 40° e para o vermelho, próximo dos 42° .

2.3 Termodinâmica

A Termodinâmica é área que descreve fenômenos físicos em que há uma grande presença de partículas. Por ser tratar de descrições dos movimentos delas, ao longo dos séculos, a área foi sofrendo modificações até o que temos hoje, que é denominado como Termodinâmica Estatística ou Mecânica Estatística. Portanto, ela surge de um conjunto de regras básicas e formulações empíricas mas que levam a resultados importantes.

Antes de iniciarmos as discussões, é importante termos a definição e clareza de duas entidades: *fluido* e *sistema*. Diferentemente de um sólido, em que sua forma e volume estão bem definidos e só se altera conforme uma força externa², os líquidos e gases podem sofrer alterações e escoar ou fluir facilmente, de onde vem o nome *fluido* (NUSSENZVEIG, 2018). Quando se fala em *sistema* no estudo de qualquer tópico de física, este se refere a um universo particular no qual apenas as partes consideradas nos interessa. Um exemplo é quando estudamos as interações de dois corpos com temperaturas diferentes dentro de um recipiente, no qual consideramos e avaliamos apenas os fenômenos entre eles, não levando em conta as interações externas, o que é denominado como *sistema termodinâmico*. Nesse caso, consideramos os limites do sistema, geralmente denominado como paredes, como um limite ideal do isolamento térmico perfeito, definido como “estado do sistema contido no recipiente não é afetado pelo ambiente externo em que é colocado” (NUSSENZVEIG, 2018).

Outra nomeação que aparece constantemente é o *sistema isolado*, definido como um sistema inserido em um recipiente em que suas paredes possui um isolamento perfeito, no qual não troca energia com o meio externo. Deste fato, temos uma outra entidade importante dentro dessa temática que é o *equilíbrio térmico*. Assim, em um sistema isolado, seu estado tende a um momento em que nenhuma de suas grandezas físicas varia e isso denominamos como o equilíbrio térmico.

Uma outra terminologia utilizada, para a mesma definição, é o *sistema adiabático*. O termo adiabático, quando acompanhado de qualquer outra palavra, tem como significado físico, o não compartilhamento de calor. Ou seja, não ganha e nem perde calor. É bem comum na literatura nos depararmos também com paredes adiabáticas, que significa paredes no qual não troca calor com o ambiente externo e interno.

Dentro de um sistema, há as grandezas físicas presentes, que são denominadas *Variáveis de Estado*. Segundo COSTA (1971),

O estado de um sistema, do ponto de vista termodinâmico, fica de uma maneira geral caracterizado pelas chamadas variáveis (arbitrárias ou funções) de estado. Estas variáveis, que por si só determinam os equilíbrios aludidos acima, são propriedades inerentes ao próprio sistema e tomam o nome de propriedades ou coordenadas termodinâmicas.

² Para cada tipo de material há uma força necessária para que isso ocorra.

Essas variáveis de estado são a pressão (P), volume (V) e temperatura (T). Iremos nos atentar apenas as discussões acerca da grandeza temperatura e suas relações com o calor.

Na presente sessão é feito a discussão teórica sobre os tópicos de Temperatura e Calor, bem como a definição dos conceitos físicos relevantes para o desenvolvimento do trabalho de ambas as áreas.

2.3.1 Temperatura

Um conceito muito comum em nosso dia a dia, a temperatura é uma das grandezas fundamentais da física e é medida em *Kelvin* (K), conforme Sistema Internacional de Unidades (S.I.). Diferentemente da unidade Celsius, no qual há o símbolo de grau, na escala kelvin não se faz uso dele. A temperatura ambiente, que aparece constantemente em discussões em sala de aula e em exercícios de livros didáticos, está próximo aos 290 kelvins (290 K) e não 290 graus kelvin (290° K).

A grandeza temperatura, possui diversas definições na literatura. Segundo Correia (2017), os autores que definem com mais clareza e exatidão a grandeza temperatura são COSTA (1971):

Temperatura, de acordo com considerações puramente termodinâmicas, é, como qualquer outra característica de Estado, determinada por meio de observações experimentais dos corpos como todo, enquanto que, de acordo com a Teoria Cinética, pode a mesma ser avaliada a partir da energia cinética média das moléculas. (COSTA, 1971, pg-16)

e Hewitt (2000):

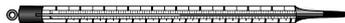
Toda matéria – sólida, líquida ou gasosa – é composta por átomos ou moléculas em constante agitação. Em virtude desse movimento aleatório, os átomos ou moléculas da matéria possuem energia cinética. A energia cinética média dessas partículas individuais produz um efeito que podemos sentir – a sensação quente. A quantidade que informa quão quente ou frio é um objeto em relação a algum padrão é chamada de temperatura. (HEWITT, 2000, pg-271)

Portanto, a definição de temperatura está relacionada com a medida ou o grau da energia cinética das partículas constituintes de determinado corpo.

2.3.1.1 Medindo a Temperatura

O aparato mais comum que utilizamos para realizar a medição de temperatura, é o termômetro de mercúrio, como o da Figura 19 abaixo.

Figura 19 – Termômetro de mercúrio



Fonte: Hospedagem de imagens gratuitas. Disponível em: <<https://pixabay.com/pt/>>. Acesso em 17 de set. de 2021.

É um pequeno tubo de vidro, evacuado, que possui uma pequena quantidade de mercúrio. Porém, sua medição não é estritamente o grau de energia cinética das partículas, e sim, um equilíbrio térmico com o ambiente que está. Então, o líquido contido dentro dele se dilata ou contraí conforme o calor que troca com o ambiente, e essas pequenas variações nos dão a leitura de temperatura do ambiente.

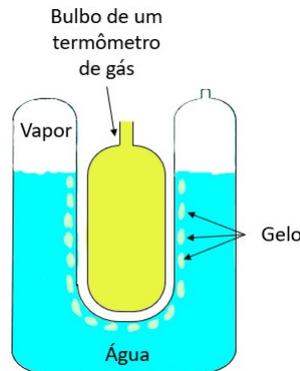
Além disso, é um aparato que requer calibração e há maneiras de se fazer isso, utilizando-se dos pontos de ebulição e fusão da água ou a partir de um termômetro-padrão, baseado na pressão de um gás em um volume fixo, conforme Figura 21.

É importante saber também, que na criação de escala de temperatura deve-se escolher um fenômeno térmico reprodutível e definir uma temperatura qualquer à ele (WALKER; HALLIDAY; RESNICK, 2009). Um bastante utilizado é o ponto triplo da água, no qual os três estados físicos da água (gelo, água e vapor) coexistem em equilíbrio térmico, em um determinado intervalo de valores de pressão e temperatura, que, por convenção internacional, ficou atribuída o valor de 273,16 K. Na figura 20 abaixo, temos uma representação desse aparato. Esse valor é a temperatura padrão no qual é utilizada para a calibração dos termômetros no geral.

A escala Celsius, mais conhecida e utilizada no dia a dia, é definida a partir dos pontos de fusão e ebulição da água. Portanto, a temperatura no qual a água está no estado sólido (gelo) é o equilíbrio térmico entre o gelo e a água, à pressão de 1 atmosfera (1 atm). O mesmo para quando ela está no estado gasoso (vapor), no qual é o equilíbrio térmico entre o vapor e a água em 1 atm. Calibrando um termômetro de mercúrio de comprimento l , como o da figura 19, denominamos as temperaturas:

- Ponto de vapor: $\theta = 100^\circ \text{C}$;
- Ponto de gelo: $\theta = 0^\circ \text{C}$.

Figura 20 – Aparato no qual os três estados físicos da água, gelo, água e vapor, estão em equilíbrio térmico. A temperatura (T) de equilíbrio é de 273,16K



Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando que o comprimento l do termômetro possui uma relação linear com a temperatura θ obtida, podemos denominar também as leituras de comprimentos medidos do ponto de gelo e vapor da água como l_{gelo} e l_{vapor} , respectivamente. Portanto, o termômetro de mercúrio quando entra em equilíbrio térmico com um sistema isolado³ registrará uma variação no comprimento do mercúrio, denominada l que é possível visualizar nas escalas do próprio termômetro. Assim, o valor da temperatura (θ) é:

$$\theta = \frac{l - l_{gelo}}{l_{vapor} - l_{gelo}} (^{\circ}C) \quad (2.56)$$

Portanto, da equação 2.56 vemos que dividimos a escala do termômetro em 100 partes iguais, no qual cada subdivisão corresponde a $1^{\circ}C$ (NUSSENZVEIG, 2018). Isso nada mais é do que determinar a dilatação do termômetro de mercúrio como linear com θ .

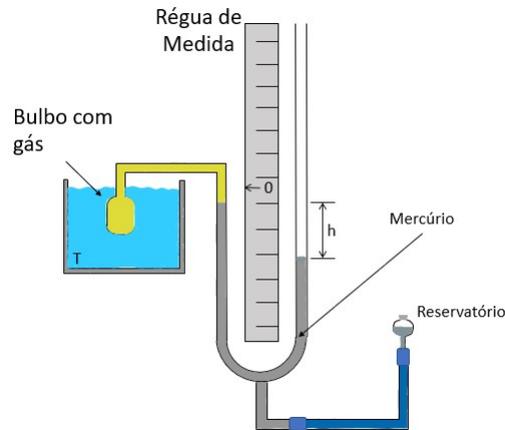
Já utilizando o termômetro de gás, utilizado para a calibração dos demais termômetros que se baseia na pressão de uma gás, este como a substância termométrica, que está com um volume fixo é representado na Figura 21.

Há um recipiente com água no qual está inserido um bulbo com gás. Este gás está ligado por um tubo a um manômetro de mercúrio. O reservatório é maleável e pode ser manipulado, levantando ou o abaixando e, feito isso, o nível do mercúrio no lado esquerdo do tubo se modifica. Para a calibração correta e manter o volume constante do gás no bulbo, o reservatório é manipulado de maneira que o nível do mercúrio do lado esquerdo fique no 0 da escala.

Vamos denominar a temperatura da água que está em contato com o bulbo como

³ Lembrando que esse sistema isolado, pode ser o equilíbrio térmico entre dois corpos ou dois materiais diferentes ou iguais.

Figura 21 – Termômetro de gás com volume constante. O bulbo com o gás está dentro de um recipiente com água, no qual pretende-se medir sua temperatura



Fonte: Elaborado pelo autor

$$T = CP \quad (2.57)$$

onde P é a pressão e C uma constante. Como se trata de um meio aquoso, no qual há um fluido, essa pressão é dada por:

$$P = P_0 - \rho gh \quad (2.58)$$

sendo P_0 a pressão atmosférica, ρ a densidade do mercúrio e h a diferença de níveis do mercúrios dos dois lados do tubo. Além disso, o sinal negativo em 2.58 indica que P está acima do nível da pressão atmosférica. Considere que esse bulbo com gás seja introduzido em um sistema no qual haja o ponto triplo da água, igual a figura 20. A temperatura medida nesse caso é semelhante à 2.57:

$$T_x = CP_x \quad (2.59)$$

sendo P_x a pressão desse gás e C a constante. Lembrando que conforme discussão acerca do aparato que representa o ponto triplo da água, a temperatura de equilíbrio térmico é 273,16 K. Portanto, $T_x = 273,16K$. Isolando C em 2.57 e substituindo em 2.59 temos:

$$T_x = \frac{T}{P} P_x \rightarrow T = T_x \frac{P}{P_x} \rightarrow T = 273,16 \frac{P}{P_x} \quad (2.60)$$

Porém, ao fazer as medidas de algum fenômeno térmico, gases distintos apresentam resultados também diferentes, o que vai contra a ideia de ter um termômetro para calibrar os demais. Mas ao se usar quantidades cada vez menores de gás no bulbo, a leitura de temperatura converge para um valor apenas, independente do gás utilizado.

Então, utilizando um termômetro de gás para medir a temperatura, deve-se fazer:

$$T = (273,16) \cdot \left(\lim_{gás \rightarrow 0} \frac{P}{P_x} \right) \quad (2.61)$$

Com isso, concluímos que para medir a temperatura (T) deve-se encher o bulbo do termômetro de gás com uma quantidade qualquer de gás e medir a pressão P_x , no aparato de ponto triplo da água e a pressão do gás (P) na temperatura que está sendo medida. A partir disso, encontrar a relação de $\frac{P}{P_x}$ e posteriormente repetir as medidas com uma quantidade menor de gás do bulbo e encontrar a nova relação. Deve-se fazer isso usando quantidades cada vez menores de gás, até chegar um ponto em que a relação atinja valores muito grande, e, chegando a este ponto, calcular a temperatura T .

2.3.1.1.1 As Escalas de medida: Celsius e Kelvin

A relação entre Celsius e Kelvin é dado por:

$$T_C = T - 273,15^\circ \quad (2.62)$$

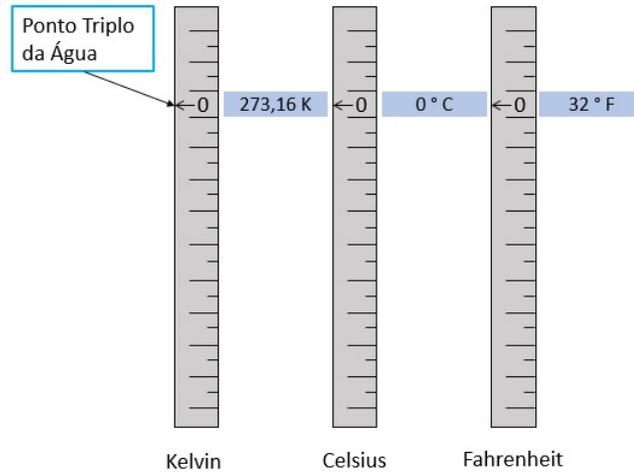
onde T_C é a temperatura na escala Celsius e T na escala Kelvin e repare que elas possui uma relação linear. Uma outra escala utilizada, principalemten nos EUA, é o Fahrenheit, que não possui uma relação linear com as demais. Entre a escala Celsius e Fahrenheit, elas se relacionam a partir de

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32^\circ \quad (2.63)$$

sendo T_F a temperatura em graus Fahrenheit.

Essas escalas se convertem e relacionam a partir das temperaturas de congelamento e ebulição da água (como já discutido na seção anterior). Comparando-as, temos a seguinte representação:

Figura 22 – Relação entre as escalas de temperatura, baseada no ponto triplo da água



Fonte: Elaborado pelo autor

2.3.2 Dilatação Térmica

As discussões das sessões anteriores, sobre as medidas de temperatura nos termômetros de mercúrio, é devido à sua dilatação por conta do aumento de temperatura. Todo corpo quando submetido à uma variação de temperatura positiva, tem a alteração de seu tamanho original, ocorrendo o aumento do espaçamento interatômico médio (NUSSENZVEIG, 2018).

Para um corpo que se encontra no estado sólido e considerando a distância entre dois pontos quaisquer, ao longo de seu comprimento como L_0 , temos que a variação ΔL da distância entre os dois pontos é calculada por:

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \quad (2.64)$$

onde ΔT é a variação de temperatura e α a constante de proporcionalidade, denominada como coeficiente de dilatação linear. Se isolarmos α em 2.64:

$$\alpha = \left(\frac{\Delta L}{L_0 \Delta T} \right) = \left(\frac{\Delta L}{L_0} \right) \left(\frac{1}{\Delta T} \right) \quad (2.65)$$

e analisarmos o que ela representa temos que ela representa a variação percentual de comprimento por variação de temperatura (NUSSENZVEIG, 2018).

A equação 2.64 pode ser escrita de outra maneira, sabendo que

$$\Delta L = L_f - L_0$$

e

$$\Delta T = T_f - T_0$$

Assim, 2.64 fica

$$L_f - L_0 = \alpha L_0(T_f - T_0) \rightarrow L_f = L_0[1 + \alpha(T_f - T_0)] \quad (2.66)$$

Analisando agora a variação percentual da área de um sólido de lados X_1 e X_2 , e sabendo que a variação percentual de sua área A^4 , por variação de temperatura é:

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta(X_1 X_2)}{X_1 X_2} = \frac{\Delta X_1 \cdot X_2 + X_1 \cdot \Delta X_2}{X_1 X_2} = \frac{\Delta X_1 \cdot X_2}{X_1 X_2} + \frac{X_1 \cdot \Delta X_2}{X_1 X_2} \quad (2.67)$$

Resolvendo 2.67 e sabendo que, a partir da equação 2.64:

$$\begin{aligned} \Delta X_1 &= X_1 \alpha \Delta T \rightarrow \frac{\Delta X_1}{X_1} = \alpha \Delta T \\ \Delta X_2 &= X_2 \alpha \Delta T \rightarrow \frac{\Delta X_2}{X_2} = \alpha \Delta T \end{aligned} \quad (2.68)$$

Então, a equação 2.67 é:

$$\frac{\Delta A}{A} = \alpha \Delta T + \alpha \Delta T = 2\alpha \Delta T \quad (2.69)$$

Sendo assim, o coeficiente relacionado à dilatação da área de um corpo ou sólido é o dobro do coeficiente de dilatação linear. Realocando a equação 2.69, sendo que A é a área inicial, podemos determinar que a dilatação superficial de um corpo ou sólido é:

$$\Delta A = 2\alpha A \Delta T \quad (2.70)$$

E isso vale também para a dilatação do volume de um sólido, com lados X_1 , X_2 e X_3 . De maneira análoga, temos:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta V}{V} &= \frac{\Delta(X_1 X_2 X_3)}{X_1 X_2 X_3} = \frac{\Delta X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 + X_1 \cdot \Delta X_2 \cdot X_3 + X_1 \cdot X_2 \cdot \Delta X_3}{X_1 X_2 X_3} \rightarrow \\ &\rightarrow \frac{\Delta X_1 \cdot X_2 \cdot X_3}{X_1 X_2 X_3} + \frac{X_1 \cdot \Delta X_2 \cdot X_3}{X_1 X_2 X_3} + \frac{X_1 \cdot X_2 \cdot \Delta X_3}{X_1 X_2 X_3} \rightarrow \end{aligned}$$

⁴ Sendo a área calculada pela multiplicação dos lados de um sólido, temos: $A = X_1 \cdot X_2$

$$\rightarrow \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta X_1}{X_1} + \frac{\Delta X_2}{X_2} + \frac{\Delta X_3}{X_3} \quad (2.71)$$

De maneira análoga às equações 2.68:

$$\frac{\Delta V}{V} = \alpha\Delta T + \alpha\Delta T + \alpha\Delta T \rightarrow \frac{\Delta V}{V} = 3\alpha\Delta T \quad (2.72)$$

Assim, sendo V o volume inicial, temos que a equação para determinar a dilatação volumétrica de um corpo ou sólido é:

$$\Delta V = 3\alpha V\Delta T \quad (2.73)$$

2.3.3 Calor

No dia a dia presenciamos diversos fenômenos em que há a presença de calor, grandeza essa que é uma forma de energia na física. Além das alterações de temperatura, percebemos também as mudanças no clima, causadas pelas variações de pressão e temperatura atmosféricas (OLIVEIRA, 2005). Todas as experiências do cotidiano no qual há a presença dessas sensações, é definido como Fenômenos Térmicos. Um exemplo bem prático é desde a preparação do café até o seu consumo do café, onde temos a utilização do fogo para esquentar a água e a utilização da garrafa térmica para evitar que o café esfrie. Em ambos os processos, de esquentar a água e o esfriamento do café, há constantes alterações de temperatura e trocas de calor. Nesse exemplo, é possível constatar que um corpo não se esquentou ou se esfria espontaneamente, sem a intervenção de determinados aparatos. O ato de esquentar, principalmente, mostra o quão favorável ele é a geração de movimento, que por consequência, nos dá trabalho⁵, que pode ser transferido com o ambiente ou com um corpo próximo. Portanto, a entidade física *calor* só está presente em fenômenos físicos em que há diferentes temperaturas.

A utilização de equipamentos para elevar ou diminuir a temperatura de determinados materiais, bem como a utilização de aparatos para transformar o calor em trabalho, estão diretamente relacionados com as leis fundamentais da termodinâmica (OLIVEIRA, 2005).

Portanto, o calor só existe caso haja corpos ou sistemas com diferentes temperaturas. Além disso é uma grandeza que quando existe, está em trânsito, transferindo de um para outro, o que nos dá a definição de calor: *energia transferida de um sistema para o ambiente ou vice-versa devido a uma diferença de temperatura* (WALKER; HALLIDAY; RESNICK, 2009). Como é uma grandeza que representa energia em trânsito, sua unidade no S.I. é dado em Joule (J).

O calor, antes de ser definido como energia em trânsito, era medido relacionando a capacidade de aumentar a temperatura da água, utilizando a *caloria*⁶. Sua definição, é que para se elevar a temperatura de 1g de água de 14,5° C para 15,5°C, é necessário 1 cal (NUSSENZVEIG, 2018). E a relação entre caloria e Joule é:

$$1cal = 4,1868J \quad (2.74)$$

A quantidade de calor para elevar de 1° C a temperatura de 1 g de um material

⁵ O trabalho é definido como o produto da força aplicada à um corpo pela distância percorrida ($\tau = F \times d$). Apesar da discussão ser realizada no 1° ano do Ensino Médio no estudo de Mecânica, essa definição não muda no estudo dos tópicos de Termodinâmica.

⁶ Nas tabelas nutricionais dos alimentos é possível ver que valor energético é dado em kcal (quilocaloria). Há nutricionistas que utilizam *Caloria* com o c maiúsculo (Cal) e este, apesar de diferente, equivale a 1 kcal (cal). Essas duas grandezas representam a energia que seu corpo adquire ao ingerir determinado alimento.

qualquer é definido como *calor específico* denominado como c , sendo sua unidade

$$[c] = \left[\frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \right] \quad (2.75)$$

Com a definição de caloria acima, o calor específico da água em um intervalo entre $14,5^\circ\text{C}$ e $15,5^\circ\text{C}$ é

$$c_{\text{agua}} = \frac{1\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \quad (2.76)$$

Apesar da definição considerar um intervalo específico e que em intervalos distintos o calor específico da água difere por milésimos de 2.76, podemos desprezá-lo e usar esse valor de calor específico para qualquer intervalo de temperatura (NUSSENZVEIG, 2018). Além disso, para se ter uma compreensão melhor do calor específico, é necessário que seja identificado em quais condições a variação de temperatura está ocorrendo:

- Pressão constante;
- Volume constante.

Denominado como c_p o calor específico a pressão constante e como c_v , o calor específico a volume constante, ambos são chamados de “calores específicos principais” (NUSSENZVEIG, 2018). O grande problema é para substâncias gasosas, nos quais c_p e c_v são bem diferentes, o que não é o mesmo para líquidos e sólidos, nos quais são medidos à pressão atmosférica⁷.

2.3.3.1 Calculando a Quantidade de Calor

Para calcular e encontrar o valor da quantidade de calor, necessária para elevar a temperatura de uma certa quantidade de massa, usamos a seguinte relação:

$$Q = mc\Delta T \quad (2.77)$$

onde Q é a quantidade de calor e m a massa do corpo, no qual tem sua temperatura modificada, sendo esta o ΔT .

De 2.77, temos que

$$mc = C \quad (2.78)$$

que é denominada como capacidade térmica do corpo, que é medida em:

⁷ Para mais detalhes sobre essa discussão consulte (NUSSENZVEIG, 2018)

$$[C] = \left[\frac{\text{cal}}{^\circ\text{C}} \right] \quad (2.79)$$

Há casos em que o intervalo elevado de temperatura inicial e final, faz com que o calor específico varie com a temperatura. Quando isso ocorre, a equação 2.77 é reescrita de maneira:

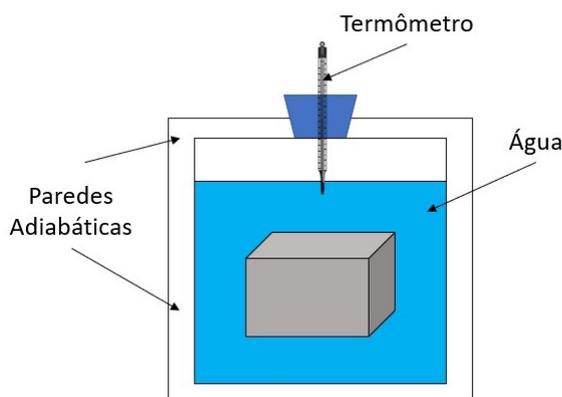
$$dQ = mc(T)dT \rightarrow Q = m \int_{T_i}^{T_f} c(T)dT \rightarrow Q = m\bar{c}(T_f - T_i) \quad (2.80)$$

sendo \bar{c} a média do calor específico no intervalo de temperatura.

2.3.3.2 O Calorímetro

Uma maneira bem prática e simples de determinar o calor específico de determinada substância ou corpo é utilizar um calorímetro, como o da Figura 23

Figura 23 – O Calorímetro



Fonte: Elaborado pelo autor

O corpo de massa m que está aquecido com uma temperatura T é inserido dentro de um recipiente de paredes adiabáticas, de capacidade térmica C , com certa quantidade de água m_a . A água e o recipiente estão em equilíbrio térmico, com temperatura inicial T_0 . Portanto, a tendência do sistema montado na Figura 23 é entrar em equilíbrio térmico, atingindo uma temperatura final T_f que será dada pelo termômetro. Sendo assim, temos um sistema isolado, no qual a quantidade de calor perdida pelo corpo Q é cedida à água Q_A e ao recipiente Q_0 .

Portanto, determinado a quantidade de calor para cada situação, temos:

- Quantidade de calor perdida do corpo:

$$Q = mc_c\Delta = mc_c(T - T_f)^8 \quad (2.81)$$

⁸ Como a quantidade de calor do corpo é perdida, então ela se torna negativa, devido a temperatura

- Quantidade de calor cedida à água:

$$Q_a = m_a c \Delta T \rightarrow Q_a = m_a c (T_f - T_0) \quad (2.82)$$

- Quantidade de calor cedida ao recipiente:

$$Q_r = C \Delta T \rightarrow Q_r = C (T_f - T_0) \quad (2.83)$$

Assim, 2.81 é igual a soma de 2.82 e 2.83:

$$\begin{aligned} Q = Q_a + Q_r &\rightarrow m c_c (T - T_f) = m_a c (T_f - T_0) + C (T_f - T_0) \rightarrow \\ &\rightarrow m c_c (T - T_f) = (m_a c + C) (T_f - T_0) \end{aligned} \quad (2.84)$$

Como conhecemos todos os termos dessa relação, a temperatura do equilíbrio térmico será dada pelo termômetro e, visto que ao construir um calorímetro sabemos o material de que é feito, basta realocar a equação 2.84 e isolar o calor específico do corpo c_c :

$$c_c = \frac{(m_a c + C) (T_f - T_0)}{m (T - T_f)} \quad (2.85)$$

final ser menor que a inicial. Fazendo um ajuste algébrico, retira-se o sinal negativo da expressão e somente as temperaturas são realocadas.

2.3.4 Conduções do Calor

Na discussão da sessão anterior, sobre a definição de calor, foi dito que o mesmo só existe caso haja diferença de temperatura e que é uma energia em trânsito. Essa transferência de um corpo para o outro, ou de um sistema para outro, ocorre a partir de três fenômenos:

- Condução;
- Convecção;
- Radiação.

Uma das maneiras de diferenciar esses processos físicos é a partir do meio material, no qual eles ocorrem. A condução de calor só ocorre caso haja um meio material (NUSSENZVEIG, 2018), sendo ele sólido, líquido ou gasoso. Quando esquentamos uma certa quantidade de água em uma panela sobre um fogão, o calor da chama do bocal é transmitido à água através do material metálico da panela, pelo processo de condução. Portanto, uma discussão com maiores detalhes sobre a condução do calor:

- O calor é transmitido de um ponto com maior temperatura para outro com menor temperatura;
- Esse processo ocorre durante um intervalo de tempo Δt , sendo proporcional à diferença de temperatura (NUSSENZVEIG, 2018):

$$\Delta T = T_f - T_0 \quad (2.86)$$

- O tempo para esquentar o corpo é menor, caso receba uma grande quantidade de calor;
- A quantidade de calor para esquentar o corpo é inversamente proporcional às dimensões dele. Uma panela mais espessa, leva mais tempo para cozinhar o alimento dentro dela.

Com estas considerações, podemos considerar a quantidade de calor, em um processo de condução térmica, proporcional a área A , por onde ela flui, à diferença de temperatura e ao intervalo de tempo. Além disso, é inversamente proporcional à dimensão do corpo, no qual é posto em uma relação:

$$\Delta Q = A\Delta t \left(\frac{\Delta T}{X} \right) \quad (2.87)$$

Especificando a equação 2.87, em termos de uma espessura infinitesimal dx de um meio durante um tempo dt (NUSSENZVEIG, 2018):

$$dQ = A dt \left(\frac{dT}{dX} \right) \quad (2.88)$$

Inserindo uma constante de proporcionalidade k , que é própria do meio condutor, denominada como condutividade térmica do material, e sabendo que o calor flui de temperaturas mais altas para temperaturas mais baixas (NUSSENZVEIG, 2018), podemos realocar a equação 2.88 da seguinte maneira:

$$\left(\frac{dQ}{dt} \right) = -kA \left(\frac{dT}{dX} \right) \quad (2.89)$$

onde o termo dT/dX é denominado como gradiente de temperatura. Se ele for negativo, a corrente térmica dQ/dt é positiva (NUSSENZVEIG, 2018).

No processo de transmissão de calor por convecção, ocorre em meios fluidos, aquosos. O que o caracteriza pelo fato de que o próprio movimento do fluido, o transmite à outra parte e isso é denominado como *corrente de convecção*. Uma região do fluido aquecida tende a ter a sua densidade reduzida, o que por efeito da gravidade, o faz ir para a parte superior. Por conseguinte, o fluido mais frio é realocado para a parte inferior pela diferença das densidades e essa troca é o que denominamos de correntes de convecção. Elas podem ser geradas artificialmente com o uso de aparatos tecnológicos, tais como: ar-condicionado, ventiladores, bombas hidráulicas e entre outros, e naturalmente como correntes marítimas ou ventos.

Na radiação, o processo de transferência de calor ocorre através das radiações eletromagnéticas, que de forma análoga à luz visível⁹, propaga-se através do vácuo (NUSSENZVEIG, 2018). Nessa transferência de calor, que é transmitida por um corpo que está com temperatura maior que outro ou do ambiente à sua volta, é denominada como *radiação térmica*. Um exemplo comum é o aquecimento da Terra pela radiação solar.

⁹ Reveja as discussões da sessão sobre ondas eletromagnéticas

2.3.5 Radiação Térmica

Quando o termo radiação é presente ou citado, ele geralmente está relacionado a raios - X, radiação solar ou radiação nuclear. Além disso, o termo em si sempre traz um significado associado com os malefícios que pode causar ao ser humano, como por exemplo, nos causando câncer ou mutações genéticas (MEDEIROS, 2010). Outro fato é a relação que existe entre o termo radiação com a radioatividade ou à radiação ionizante, que são bastantes evidentes (MEDEIROS, 2010). A mesma perspectiva é evidenciada por Henriksen (2001) e Alsop (2000) em trabalhos sobre concepções de estudantes acerca das radiações. Portanto, temos que a utilização deste termo, de maneira geral, é equivocada, pois cria uma definição errônea do que seja uma radiação, distanciando a sociedade, de maneira geral, da compreensão das atuais tecnologias e do desenvolvimento científico.

Uma propagação de energia, que vai de um ponto ao outro, independente do meio no qual isso ocorra, pode ser considerada uma radiação (GARCIA, 2019). Com essa definição, temos que uma radiação é uma onda. O calor, discutido na sessão anterior, é uma energia em movimento e podemos considerá-la como uma onda, no qual é uma radiação que denominamos como **Radiação Térmica**. Essa radiação é descrita por um espectro de radiação térmica, que é dependente do corpo que a está emitindo e Peduzzi (2008) afirma:

A forma desse espectro, isto é, da curva em um gráfico de energia em função do comprimento de onda (ou da frequência) da radiação emitida, depende da natureza (substância) e da temperatura do corpo.

Isso nos diz que o espectro de uma lâmpada incandescente e de um forno, por exemplo, ambos a mesma temperatura, não são iguais. Porém, existem alguns corpos que possuem espectros semelhantes, independentemente de sua composição, de que material é feito e de sua geometria, dependendo apenas da temperatura. Esses são os chamados corpos negros.

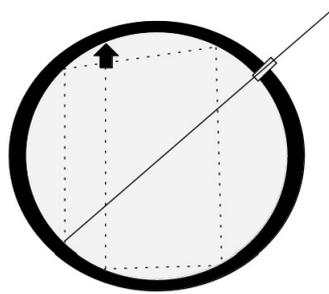
2.3.6 Radiação do Corpo Negro

Todo corpo emite radiação térmica (EISBERG, 1979). Porém, existe um corpo que emite espectros de radiação térmica semelhantes, que nas palavras de Peduzzi (2008) “um objeto teórico cujo comportamento reproduz, com grande aproximação, o espectro de emissão de muitos corpos”.

Corpos negros em uma mesma temperatura, emitem radiação no qual possuem um mesmo espectro e essa característica é independente da composição deles. A primeira menção à esse termo, foi dada por Kirchhoff, em 1860, que denominou esses corpos de corpo perfeitamente negro, ou negro, de forma mais abreviada (PEDUZZI, 2008).

Para representar um corpo negro ideal perfeito, utilizamos uma cavidade fechada e isolada termicamente, no qual possui um pequeno orifício por onde incide radiação térmica vinda do exterior conforme figura 24 abaixo. Ela é refletida várias vezes, de forma a ser absorvida internamente pelas próprias paredes da cavidade. Sendo a área desse orifício muito pequena comparada com a área interna da superfície da cavidade, uma quantidade desprezível dessa radiação será refletida para fora da cavidade (EISBERG, 1979). Portanto, temos uma representação de um corpo negro, no qual toda radiação que incide sobre ele é absorvida e o que é emitido, tem característica idênticas às de um corpo negro (PEDUZZI, 2008). Outro detalhe importante é que um corpo negro não reflete a radiação incidente.

Figura 24 – Representação de uma cavidade que simula um corpo negro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As primeiras medições da radiância de um corpo negro, foi realizada em 1899 por Otto Lummer e Ernst Pringsheim (PEDUZZI, 2008). Porém, o que eles observaram não condizia com a relação prevista por Wien, que foi desenvolvida anos anteriores a essas medições, que é denominada como *lei do deslocamento de Wien*, que relaciona a temperatura com o valor máximo do comprimento de onda da radiação emitida:

$$\lambda_{max}T = const \quad (2.90)$$

ou também na forma

$$\nu_{max} \propto T \quad (2.91)$$

sendo:

- T: temperatura;
- λ : comprimento de onda;
- ν : frequência de onda.

E para o espectro da radiação de um corpo negro, a lei diz que:

$$u(\lambda, t) = A\lambda^{-5} \exp^{-\frac{B}{\lambda T}} \quad (2.92)$$

onde A e B são constantes determinadas a partir dos dados experimentais.

Porém, a eq.2.92, para Lummer e Pringsheim, depois das medições, deveria possuir a forma (PEDUZZI, 2008):

$$u(\lambda, t) = AT\lambda^{-4} \exp^{-\frac{B}{(\lambda T)^n}} \quad (2.93)$$

onde $n = 1, 2$ ou $1, 3$ (MARICONDA; ÉVORA, 1992).

Rayleigh (John W. S. Rayleigh), também revisou a lei de Wien, discutindo que quando λ é maior que a constante B , a energia não é proporcional a temperatura, sendo contraditório ao que era observado experimentalmente. Ele desenvolveu uma função para a distribuição de energia da radiação de corpo negro, dada por:

$$u(\lambda, T) = A\lambda^{-4}T \quad (2.94)$$

Porém, como visto na figura 25, que é uma comparação entre dados experimentais e teóricos, a equação 2.94 só apresenta resultados razoáveis para grandes comprimentos de ondas ou para baixas frequências.

Essa problemática, ficou conhecido como *catástrofe do ultravioleta*. Na figura 25, o eixo y , que representa a intensidade espectral que esta denominada como ρ , é o u utilizado na 2.94. Conforme discutido por Peduzzi (2008), Rayleigh adiciona à relação 2.94 um termo, sem fundamentação teórica para resolver essa problemática. Então, a expressão fica:

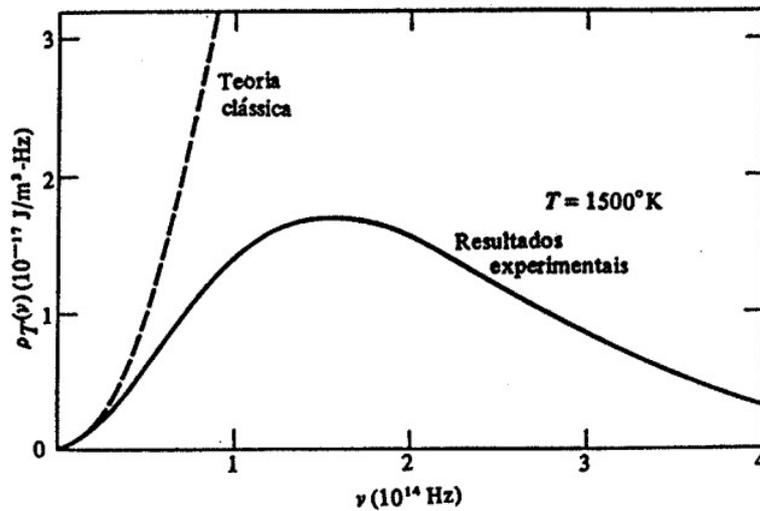
$$u(\lambda, T) = A\lambda^{-4}T \exp^{-\frac{B}{\lambda T}} \quad (2.95)$$

James H. Jeans, anos posteriores, percebendo um erro na relação de Rayleigh, referente à constante presente na equação, publica em 1905, a seguinte relação:

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2 kT}{c^3} \quad (2.96)$$

que ficou conhecida como lei de **Rayleigh-Jeans**. Apesar de toda essa revisão realizada por diversos pesquisadores na época, das correções acerca do deslocamento de Wien e dos estudos realizados a partir da radiação do corpo negro, não houve a construção de uma relação que condizia com os dados experimentais na época. Portanto, havia a necessidade do desenvolvimento de uma teoria que buscasse responder esse fenômeno e Planck o fez.

Figura 25 – Comparação entre a previsão teórica e os resultados experimentais para a emissão de um corpo negro e uma certa temperatura



Fonte: Eisberg (1979, p. 32).

2.3.6.1 Teoria de Planck

Max Planck discute a lei de Wien e suas contradições em 1900, na reunião da Sociedade Alemã de Física, na qual foi publicada em *Verhandlungen der Deutschen Physicalischen Gesellschaft* (PEDUZZI, 2008).

Portanto, partindo do gráfico da figura 25, percebemos que energia e temperatura são proporcionais. Planck aplica uma constante de proporcionalidade, k , conhecida como constante de Boltzmann (PEDUZZI, 2008), entre as grandezas:

$$E = kT \tag{2.97}$$

Ele considerava que a parede interna da cavidade de um corpo negro, representação ideal de um corpo negro, era composta por n osciladores com uma energia média E . Conforme Peduzzi (2008)¹⁰ apresenta:

em 1899, Planck já havia mostrado que a densidade espectral (energia por unidade de volume à frequência ν) de um corpo negro em equilíbrio à temperatura T e à energia média de um oscilador de frequência ν estavam relacionados pela expressão

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} E(\nu, T) \tag{2.98}$$

sendo c a velocidade da luz no vácuo.

¹⁰ Para maiores detalhes sobre o desenvolvimento, consulte as referências (PEDUZZI, 2008) e (EISBERG, 1979)

A função energia, desenvolvida por Planck a partir da entropia média de um oscilador é determinada como:

$$E(\nu, T) = \frac{ak\nu}{\exp\frac{a\nu}{T} - 1} \quad (2.99)$$

sendo a uma constante.

Portanto, a equação 2.98 reescrita fica:

$$u(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{ak\nu}{\exp\frac{a\nu}{T} - 1} \quad (2.100)$$

Como Planck considerava que havia n osciladores na parede interna da cavidade, ele relaciona energia e entropia, de forma que elas não sejam quantidades contínuas, mas grandezas discretas, compostas de um número inteiro de partes finitas iguais (PEDUZZI, 2008). A esta grandeza particular, a qual ele denomina como *quantum elementar de ação*, destaca que cada oscilador, pode ser uma fonte ou receptor da radiação incidente. Essa leitura é feita discretamente no qual é relacionado à frequência de vibração do oscilador e determinou como h o *quantum elementar de ação* e a energia referente a cada oscilador como:

$$\epsilon = h\nu \quad (2.101)$$

No final de 1900, no mês de dezembro, Planck apresenta à Sociedade Alemã de Física a sua proposta que consistia na seguinte relação:

$$u(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{\exp\frac{hc}{\lambda kT} - 1} \quad (2.102)$$

Conforme discutido por Eisberg (1979), Planck não havia a certeza se o desenvolvimento do *quantum elementar de ação*, era apenas uma artifício matemático (para a correção do problema da catástrofe do ultravioleta) ou possuía um significado físico de fato.

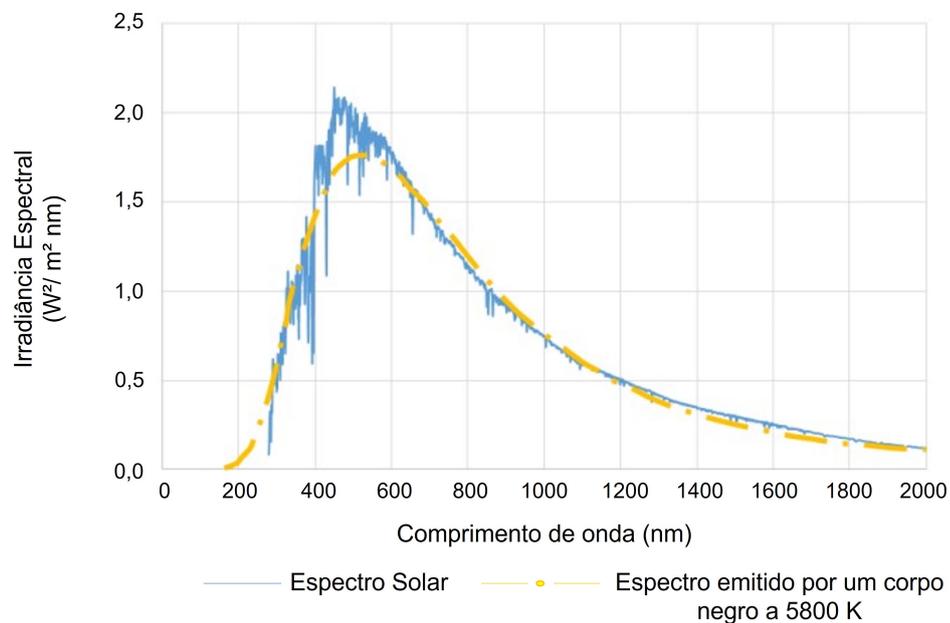
Em 1931, escreveu uma carta ao físico inglês Robert Williams Wood, conforme apresentado por Eisberg (1979) e lembrou que a proposição do *quantum elementar de ação* foi “um ato de desespero, porque, por natureza, sou pacífico e contra aventuras dúbias”. E completou: “Porém, o problema tinha de ser resolvido a qualquer preço. Eu estava pronto para qualquer sacrifício das minhas convicções física.” Nos anos posteriores, discutiu e desenvolver de diversas formas diferentes as relações de forma que essa teoria fosse aceita dentro da física clássica da época, porém, sem sucesso, elas não se relacionavam.

Conforme Peduzzi (2008 apud EISBERG, 1979):

A lei da radiação de Planck deixa claro que há limites na aplicabilidade das leis da física clássica. Ela “prova, pela primeira vez, que há escalas na natureza e que fenômenos em diferentes graus de grandeza não são necessariamente do mesmo tipo.”

O Sol é quase um corpo negro ideal. O espectro solar já foi medido dentro e fora da atmosfera, desde medidas extra-atmosféricas até medidas no solo (NEVES, 2016). No topo da atmosfera terrestre, a medida desse espectro solar pode ser representado pela curva de cor azul do gráfico abaixo 26. Comparando esse espectro com a curva de emissão de um corpo negro a 5800 K, temperatura próxima a emitida da camada da fotosfera do Sol, representado pela curva amarela, vemos uma concordância:

Figura 26 – Espectro solar no topo da atmosfera terrestre



Fonte: Adaptado de Neves (2016 apud IQBAL, 2012)

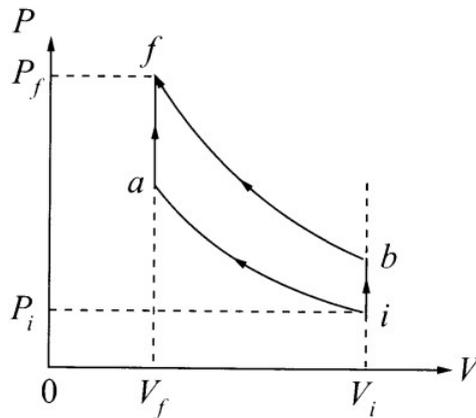
2.3.7 Primeira Lei da Termodinâmica

O trabalho adiabático é aquele no qual ocorre sobre um sistema termicamente isolado (NUSSENZVEIG, 2018). Joule era adepto de experiências em que realiza trabalho adiabático, como por exemplo, uma quantidade de água contida em um calorímetro como o da Figura 23.

Qualquer fluido contido dentro de um recipiente pode ser determinado pelas variáveis de estado: *pressão*, *temperatura* e *volume*. O estado do fluido em um recipiente, qualquer que seja, pode ser determinado por um par de variáveis (NUSSENZVEIG, 2018). Se está em equilíbrio térmico, é determinado pela pressão P e volume V , visto que a temperatura é fixa. Caso seja o volume constante, o fluido é determinado por P e T , ou sendo a pressão constante, determinado por V e T .

Em um deles, Joule manteve o volume V do fluido constante, mantendo as grandezas pressão e temperatura a responsável por determinar o estado deste fluido. Considerando que há um estado inicial e final, após a realização de trabalho sobre o fluido, temos que esses estados são determinados por T_i , P_i e T_f e P_f . Realizando um trabalho adiabático sobre esse fluido, de maneiras diferentes, Joule evidenciou que indo de um estado inicial i a um estado final f , o trabalho adiabático realizado é sempre o mesmo (NUSSENZVEIG, 2018). Na Figura 27 abaixo, no qual há um diagrama representando esse experimento, é possível visualizar:

Figura 27 – Diagrama (P, V) de um gás contido em um recipiente isolado termicamente, com uma parede móvel, o pistão.



Fonte: Caminhos diferentes (NUSSENZVEIG, 2018, p.175).

Na figura, temos a transformação de um estado inicial, determinado por P_i e V_i , a um estado final, determinado por P_f e V_f . Mas isso ocorre a partir de diferentes processos:

- Fazendo uma compressão adiabática no gás, a partir de um estado inicial determinado pelas coordenadas (P_i, V_i) , diminuindo seu volume, indo de V_i para V_f que se encontra no estado a ;
- Com um volume constante V_f , fornece trabalho adiabático indo até o estado final f , ficando com as coordenadas (P_f, V_f) .

Podemos ir do mesmo estado inicial i até o mesmo estado final f , a partir de outro caminho:

- Fornecendo trabalho adiabático a um volume constante V_i a partir do estado inicial i , determinado pelas coordenadas (P_i, V_i) , indo até um estado b ;
- Com uma compressão adiabática, o sistema vai para um estado final f , com coordenadas (P_f, V_f) .

Portanto, temos dois caminhos diferentes para ir de um estado inicial i até um estado final f , mantendo o sistema a todo momento termicamente isolado (NUSSENZVEIG, 2018). Assim, o trabalho adiabático realizado para ir de um estado ao outro, é sempre o mesmo, independente dos demais estados que o sistema passe, e qualquer que seja a forma de realizar esse trabalho adiabático. A partir dessa constatação, podemos generalizar para qualquer experiência ou fenômeno no qual há a realização de trabalho adiabático, indo de um estado inicial i para um estado final f , enunciando assim a 1ª lei da termodinâmica,

conforme Nussenzveig (2018), “o trabalho realizado para levar um sistema termicamente isolado de um dado estado inicial a um dado estado final é independente do caminho”.

Além disso, a 1ª lei da termodinâmica é uma equivalência da conservação de energia, tanto discutido em tópicos de mecânica. Quando o trabalho realizado independe do caminho, há a existência de uma função energia potencial. Portanto, no exemplo discutido, o estado do sistema termodinâmico é determinado por uma função, denominada como *energia interna*, sendo sua variação do estado inicial i para o estado final f igual ao trabalho adiabático realizado. Expressando isso quantitativamente, temos:

$$\Delta U = U_f - U_i = -W \quad (2.103)$$

Sendo U a energia interna e W o trabalho realizado. O sinal negativo resulta no trabalho realizado por um sistema (NUSSENZVEIG, 2018). Quando o trabalho é realizado sobre esse sistema, temos um trabalho positivo, maior que zero:

$$\Delta U = U_f - U_i = W \quad (2.104)$$

Por fim, a energia interna de um sistema termodinâmica deve ser completamente definida quando especificamos o estado do sistema (NUSSENZVEIG, 2018). Lembrando novamente das variáveis de estado, a energia interna pode ser em função de qualquer par delas: P , V e T .

Para o caso de processos não-adiabáticos, sem isolamento térmico, há também a passagem de um estado inicial i para um estado final f . Ao invés de fornecer trabalho ao fluido, o mesmo pode estar recebendo calor a partir de uma fonte ou se expandindo ou comprimindo isotermicamente. Nesses casos, em que o trabalho W não é adiabático, a equação 2.104 deixa de valer (NUSSENZVEIG, 2018), mas a variação de energia interna ΔU é sempre a mesma. Portanto, a 1ª lei da termodinâmica dada em 2.103 e 2.104 identifica a variação de energia interna com uma outra forma de energia, que é o calor transferido ao sistema, dado por Q . Então, reescrevendo, conforme Nussenzveig (2018)

$$\Delta U = U_f - U_i = Q - W \quad (2.105)$$

2.3.7.1 Algumas considerações sobre a 1ª Lei da Termodinâmica

A energia interna de um sistema se eleva, caso seja fornecido calor sobre ou realizado trabalho sobre ele. Ou seja, nesse caso temos, respectivamente:

- $\Delta U > 0$, $Q > 0$ e $W < 0$

É necessário ter cautela ao analisar os fenômenos termodinâmicos, visto que os sinais sobre Q e W são diferentes para variadas situações. É conveniente adotar o sinal positivo para o calor Q fornecido ao sistema e o trabalho W realizado pelo sistema (NUSSENZVEIG, 2018). Já o sinal negativo, temos que o calor é perdido pelo sistema e o trabalho é realizado sobre o sistema.

Quando o processo é adiabático, como discutido na sessão anterior, não há a existência de calor Q , seja ele fornecido ou perdido pelo sistema. Portanto temos o caso de um sistema isolado termicamente, no qual,

$$Q = 0$$

e isso nos remete às equações 2.103 e 2.104.

Há também os casos em que não há a realização de trabalho. Por exemplo, a expansão de um gás em um sistema, a partir de apenas da imersão ou perda de calor, sendo

$$W = 0$$

Logo, a equação 2.105 para esse caso em particular permanece:

$$\Delta U = U_f - U_i = Q \quad (2.106)$$

E por fim, casos em que há compressão ou expansão isotérmica de um fluido temos que $Q \neq 0$ e $W \neq 0$, remetendo a 2.105.

Como dito, a 1ª lei da termodinâmica é uma representação da conservação de energia e a equação 2.105 nos dá a definição disso, visto que se leva em conta o calor Q . Em mecânica, as forças não-conservativas ou dissipativas tais como o atrito e resistência do ar, que são representadas e denominadas por energia térmica em sua grande maioria, nos dá a ideia de não conservação de energia. Porém, a 1ª lei da termodinâmica nos mostra que elas também conservam a energia total, sendo o calor incluso dela (NUSSENZVEIG, 2018).

No capítulo 2.3.3.1, há a discussão da definição de calor, a partir do contato térmico com corpos em que possuem temperaturas diferentes, o que nos parece distinta da discussão dada na presente sessão. Mas como há apenas o contato térmico e troca de calor entre ambos, podemos dizer que não há a realização de trabalho algum, no que nos dá:

$$\Delta U = Q \quad (2.107)$$

Portanto, esse calor cedido para um outro corpo que se encontra com uma temperatura diferente é a definição de calor na calorimetria. Logo, as duas definições se coincidem (NUSSENZVEIG, 2018).

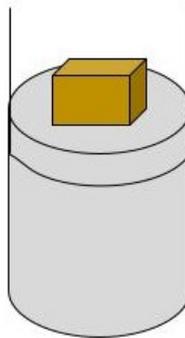
2.3.7.2 O Trabalho Mecânico

O trabalho citado na sessão anterior e representado na equação 2.105, pode ser calculado e discutido de outra maneira, lembrando de mecânica¹¹

$$\tau = F \times d \quad (2.108)$$

Imagine que um gás esteja confinado em um recipiente cilíndrico, como o da Figura abaixo 28, e que sua base e paredes são rígidas de modo que o tampo pode subir ou descer.

Figura 28 – Tampo móvel com um peso sobre um cilindro, que possui em seu interior uma quantidade de volume de gás qualquer.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Há um bloco sobre o tampo, logo, temos um sistema em equilíbrio mecânico composto pelo recipiente, gás e o bloco. Se inserirmos um fluxo contínuo lento de calor a partir da base do recipiente, de maneira que o sistema possa estar em equilíbrio mecânico a cada instante, o bloco se eleva a partir da expansão do gás e esse processo é denominado como quase-estático (OLIVEIRA, 2005). Como a massa do bloco não varia, a pressão sobre o gás não varia também permanecendo constante ao longo da expansão, tendo então um processo isobárico, com pressão P constante.

Sendo a área A do tampo, então a força que o gás exerce sobre o bloco no tampo é:

$$F = PA \quad (2.109)$$

Considere que o tampo se eleve de uma altura h_1 para uma altura h_2 , então o trabalho que agora vamos denominar como W , pode ser calculado a partir de 2.108:

¹¹ O trabalho realizado é calculado pelo produto da força aplicada ao corpo e distância percorrida do mesmo.

$$W = F(h_2 - h_1) \quad (2.110)$$

Substituindo a equação 2.109 em 2.110:

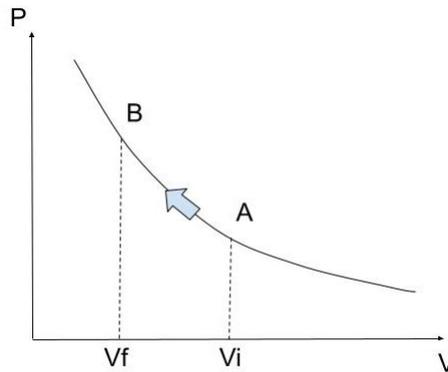
$$W = PA(h_2 - h_1) \quad (2.111)$$

Reescrevendo a equação 2.111:

$$W = P(V_2 - V_1) \quad (2.112)$$

Podemos representar esse trabalho realizado pelo gás em um diagrama, como o da Figura 29 abaixo, sendo ele a área sob o segmento de reta no qual representa o processo isobárico. Esse diagrama é conhecido também como *diagrama de Clapeyron*.

Figura 29 – Representação do processo ligando os estado *A* e *B*. A área sob a curva entre os pontos *A* e *B* é igual ao trabalho realizado.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Aproximando esse processo, de ir do estado *A* para o estado *B*, em uma sucessão de subprocessos isobáricos (OLIVEIRA, 2005), com uma variação de volume, de cada um, sendo ΔV . Da equação 2.112, representando por P_i a pressão correspondente ao ponto inicial de cada subprocesso (OLIVEIRA, 2005):

$$W = \sum_i P_i \Delta V \quad (2.113)$$

Sendo o número de subprocessos sem limite, com $\Delta V \rightarrow 0$, podemos reescrever o trabalho 2.113,

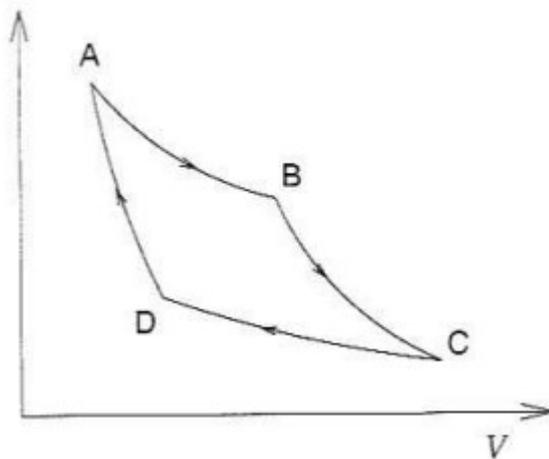
$$W = \int P dV \quad (2.114)$$

Portanto, podemos concluir que a área sob a trajetória representa o trabalho realizado pelo gás (OLIVEIRA, 2005). Assim, se o gás realiza trabalho, o volume aumenta sendo $W > 0$. Já se consome trabalho, no qual diminui seu volume, $W < 0$.

2.3.7.3 O Ciclo de Carnot

Diagramas como o da Figura 30 abaixo, são denominados como *Ciclo de Carnot*

Figura 30 – Um exemplo de um Ciclo de Carnot, em um diagrama de Clapeyron.



Fonte: O ciclo de Carnot (OLIVEIRA, 2005, p.17)

O ciclo de Carnot é caracterizado por possuir duas curvas isotermas e duas adiabáticas (OLIVEIRA, 2005). Tais curvas representam:

- Expansão Isotérmica: estado A ao estado B;
- Expansão Adiabática: estado B ao estado C;
- Compressão Isotérmica: estado C ao estado D;
- Compressão Adiabática: estado D ao estado A.

Portanto as curvas isotermas são as curvas **AB** e **CD**, e as curvas adiabáticas são as curvas **BC** e **DA**. Portanto, essa é a definição de um ciclo de Carnot.

No diagrama da Figura 30, começando pela expansão isotérmica, temos que o sistema recebe uma quantidade de calor Q_1 de um reservatório de calor à temperatura (OLIVEIRA, 2005) constante T_1 . Na transformação seguinte, uma compressão isotérmica, temos que o sistema fornece uma outra quantidade de calor, porém agora constante Q_2 , a um reservatório de calor à temperatura T_2 (OLIVEIRA, 2005). Nas palavras de Oliveira (2005):

[...] a razão entre o trabalho realizado e o calor recebido por um sistema que opera segundo um ciclo de Carnot depende somente das temperaturas dos reservatórios.

Como há recebimento de quantidades de calor, bem como diferentes temperaturas, há um trabalho W sendo realizado no ciclo de Carnot. Então, a relação $\frac{W}{Q_1}$ só irá depender de T_1 e T_2 (OLIVEIRA, 2005) e tal definição se aplica a todo ciclo, sendo ele universal.

Da 1° lei da termodinâmica (equação 2.105):

$$W = Q_1 - [Q_2] \quad (2.115)$$

que é relação de trabalho realizado em um ciclo fechado, entre o calor recebido e calor cedido. Dividindo essa relação pelo calor recebido Q_1 ,

$$\frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{[Q_2]}{Q_1} \quad (2.116)$$

podemos dizer que a relação entre o calor cedido $[Q_2]$ e o calor recebido Q_1 , depende das temperaturas dos reservatórios (OLIVEIRA, 2005)

$$\frac{[Q_2]}{Q_1} = f(T_1, T_2) \quad (2.117)$$

Utilizando um outro sistema, que também seja representado por um ciclo de Carnot, sendo suas curvas isotérmicas correspondentes às temperaturas T_2 e T_3 , logo, podemos dizer

$$\frac{[Q_3]}{Q'_2} = f(T_2, T_3) \quad (2.118)$$

de maneira análoga à equação 2.117, temos o termo Q'_2 como o calor recebido e o termo $[Q_3]$ o calor cedido.

Considere que haja uma troca entre os dois sistemas definidos anteriormente, de modo que o segundo ciclo seja o recebimento de todo o calor cedido do primeiro sistema $[Q_2]$. Com isso, podemos dizer que

$$Q'_2 = [Q_2] \quad (2.119)$$

Realizando uma manipulação algébrica, no qual multiplicamos a equação 2.117 pela equação 2.118 e levando em conta a relação 2.119 (OLIVEIRA, 2005):

$$\frac{[Q_2]}{Q_1} \cdot \frac{[Q_3]}{Q'_2} = f(T_1, T_2) \cdot f(T_2, T_3) \quad (2.120)$$

Portanto, essa equação fica:

$$\frac{[Q_3]}{Q_1} = f(T_1, T_2) \cdot f(T_2, T_3) \quad (2.121)$$

Apesar de serem sistemas diferentes e como já dito, todo ciclo de Carnot é universal, então sendo Q_1 o calor recebido e Q_2 o calor cedido, podemos dizer que esse ciclo opera entre as temperatura T_1 e T_3 (OLIVEIRA, 2005), sendo:

$$f(T_1, T_2) \cdot f(T_2, T_3) = f(T_1, T_3) \quad (2.122)$$

ficando portanto,

$$\frac{[Q_3]}{Q_1} = f(T_1, T_3) \quad (2.123)$$

Portanto, podemos dizer que a equação 2.123 acima, pode ser escrita em uma função que a satisfaz, como descrita por Oliveira (2005)

$$f(T, T') = \frac{\phi(T')}{\phi(T)} \quad (2.124)$$

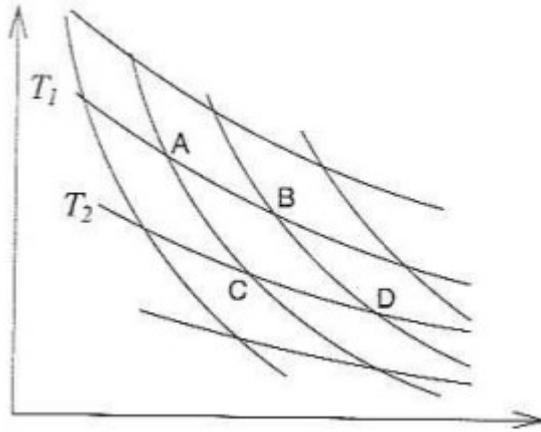
Do primeiro sistema descrito, podemos escrever essa função como:

$$\frac{[Q_2]}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (2.125)$$

2.3.7.4 Entropia

No diagrama abaixo 31, temos curvas referentes à processos isotérmicos e adiabáticos.

Figura 31 – Curvas adiabáticas e isotérmicas se cruzando em um ciclo de Carnot.



Fonte: Isotermas e Adiabáticas (OLIVEIRA, 2005, p.20)

As curvas AB e CD são referentes aos processos isotérmicos, correspondentes às temperaturas T_1 e T_2 (OLIVEIRA, 2005), e as curvas AC e BD , referentes aos processos adiabáticos. Um processo adiabático, por exemplo, consiste em confinar um gás em um recipiente cilíndrico, no qual possui tampo, de paredes adiabáticas (OLIVEIRA, 2005). Ao movimentar lentamente o tampo, medimos simultaneamente a pressão e o volume e realizando esse procedimento diversas vezes, obtemos diversas adiabáticas (OLIVEIRA, 2005). Como pode ser visto na Figura 31, forma-se um conjunto de curvas que não se cruzam.

Portanto, de maneira análoga às isotermas no qual há uma grandeza físicas que as associa, a temperatura, para as adiabáticas também há uma grandeza que as determina, denominada *entropia*. Sua definição consiste da seguinte discussão: na Figura 31 o ponto A está sobre uma adiabática e o ponto B sobre outra, porém, os dois pontos estão sob uma mesma isoterma, que é correspondente à uma temperatura T_1 . Logo, denominando a grandeza entropia da primeira adiabática como S_A e S_B da segunda adiabática, definimos então:

$$S_B = S_A + \frac{Q_1}{T_1} \quad (2.126)$$

no qual Q_1 é o calor recebido na isoterma T_1 . O raciocínio é análogo para uma análise nos pontos C e D , visto que estão nas mesmas adiabáticas referentes aos pontos

A e B , respectivamente. Porém, eles estão sob outra isoterma, correspondente a uma temperatura T_2 (OLIVEIRA, 2005). Usando a mesma definição anterior,

$$S_B = S_A + \frac{Q_2}{T_2} \quad (2.127)$$

sendo Q_2 o calor recebido na isoterma de temperatura T_2 .

Pelo princípio de Carnot, discutido na sessão anterior, podemos dizer que

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2} \quad (2.128)$$

Com isso, as duas expressões 2.126 e 2.127 possuem relação a entropia de uma determinada adiabática, se torna independente da escolha das isotermas (OLIVEIRA, 2005). Por fim, escolhendo uma adiabática para encontrar o valor da entropia, as demais adiabáticas do diagrama estão associadas a um valor bem definido da entropia, assim como para qualquer ponto do diagrama de Clapeyron (OLIVEIRA, 2005).

2.4 Física Solar

Desde os primórdios da civilização, o planeta Terra e o Sol, são os astros mais importantes do Sistema Solar para os humanos. O primeiro por ser nosso lar, onde crescemos, evoluímos, aprendemos, cultivamos, e o segundo, por manter a Terra habitável para nós, no qual nos fornece calor e energia. Como este gerava a manutenção da vida, muitas culturas ao longo dos tempos admiravam a estrela Sol como um deus, uma divindade. Por causa disso, o homem fez do Sol seu deus e deusa, e o adorou segundo Bhatnagar e Livingston (2005). Alguns exemplos são: o deus Hélios para os gregos, o deus Rá na cultura egípcia, para os maias o deus Kinich Ahau, para os tupis-guaranis o deus Guaraci e entre outros. Além disso, muitas das grandes cidades do mundo antigo eram conhecidas como “A Cidade do Sol”, como Baalbec, Rodes e Heliópolis segundo Bhatnagar e Livingston (2005).

O Sol está distante da Terra por algumas centenas de milhares de quilômetros, 149.597.870.700 m (MENEZES, 2021), o que facilita uma melhor visualização dos detalhes de sua superfície (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005). Essa distância representa a Unidade Astronômica, grandeza muito utilizada no campo da astronomia para medições de distância. Assim, dizemos que entre a Terra e o Sol há uma distância de 1 Unidade Astronômica (1 AU)¹².

A física solar é um campo de estudo no qual estuda o Sol e suas características, bem como as suas relações e influências na natureza do espaço. Compreender e discutir essa vasta área da ciência nos auxilia em compreender melhor como o universo funciona e como os mecanismos relacionados a manutenção da vida na Terra se comportam.

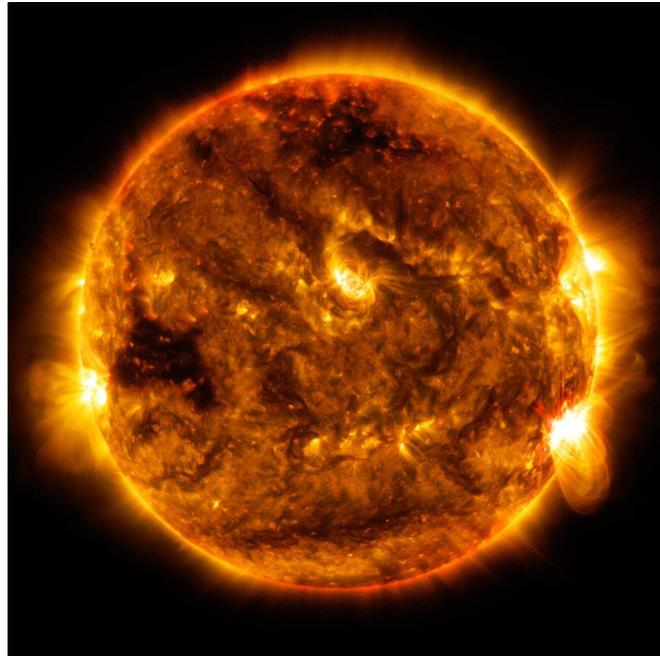
2.5 O Sol

O Sol é uma esfera de plasma, ou seja um gás ionizado devido as alturas temperaturas que possui 1,4 milhões de quilômetros de diâmetro aproximadamente. Possui um núcleo onde há a geração de energia através de fusão nuclear (FILHO; SARAIVA, 2004) e também possui uma atmosfera onde ocorre fenômenos da atividade solar. É uma estrela no qual há diversas camadas com profundidades, estruturas e temperaturas diferentes (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005).

O Sol está centrado no sistema solar e há uma distância de aproximadamente 150 milhões de quilômetros da Terra (KRÜGER, 2012). Algumas das principais características, que foram sendo obtidas ao longo dos anos através dos estudos acerca do Sol, estão listadas na tabela abaixo:

¹² Nas literaturas de astronomia, a unidade para a grandeza de unidade astronômica é dada em AU, que em inglês é *Astronomic Unit*

Figura 32 – Uma foto do Sol capturada em 1° de Outubro de 2015, pelo *Solar Dynamics Observatory* (PESNELL; THOMPSON; CHAMBERLIN, 2011) da Nasa, mostrando a emissão de uma explosão solar de nível médio.



Fonte: NASA's SDO Sees Sun Emit Mid-Level Flare Oct. 1. Disponível em: <https://solarsystem.nasa.gov/resources/768/nasas-sdo-sees-sun-emit-mid-level-flare-oct-1/?category=solar-system_sun>. Acesso em 27 de out. de 2021.

Tabela 2 – Principais características do Sol

Massa	$1,989 \times 10^{30}$
Raio Equatorial	695600 km
Raio Médio	109 raios terrestres
Densidade Média	1410 kg/m ³
Densidade Geral	160000 kg/m ³
Período de Rotação Equatorial	25 dias
Distância Média à Terra	149,6 milhões de km
Luminosidade	$3,86 \times 10^{26}$ W
Temperatura Média na Superfície	5780 K
Distância ao Centro Galático	30000 anos-luz
Velocidade Orbital	250 km/s

Fonte: (KRÜGER, 2012)

Toda a energia gerada pelo Sol é proveniente do núcleo solar a partir de um processo de fusão nuclear¹³. Porém, a radiação propagada pelo espaço não emerge diretamente de lá, pois sofre alterações e modificações ao passar de camada em camada. Portanto, uma teoria do interior solar e de como o Sol produz sua energia é baseada em três métricas básicas que são disponíveis a partir de observações astronômicas e que afetam a estrutura

¹³ É discutido com maiores detalhes na seção (2.5.2)

do Sol como um todo (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005):

1. **Massa do Sol:** conforme tabela 2:

$$m_{Sol} = 1,989 \times 10^{30} kg \quad (2.129)$$

Com esse dado, temos conhecimento e uma noção de quanta matéria o Sol possui;

2. **Raio do Sol:** conforme tabela 2:

$$r_{Sol} = 6,962 \times 10^5 km \quad (2.130)$$

Com este, temos a breve noção do espaço que o Sol deve preencher (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005);

3. **Luminosidade do Sol:** esse dado fornece a quantidade de energia que emana do Sol, na forma de luz, a cada segundo. Conforme tabela 2:

$$L_{Sol} = 3,86 \times 10^{26} W \quad (2.131)$$

Ou seja, são $0,9 \times 10^{26}$ calorias por segundo de energia que o Sol emana em todas as direções, nos oferecendo informação sobre a propagação de energia do Sol.

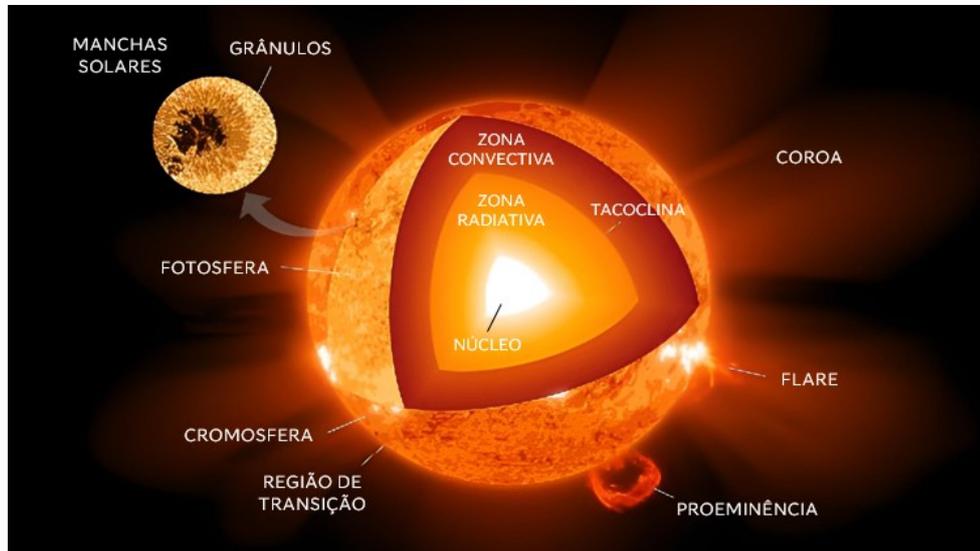
Portanto, esses são os três pilares no qual a teoria da energia solar e de seu interior é baseado (KRÜGER, 2012).

2.5.1 Estrutura do Sol

Conforme figura 33 abaixo, temos as diferentes camadas do Sol, bem como a atmosfera solar e os fenômenos provenientes das atividades solares. Na “superfície” solar, temos a fotosfera, camada esta no qual se origina as radiações no intervalo do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético (KRÜGER, 2012). Além disso, é a camada no qual que é possível a visualização dos grânulos e manchas solares, a partir de pequenas e grandes regiões escuras (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005), e sua estrutura é como se estivesse “chapiscada”. Abaixo dela, mais para o interior solar, temos as zonas convectiva, tacoclina e radiativa que antecedem o núcleo solar (SARAIVA, 2004).

Acima da superfície solar, na atmosfera solar, que na Figura 33 está representada por um brilho suave, de coloração amarelo claro, temos a cromosfera, que se estende por cerca de 2.000 a 2.500 km de altura, no qual é composto por um gás de baixa densidade (KRÜGER, 2012). E por fim, a camada mais externa, a coroa ou corona.

Figura 33 – Representação da estrutura do Sol, onde temos o interior que é formado pelo núcleo, zona radiativa e zona convectiva. Além disso temos a atmosfera, formada pela fotosfera, cromosfera e coroa, e que também há a presença de alguns fenômenos como os grânulos, manchas solares e proeminências.



Fonte: Adaptado de: Kelvinsong, CC BY-SA 3.0, <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=23371669>>

A estrutura solar pode ser sequenciada da seguinte maneira:

- Interior Solar
 - Núcleo
 - Zona Radiativa
 - Taconlina
 - Zona Convectiva
- Atmosfera Solar
 - Fotosfera
 - Cromosfera
 - Coroa

A seguir serão apresentados e discutidas com maiores detalhes as camadas, a atmosfera e fenômenos da atividade solar, representadas na Figura 33. Começando pelo interior solar no qual é separado em quatro regiões e caracterizados pelos diferentes processos que ocorrem em cada uma delas. Inicialmente, a energia é gerada no núcleo no qual se difunde por radiação, principalmente nos intervalos de raios gama e raios X, através

da zona radiativa e por fluxos convectivos de fluido (movimento de ebulição) que passa através da zona convectiva, que corresponde a 15 % do raio solar (FILHO; SARAIVA, 2004). Entre as zonas convectiva e radiativa, existem uma fina camada, denominada tacoclina, no qual se acredita que o campo magnético do Sol seja gerado.

2.5.1.1 Interior Solar

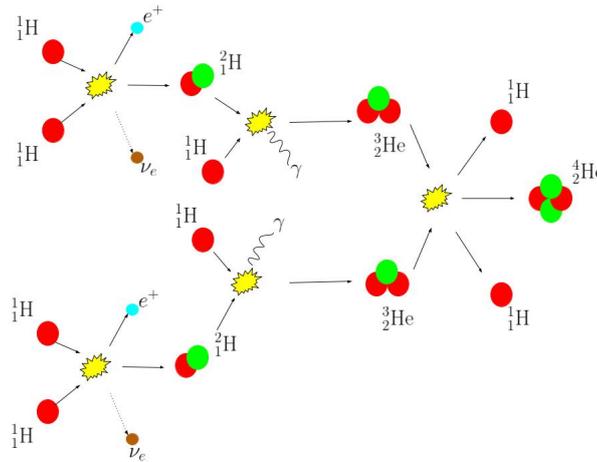
2.5.1.1.1 Núcleo

A estimativa de energia gerada no centro é feita a partir da luminosidade da superfície do Sol (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005). Em sua geração de energia, o Sol consome, por segundo, algo próximo de 650 milhões de toneladas métricas de hidrogênio, que são convertidos em hélio, sendo que em seu nascimento, mais de 70 % de sua massa era hidrogênio (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005). Apesar desse alto consumo de hidrogênio, o hidrogênio presente no núcleo está sendo consumido a uma taxa de 5 milhões de toneladas por segundo através de reações termonucleares (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005). Esse dado, nos dá uma estimativa de quanto tempo o Sol terá um núcleo estável, que durará por mais 4,5 bilhões de anos. Atualmente, está bem estabelecido que no centro do Sol, no núcleo, o processo de energia é realizado através de fusão nuclear de elementos leves, hidrogênio e seus isótopos (deutério e trítio) em hélio e outros elementos pesados (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005).

Dentro desse processo, há as reações nucleares, que convertem núcleos de hidrogênio em núcleos de hélio. No caso do sol especificamente, temos a reação dominante que é a cadeia próton-próton, denominada como ppI. Ela está descrita na sequência e a Figura 34 a seguir, dá uma representação dessa reação. Lembrando que:

- ν_e : neutrino;
 - γ : raios gamma;
 - e^+ : pósitron.
1. 2 pares de núcleos de hidrogênio se fundem, originando 2 núcleos de deutério (D), liberando 2 pósitrons e 2 neutrinos;
 2. Cada núcleo de deutério se funde com outro de hidrogênio, originando 2 núcleos de hélio-3 e 2 raios gamma;
 3. Os 2 núcleos de hélio-3 se fundem originando um núcleo de hélio e mais dois núcleos de hidrogênio;

Figura 34 – O processo de produção de energia no núcleo do Sol.



Fonte: Elaborado pelo autor.

- Os raios gamma gerado nesta cadeia são os responsáveis pela radiação eletromagnética observada do Sol.

Portanto, essa reação explicitada acima está ocorrendo constantemente no núcleo do Sol.

As partículas neutrinos, de natureza subatômica, não possuem carga elétrica, nem massa e viaja com a velocidade da luz (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005). Diferente dos fótons, eles são percebidos como radiação eletromagnética e são apenas feixes de energia e, além disso, possuem um alto poder de penetração visto que não interagem com nenhuma matéria depois de criados. No núcleo solar, são produzidos a cada segundo 2×10^{38} neutrinos (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005). Diferente da radiação produzida no núcleo, que leva milhares de ano para sair da superfície solar, o neutrino ao ser produzido, se desprende da estrutura solar quase que imediatamente, chegando à Terra por volta de 8 minutos, com velocidade de 99.9999999995% da velocidade da luz (MENEZES, 2002).

2.5.1.1.2 Zona Radiativa

Como o próprio nome diz, a zona radiativa possui como característica principal o método de transporte de energia, a radiação. Desde o núcleo até a tacoclina, o que corresponde a aproximadamente a 70 % do raio solar (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005), o calor é transportado por condução de radiação. Toda essa energia gerada no núcleo solar é transportada por radiação, que é constituída de fótons de raios gama de alta energia (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005). Nessa locomoção dessas partículas de alta energia, elas ricocheteiam de partícula em partícula, elétrons e núcleos atômicos, ao longo da zona radiativa, o que conseqüentemente “aumenta gradativamente o número de

fótons e diminui sua energia à medida que se difundem” (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005, p.82).

Com essa perda de energia, essa radiação para os raios X, ultravioleta e, finalmente, para a luz visível. Esse processo leva aproximadamente 10.000 anos e assim, grande parte da energia gerada no núcleo se espalhe pela superfície (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005).

2.5.1.1.3 Tacoclina

É uma zona intermediária, que se localiza entre a zona convectiva e radiativa. Em comparação ao raio do Sol, ela representa uma espessura menor que um por cento do raio (SILVA, 2006). Essa camada é caracterizada pelas súbitas mudanças de velocidade de escoamento do plasma, pois em suas regiões mais internas, próximas à zona radiativa, praticamente não há fluxos de matéria (SILVA, 2006). Mas conforme se aproxima das camadas superiores, da zona convectiva, os fluxos de energia aumentam, se igualando aos fluxos da camada superior.

2.5.1.1.4 Zona Convectiva

Pela própria figura, temos que ela é a camada mais externa do interior solar e possui uma profundidade de 200.000 km. Em sua base, bem no limite para a zona radiativa, a temperatura é próxima dos 2.000.000° C o que permite que os íons mais pesados, tais como carbono, nitrogênio, oxigênio, cálcio e entre outros, retenham alguns de seus elétrons (HATHAWAY, 2015). Com isso, o calor é retido tornando o fluido instável, no qual começa a elevar sua temperatura. A convecção irá ocorrer quando o gradiente de temperatura fica maior do que o gradiente adiabático, conforme o critério de Schwarzschild (cf. Apêndice A). Portanto, com isso posto, um determinado volume de material que se move para a parte superior será mais quente do que o seu entorno e continuará a aumentar. Com esses movimentos, denominados movimentos convectivos, eles transportam calor rapidamente para a superfície, a fotosfera. Chegando próximo à ela, se expande e esfria, sendo que na superfície fotosférica, que é visível, a temperatura cai para 5.700 K e a densidade com valor: $0,0000002 \frac{g}{cm^3}$ (HATHAWAY, 2015). Esse movimentos, denominados movimentos convectivos, são visíveis na fotosfera e são reconhecidos como os grânulo (HATHAWAY, 2015)¹⁴.

Acima da Zona Convectiva, há fotosfera (Figura 33). Entre elas ocorre o equilíbrio radioativo e convectivo descrito pelo critério de *Schwarzschild* (cf. Apêndice A) também conhecido como condição de estabilidade do equilíbrio radioativo. Na sequência, iremos discutir as camadas da atmosfera solar.

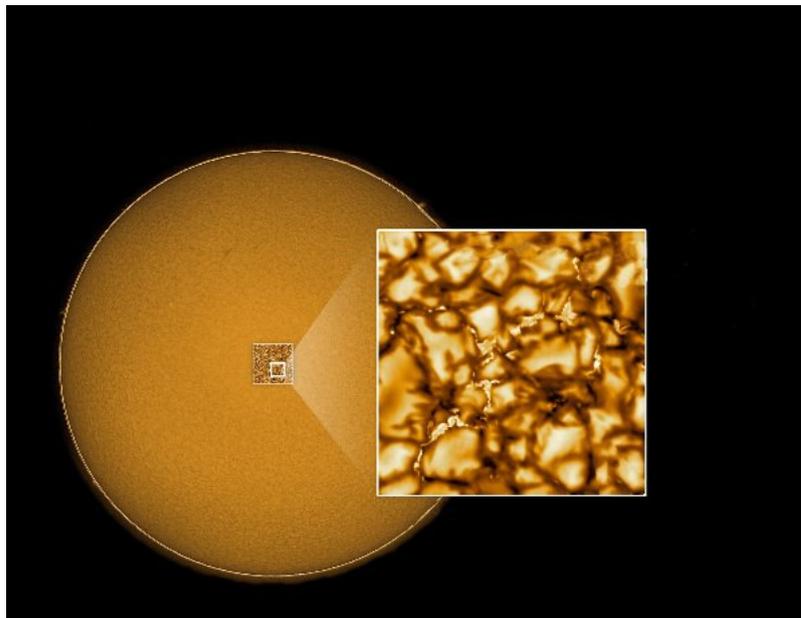
¹⁴ Para maiores discussões consulte (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005) e (KRÜGER, 2012).

2.5.1.2 Atmosfera Solar

2.5.1.2.1 Fotosfera

A fotosfera é a superfície do Sol (KRÜGER, 2012), no qual há a densa presença de partículas, caracterizado por um gradiente acentuado no qual possui a aparência de um padrão celular, denominado como granulação. Cada grânulo desse, como o da Figura 35 abaixo, possui um tamanho da ordem de 1.000 km e duração de cerca de 5 minutos.

Figura 35 – A granulação presente na fotosfera, com um zoom para melhor visualização e identificação.

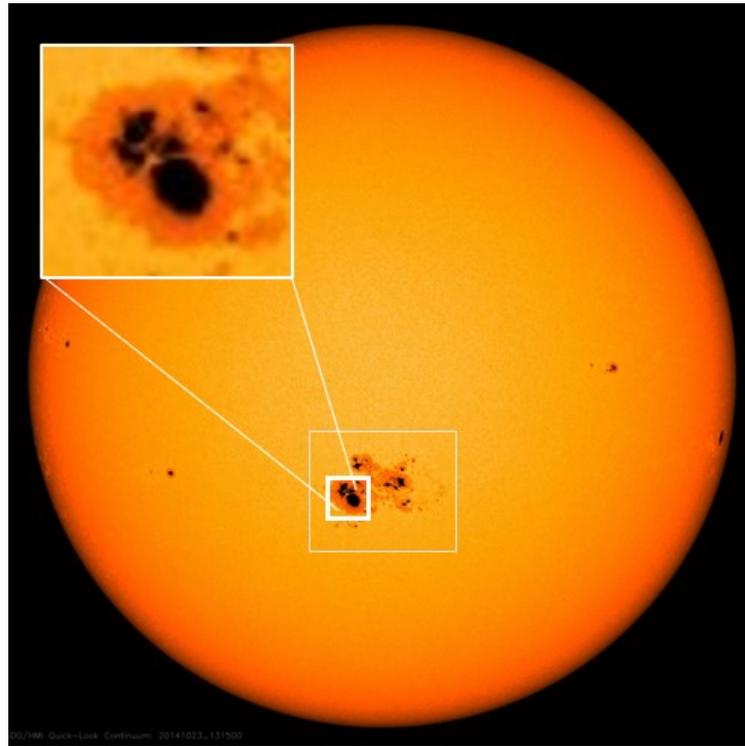


Fonte: Adaptado de: NSF's newest solar telescope produces first images. Disponível em: <https://nsf.gov/news/news_images.jsp?cntn_id=299908&org=NSF>. Acesso em 30 de out. de 2021.

Os grânulos são os movimentos convectivos que ocorrem na camada interna do Sol, a zona convectiva (SILVA, 2006) que é discutida com maiores detalhes mais adiante.

Como é uma camada bem opaca, isso impede a visualização de camadas interiores (KRÜGER, 2012). Há um fenômeno notório da atividade solar (KRÜGER, 2012) que são as manchas solares. Normalmente, elas aparecem em grupos e nestes locais as temperaturas são mais baixas, sendo que variam entre 1.000 e 2.000 K, inferiores ao restante da superfície, segundo Silva (2006). Na Figura 36, temos uma representação do que seja as manchas solares:

Figura 36 – As manchas solares presentes na atmosfera solar.



Fonte: Adaptado de: NASA's SDO Observes Largest Sunspot of the Solar Cycle. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/content/goddard/sdo-observes-largest-sunspot-of-the-solar-cycle/>>

Há registros de suas observações desde a antiguidade mas tem sido observadas regularmente desde meados do século XVII (KRÜGER, 2012). São regiões irregulares no qual possuem uma aparência mais escura do que a parte circundante da fotosfera (FILHO; SARAIVA, 2004). Essas manchas são constituídas de duas partes:

- Umbra: é parte mais central da mancha solar no qual a temperatura fica em torno de 3.800 K;
- Penumbra: é região mais clara com uma estrutura radial em torno da umbra (FILHO; SARAIVA, 2004).

A umbra e penumbra das manchas solares possuem dimensões de cerca de 2.000 a 20.000 km e 5.000 a 50.000 km, respectivamente (KRÜGER, 2012).

No campo da física, uma grandeza considerável e notável das manchas solares é o campo magnético, no qual possui variações entre 1.000 e 4.000 G (KRÜGER, 2012) no centro das umbras.

As manchas solares podem ser distinguidas, conforme sua aparência e há uma classificação para cada caso, o que, para o presente trabalho, não é tratado¹⁵.

¹⁵ Para maiores detalhes consulte Krüger (2012)

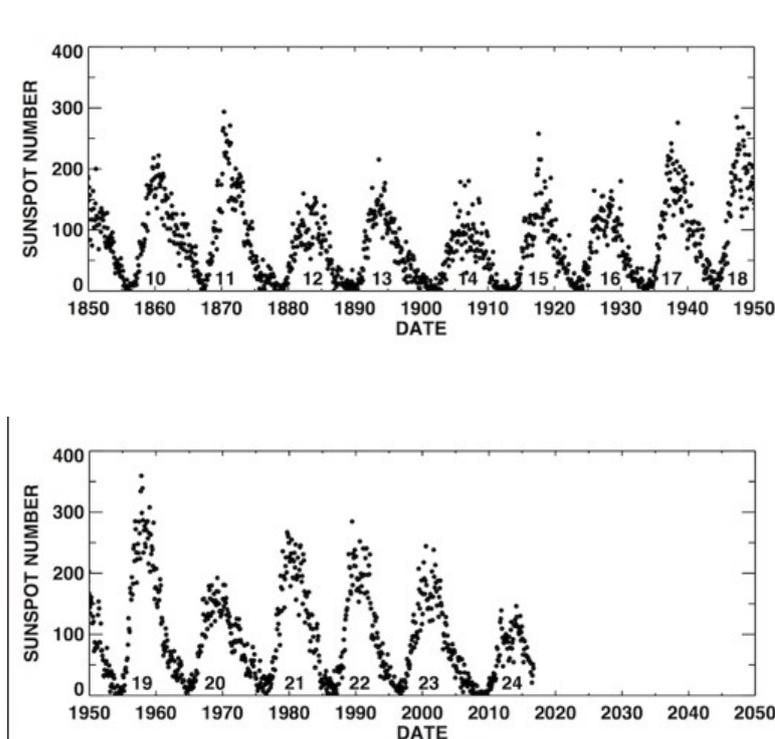
Além disso, as áreas de manchas solares bem o quantitativo delas tem sido usado como uma medida de atividade solar. Há uma expressão que nos dá o número de manchas solares ou um número relativo, que é dado por:

$$R = k(10g + f) \quad (2.132)$$

onde f é o número total de manchas visíveis, não considerando seu tamanho, g o número de grupos de manchas e k o coeficiente relacionado ao instrumento de medição.

A natureza periódica da atividade solar pode ser medida a partir das médias anuais de manchas solares, e isso é feito há muito tempo, conforme Figura 37 abaixo, no qual temos a quantidade de manchas solares ao longo dos anos:

Figura 37 – Médias mensais de manchas solares ao longo dos anos.



Fonte: Solar Physics. Marshall Space Flight Center. The Sunspot Cycle. Disponível em: <<https://solarscience.msfc.nasa.gov/SunspotCycle.shtml>>. Acesso em 16 de nov. de 2021.

Portanto, quando há uma incidência maior de manchas solares, é um indicativo de que as atividades solares interiores estão maiores.

2.5.1.2.2 Cromosfera

Essa camada da atmosfera solar, consiste em uma zona com 2.200 km de altura (MENEZES, 2021), no qual está compreendida entre a fotosfera, que possui uma temperatura menor, e o plasma fino e quente da coroa (KRÜGER, 2012). Além disso, é uma região

no qual há interesse direto em se analisar e estudar as radiações de rádio, compreendidas na região do espectro eletromagnético, que possui comprimentos de onda entre mm e cm. As duas principais características são:

- Temperatura: varia entre aproximadamente 4.000 K da base, até 8.000 K do topo;
- Altura: de 500 a aproximadamente 2.500 km acima da fotosfera.

Como é uma região em que ocorre aumento de temperatura e diminuição da densidade de partículas, em função da altitude a partir da “superfície”, a ionização das partículas pode ser definida com uma equação, denomina equação de *Boltzmann* (KRÜGER, 2012)¹⁶.

Um outro detalhe é que não é uma região homogênea e apresenta diversos elementos estruturais, sendo um dos mais conhecidos como espículas. É um limite não homogêneo e representam elementos densos (KRÜGER, 2012), sendo que essas espículas ocupam uma parte de apenas 1% da superfície solar (KRÜGER, 2012).

2.5.1.2.3 Coroa

Diferentemente da fotosfera e cromosfera, a coroa é a estrutura mais externa do Sol e não possui uma fronteira bem definida em direção ao espaço interplanetário (KRÜGER, 2012), além de possuir uma extensão bem maior que as duas antecessoras. Uma das característica da coroa é a sua temperatura que pode chegar a milhões de kelvin em algumas regiões (MENEZES, 2021). Essa elevação considerável da temperatura em camadas exteriores da atmosfera solar ainda é um problema em aberto na física solar (MENEZES, 2021), no qual espera-se uma melhor compreensão a partir de missões recentes realizadas pela Nasa.

Um outro detalhe é que a coroa é melhor visualizada durante os eclipses solares, que nos dá um indicativo das dimensões e de sua forma.

Nessa região da coroa, que se encontra há uma altura de cerca de 2.000 a 5.000 km a partir da fotosfera, a temperatura que se encontrava por volta de 1.200 K se eleva para valores superiores a 1.000.000 K e também, simultaneamente, a densidade cai em duas ordens de magnitude (KRÜGER, 2012).

Das observações e emissões da coroa, determinou-se três componentes distinguíveis (KRÜGER, 2012)

- L-coroa: emissões de linha de átomos ionizados;

¹⁶ Para maiores detalhes, consulte Krüger (2012)

Figura 38 – Durante um eclipse solar total é possível visualizar minimamente a coroa solar.



Fonte: What Is the Sun's Corona? Image of the solar corona during a total solar eclipse on Monday, August 21, 2017 above Madras, Oregon. Credit: NASA/Aubrey Gemignani Disponível em: <<https://spaceplace.nasa.gov/sun-corona/en/>>. Acesso em 17 de nov. de 2021.

- K-coroa: luz fotoesférica espalhada em elétrons livres, representada por uma emissão contínua parcialmente polarizada;
- F-coroa: são as linhas de absorção do espectro de Fraunhofer(cf. Apêndice C), da fotosfera, causadas pela difração de poeiras interplanetárias

Na coroa é possível explorá-la a partir dos fenômenos óticos e da análise da emissão de raios x e ondas de rádio. Da coroa também, temos os ventos solares, que como pode ser visto, o Sol libera um fluxo constante de partículas, campos magnéticos e radiações, que formam o que é denominado de **vento solar**. Ele se propaga por todo o sistema solar e colide com todos os planetas, com os quais pode se espalhar em suas respectivas superfícies.

Um fenômeno visível bastante notável que ocorre a partir da fotosfera e se estende até a coroa solar, são as proeminências (KRÜGER, 2012). São estruturas brilhantes e que vão além da superfície solar, algo próximo de 10.000 a 30.000 km acima da camada da fotosfera (KRÜGER, 2012). O material que forma essa espécie de arco e flui por ele é o plasma, gás quente e ionizado que consiste de hidrogênio e hélio (BUTCHER, 2021). Como forma de se ter noção de sua dimensão, a Figura 39 abaixo nos dá uma ideia de como é esse fenômeno:

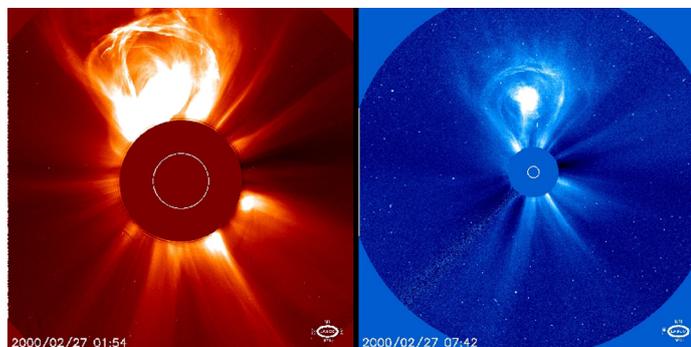
Figura 39 – Uma representação aproximada do que seja os filamentos ou proeminências provenientes da superfície solar.



Fonte: Adaptado de: What is a solar prominence? Disponível em: <<https://www.nasa.gov/content/goddard/what-is-a-solar-prominence>>. Acesso em 18 de nov. de 2021.

Há proeminências que possuem um período de um dia e há outras que persistem por vários meses (BUTCHER, 2021). Quando ocorre a formação delas, é uma oportunidade de se obter maiores informações sobre as ejeções de massa coronal, também conhecidas como CME, do inglês, *Coronal Mass ejection*, movimentos de massa coronal. Há diversos tipos de proeminências, que foram caracterizadas e distinguidas por Zirin (1966).

Figura 40 – Ejeções de massa coronal capturadas no ano 2000, em dois horários diferentes.

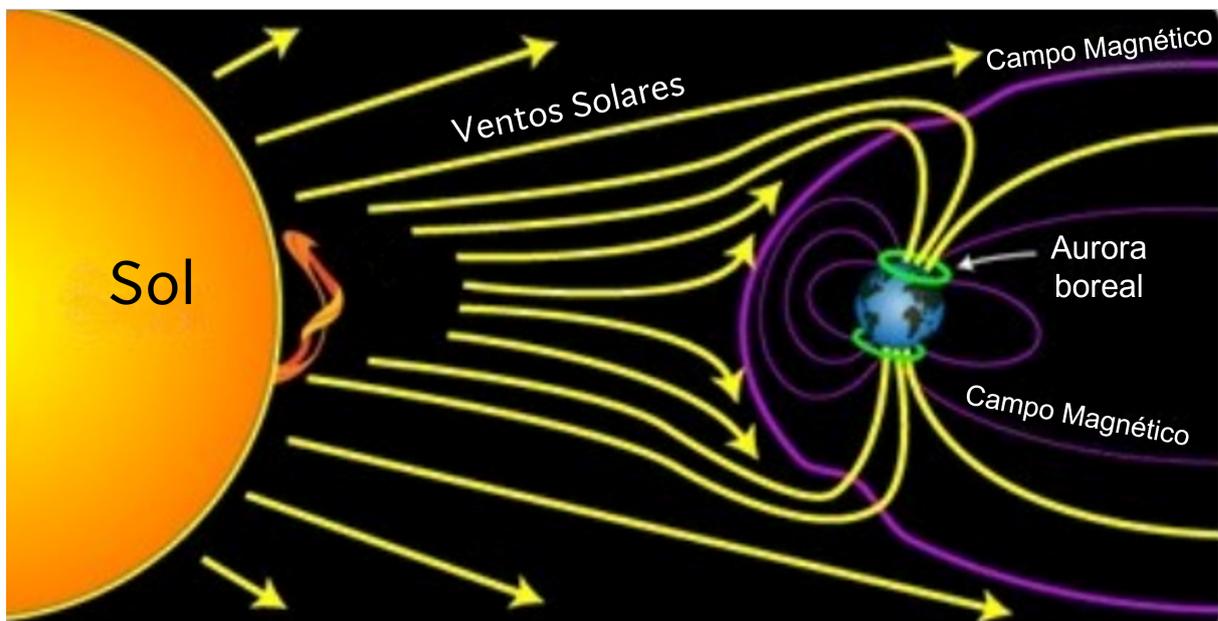


Fonte: A coronal mass ejection on Feb. 27, 2000 taken by SOHO LASCO C2 and C3. A CME blasts into space a billion tons of particles traveling millions of miles an hour. Credit: SOHO ESA e NASA. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/content/goddard/what-is-a-coronal-mass-ejection>>. Acesso em 26 de nov. de 2021.

Todo o material de uma CME, algumas leva cerca de 100 horas para chegar na Terra (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005) e outras chegam em menos de 24 horas. As maiores podem lançar massas superiores a 10^{13} kg (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005). Além disso, as ocorrências de CMEs segue o ciclo solar de 11 anos e quando a atividade solar é máxima, há um registro em média de 3,5 eventos por dia de CME (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005), enquanto que quando a atividade solar é mínima, 0,2 eventos por dia (BHATNAGAR; LIVINGSTON, 2005).

Portanto, quando essa ejeção chega nas proximidades da Terra, parte de sua energia e algumas partículas percorrem as linhas do campo magnético terrestre e, quando chegam nos polos norte ou sul, uma fração locomovem-se para a atmosfera terrestre.

Figura 41 – Interação das CME's com o campo magnético terrestre.



Fonte: Adaptado de: What Is an Aurora? Disponível em: <<https://spaceplace.nasa.gov/aurora/en/>>. Acesso em 26 de nov. de 2021.

Assim, elas interagem com os gases de nossa atmosfera que, como resultado, ocorre a emissão das luzes no céu, que são conhecidas como as Auroras Boreais. As colorações verde e vermelho é resultado das interações com o gás oxigênio e o azul e roxo, interações com o gás nitrogênio. Esses fenômenos são denominadas auroras boreais e ocorrem aqui na Terra, como nos demais planetas do sistema solar que possuem atmosfera. São visíveis nas regiões próximas aos Polos Geográficos Norte e Sul da Terra e demais planetas.

Figura 42 – Aurora boreal vista de uma estação espacial, na atmosfera da Terra.



Fonte: Auroral beads seen from the International Space Station on Sept. 17, 2011. NASA studies aurora as they are visible markers of space weather processes around Earth. Credits: NASA. Disponível em: <<https://www.nasa.gov/aurora>>. Acesso em 26 de nov. de 2021.

3 Referencial Teórico

Na presente seção, iremos apresentar o referencial utilizado neste trabalho no qual auxiliou na construção e desenvolvimento das pranchas, a sequência didática (SD) e o lúdico. Essa seção foi fundamental para a estruturação do produto educacional, facilitando a construção das pranchas e dos conteúdos trabalhados com os alunos do ensino médio.

3.1 Sequência Didática

A Sequência didática (SD) é a organização das atividades de ensino em função de núcleos temáticos e procedimentais (ARAÚJO, 2013). Discorre que toda ação docente deve possuir uma organização metodológica antes de sua execução e, nas palavras de DOLZ e NOVERRAZ (2004), autores nos quais divulgaram e publicaram trabalhos tornando o conceito de SD popularizado, a partir do ensino dos gêneros escritos e orais:

[...] sequência didática é um conjunto de atividades escolares organizadas, de maneira sistemática, em torno de um gênero textual oral ou escrito, [...] com a finalidade de ajudar o aluno a dominar melhor um gênero de texto, permitindo-lhe, assim, escrever ou falar de maneira mais adequada numa dada situação de comunicação (DOLZ; NOVERRAZ, 2004, p.97).

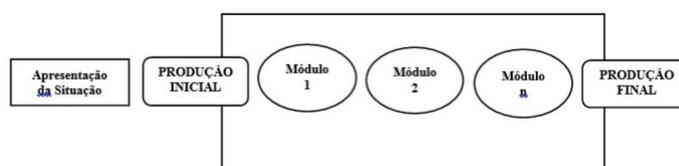
Assim, uma SD busca promover a mudança e promoção dos alunos (DOLZ; NOVERRAZ, 2004) na discussão e desenvolvimento dos tópicos de determinadas disciplinas. Portanto, uma SD, segundo esses autores, possui uma estrutura:

- Seção de abertura: apresentação e descrição das atividades iniciais que os alunos deverão produzir, seja ela de forma oral, escrita ou até mesmo uma diagnóstica, de forma que seja possível o professor avaliar as capacidades já adquiridas (ARAÚJO, 2013) pelos estudantes. Assim, o professor pode ajustar as futuras atividades e exercícios de maneira que atende às necessidades e dificuldades reais da turma (ARAÚJO, 2013);
- Módulos / Oficinas: após uma avaliação inicial, a sequência pode ser desenvolvida a partir de várias atividades progressivas, que fica a cargo do professor regente como desenvolvê-las e a quantidade também, que varia conforme a temática da SD e com o conhecimento prévio que os alunos já tem sobre o mesmo (ARAÚJO, 2013). Essa etapa permite aos alunos apreenderem as características das temáticas (ARAÚJO, 2013).

- Produção final: momento no qual os alunos coloquem em prática os conhecimentos adquiridos (ARAÚJO, 2013). Com isso é possível o professor avaliar se houve progresso durante a aplicação da SD, que serve também, como uma avaliação somativa.

Há um modelo dos autores referenciados, em um diagrama esquemático, que está mostrado na Figura 43:

Figura 43 – Representação do modelo descrito acima dos autores citados, a partir de um diagrama.



Fonte: (ARAÚJO, 2013)

Apesar das discussões dos autores serem voltadas a uma SD de gêneros textuais nas modalidades de oral e escrita, eles frisam que a organização dos conteúdos a serem discutidos e desenvolvidos nessa metodologia, não devem ser exclusivamente voltados ao ensino da língua portuguesa e sim para todas as outras disciplinas.

No trabalho de Ugalde e Roweder (2020), no qual ele faz uma apresentação de produtos educacionais já validados, tanto de Mestrados Nacionais ou artigos publicados, que se utilizaram como estratégia de ensino as sequências didáticas, ele apresenta alguns autores que discorrem sobre a temática. Baseando-se na definição e discussão do que seja uma SD do autor Antoni Zabala Zabala (2015), nas palavras de Ugalde e Roweder (2020) “[...] toda prática pedagógica requer uma organização metodológica antes de sua execução”.

Portanto, uma SD deve possuir uma organização, de forma a seguir uma sequência bem elaborada e um objetivo educacional bem definido, sendo este conhecido tanto pelo professor como pelos alunos (UGALDE; ROWEDER, 2020). Além disso, Zabala (2015) descreve uma SD em quatro fases de aplicação, que segundo Ugalde e Roweder (2020) são:

- Comunicação da lição;
- Estudo individual do conteúdo;
- Repetição do conteúdo;
- Avaliação do professor.

Além disso, a SD possui como objetivo, segundo Ugalde e Roweder (2020)

[...] introduzir nas diferentes formas de intervenção aquelas atividades que possibilitem uma melhora de nossa atuação nas aulas, como resultado de um conhecimento mais profundo das variáveis que intervêm e do papel que cada uma delas tem no processo de aprendizagem dos meninos e meninas.

Um outro detalhe são as interações que ocorrem na aplicação das sequências didáticas, tanto professor com aluno quanto aluno com aluno. Deve-se observar como as temáticas da SD influenciam no comportamento dos alunos e em seus desenvolvimentos. Assim, a SD deve possuir um planejamento bem organizado e definido para que sua aplicação e desenvolvimento tenha êxito.

3.2 Ludicidade

Levando em conta a pandemia e o ensino remoto, o produto educacional desenvolvido possui como perspectiva principal a ludicidade. O termo “lúdico” sempre aparece relacionado a jogos, brincadeiras ou ao que promove o divertimento (BARBOSA, 2018). Portanto, atividades lúdicas englobam jogos, brinquedos, brincadeiras, desenhos e entre outros e tem como foco o prazer e a diversão (BARBOSA, 2018). Através delas, segundo Modesto e Rubio (2014):

[...] há o desenvolvimento das competências de aprender a ser, aprender a conviver, aprender a conhecer e aprender a fazer; desenvolvendo o companheirismo; aprendendo a aceitar as perdas, testar hipóteses, explorar sua espontaneidade criativa, possibilitando o exercício de concentração, atenção e socialização.

Pelas experiências já aplicadas e desenvolvidas, observa-se que os alunos demonstram mais interesse quando uma atividade lúdica está presente (BEZERRA; ARAÚJO; JÚNIOR, 2017). Alguns autores já verificaram o uso, por exemplo, de história em quadrinhos no ensino de física, tais como: PENA (2003), Lorençon (2019) e Caruso e Freitas (2009). Um outro exemplo é a utilização de palavras cruzadas, que também já foram evidenciados por: Vasconcelos (2018) e Olivares et al. (2008). Além disso, segundo Olivares

et al. (2008) as palavras cruzadas despertam habilidades que aperfeiçoam as capacidades necessárias à autonomia.

O lúdico trabalha com material concreto, sendo eles jogos ou desenhos, de maneira que o aluno possa manuseá-lo, refletir ou organizar e reorganizar (MODESTO; RUBIO, 2014). Um material lúdico tem de ser prazeroso, pois assim é capaz de entreter um indivíduo de forma total, criando entusiasmo (MODESTO; RUBIO, 2014). Assim, podemos dizer que toda atividade desenvolvida com uma perspectiva de ludicidade, sendo ela uma atividade lúdicas, são atividades prazerosas mais abrangentes (CAVALCANTI, 2011) sendo elas em formato de jogos, vídeos, música, simuladores computacionais, experimentos e qualquer atividade que gere divertimento e prazer (CAVALCANTI, 2011) Com isso, o processo de aprendizagem acontece de forma mais fluida e entusiástica, visto que o estudante não está sendo, mesmo que imperceptível, obrigado a estudar um determinado assunto. Quando o material apresenta uma ludicidade de qualidade, há um melhor envolvimento do aluno.

4 Metodologia

Como o trabalho se deparou com uma situação atípica de pandemia, o desenvolvimento do trabalho levou em consideração o isolamento social e o ensino remoto. Além disso, a estrutura das escolas, o acesso precário, e até mesmo o não acesso, à internet e meios tecnológicos que possibilitam o ensino remoto dos estudantes, foi algo considerável. Outro fator levado em conta é a autonomia que o estudante teve de criar, de forma a ele ser inteiramente responsável por seu processo de aprendizagem, tendo de se disciplinar e criar uma rotina de estudos por conta própria.

Então, tais elementos surgiram como motivador, pois o trabalho teve de ser acessível, de linguagem clara e direta e que possuía em sua estrutura um material lúdico e que atente a curiosidade do estudante. Também tem de ser diferente do que já há proposto, em diversos livros didáticos em que eles possuem contato, sendo assim um material que possibilite o desenvolvimento dos temas de física. Por fim, o material também foi desenvolvido de forma que seja aplicado e utilizado no ensino presencial, como um material complementar, de apoio ou até mesmo como o material principal de aula.

O termo “prancha” foi escolhido para substituir e não criar vínculos com outras nomenclaturas formais já estabelecidas do ensino formal, isso com o intuito de não tornar o estudo do material obrigatório ou como alguma atividade ou avaliação valendo ponto. Portanto, o material desenvolvido é para causar um “estranhamento” no aluno e aguçar sua curiosidade para manipular o material e o investigar.

Toda a criação e diagramação das pranchas visa escapar do lugar comum dos livros e apostilas convencionais, a fim de estimular a imaginação do aluno através da surpresa, por ser um material diferente do que eles estão acostumados.

Nas pranchas há pequenos desenhos nos vértices das folhas, de maneira que o aluno precisa interligar as páginas e montar uma espécie de quebra-cabeça e entender a sequência delas antes de utilizá-las para estudo. As pranchas seguem uma sequência, até uma página final, no qual todas elas formam um conjunto, que representam um tópico de física em específico. Então, essa montagem da sequência das pranchas será realizada conforme planejamento do professor regente. No presente trabalho, foram desenvolvidas cinco conjuntos de pranchas, no qual cada uma representa uma temática da física do segundo ano do ensino médio:

- Calor;
- Cores e Ótica;
- Espectro Eletromagnético;
- Ondulatória;
- Temperatura;

Foram escolhidos tópicos de física do segundo ano, devido eles possuírem maiores relações com temáticas básicas de física solar. Também foi desenvolvido dois conjuntos de pranchas complementares, de forma a discutir com maiores detalhes alguns tópicos caso o estudante sinta dificuldade ou o professor regente sinta a necessidade de maiores discussões. São eles:

- Análise Dimensional;
- Grandezas e Unidades.

Como as pranchas dialogam entre si, através dos ícones inferiores das páginas, quando surgir essas discussões mais detalhadas e com mais informações, ela faz a chamada para a prancha do outro conjunto em específico.

Portanto, dentro de todo esse quebra cabeça há uma prancha centralizada, maior, que discute algumas características do Sol, que tem relação direta com as temáticas das pranchas e com os tópicos de física a serem desenvolvidos na escola, segundo documentos oficiais. Assim, o estudante ficará de frente com várias pranchas dispostas aleatoriamente, sendo desafiado a se organizar e buscar a sequência correta de cada conjunto, dentro do seu próprio ritmo. Em cada prancha, se discute as temáticas de física com figuras, textos curtos (de no máximo 4 linhas), letras grandes e relações diretas, através de diagramas, de temas de física solar ou astronomia, com seu cotidiano. Há questões motivadoras ao longo das pranchas, de forma que o estudante sinta a necessidade de continuar a leitura da prancha. Também há a presença de caça palavras, cruzadinhas e histórias em quadrinhos em todo o material. Com isso espera-se tornar o uso das pranchas fluido, lúdico e não cansativo.

O uso de desenhos e jogos, é feito de modo a complementar os conceitos e estimular o estudante a continuar o estudo da prancha. Os formatos das páginas alternam num padrão de paisagem ou retrato de maneira a se encaixar melhor no conteúdo da página da prancha e romper com a monotonia da página convencional. As pranchas, foram diagramadas no software gratuito Libreoffice Writer e nos softwares Microsoft Office Power Point e Word, utilizando um repertório de imagens preferencialmente de domínio público ou de própria autoria.

Portanto, todo o desenvolvimento e planejamento do material buscou:

O uso alternado destes e outros recursos tiveram a expectativa de remeter às atividades lúdicas e, deste modo, buscar suavizar as tarefas destinadas ao aluno durante a vigência do ensino remoto. Toda a estratégia de ensino aplicada nas pranchas pretendeu possibilitar ao estudante desenvolver um processo de aprendizagem autônomo e a apropriação dos conceitos físicos apresentados e discutidos. (GARCIA; SOLTAU, 2021, p.2)

5 Relato da aplicação

A aplicação do material didático foi realizada com alunos do segundo ano do ensino médio das escolas:

- Escola Estadual Judith Vianna, do distrito de Barranco Alto que se encontra na zona rural do município de Alfenas, Minas Gerais;
- Escola Estadual Clóvis Salgado que se encontra na zona urbana do município de São Sebastião do Paraíso, Minas Gerais;
- Escola Cooperativa Gralha Azul, escola particular, que se encontra na zona urbana do município de Lavras, Minas Gerais
- Escola Estadual Godofredo Rangel que se encontra na zona urbana do município de Três Corações.

Essa aplicação teve dois momentos distintos devido a pandemia da COVID-19: remoto e presencial. As sessões seguintes descrevem essas aplicações nos diferentes contextos:

5.1 Remoto

Com o ensino remoto, provocado pela pandemia da COVID-19, o planejamento escolar foi desenvolvido pela secretaria estadual, sendo nós professores regentes da aplicação deste. Portanto, a aplicação desse material didático foi feita de maneira a convidar os alunos a estudarem um material complementar. Os que o fizeram, foram de forma voluntária visto que não contabilizava presença e nem pontuação para o período letivo.

Portanto, o contato com os estudantes foi feito, mais notoriamente, através de aplicativos de mensagens. Houve alguns encontros esporádicos pelo *Google Meet* e pelo ambiente virtual *Google Classroom*. Assim, as pranchas foram enviadas em formato de arquivo digital, do tipo pdf, para eles, no qual era solicitado a leitura do material e resolução das atividades e problemas ao longo dele, em uma folha separada, e que no final, redigir à mão um pequeno trecho avaliando o material. Com tudo isso finalizado, que tirassem uma foto de suas respostas e do trecho escrito e que enviasse para o professor regente.

A aplicação das pranchas na escola particular, possuía como regente de turma um outro professor. Ele ofereceu de maneira voluntaria as turmas e encaixou o conjunto de

pranchas, com a temática de ondulatória, em seu planejamento. Como a escola é pequena e possui um quantitativo de alunos reduzido, foi possível aplicar o conjunto de pranchas com alunos do primeiro e segundo ano. Enquanto que em uma escola pública urbana há uma média de 40 alunos por sala, na escola citada a maior turma havia 6 alunos. Com isso, surgiu a discussão de como os estudantes do primeiro ano iriam se comportar diante de temas do segundo ano. Mas não se criou empecilho algum, tanto por parte do aplicador como por parte do professor regente, visto que o material didático desenvolvido não possui pré-requisito. Nessa aplicação, há as críticas da professora regente que enriqueceram muito o desenvolvimento das pranchas sucessoras e as futuras aplicações.

O relato a seguir segue uma cronologia, seguindo a ordem das escolas citadas acima, e o conjunto de pranchas aplicado, foi a que possui como temática a ondulatória, visto que foi a primeira a ser desenvolvida. Além disso, o relato mostra o desenvolvimento, tanto da aplicação por parte do professor, como discussão e revisão para as próximas pranchas a serem desenvolvidas, a partir das devolutivas dos estudantes. A gramática dos relatos que serão citados ao longo dessa sessão, não sofreu modificação, respeitando a escrita e fala dos estudantes.

Como já descrito, o papel do professor na aplicação do material didático é auxiliar o estudante, sanar suas dúvidas quando ocorrerem e discutir as respostas que o mesmo redigiu, de forma a apresentar maiores detalhes e formalizar o conhecimento. Portanto, em todas as aplicações realizadas o professor esteve presente auxiliando e tirando dúvidas, caso surgissem. E após a realização das atividades, o professor formalizava os conceitos e algumas discussões que sentia necessidade em fazê-las.

Assim, na aplicação com os estudantes da zona rural, no primeiro momento a percepção que se teve, foi a afinidade dos estudantes com a relação da temática de astronomia com os tópicos de física estudados. Uma outra discussão que surgiu é a diagramação das equações, visto que são discutidas e desenvolvidas passo a passo, o que facilitou o entendimento delas. Porém, mesmo que isso tenha facilitado o entendimento, no momento de aplicação para resolução de algum exercício ou problema, o estudante apresentava dificuldades, tanto algebricamente como em identificar os termos dela. Um exemplo de relato de um estudante:

“Eu revisei o texto e as perguntas. A primeira parte sobre o calor e cometa, tá bom deu pra entender bastante só achei q tinha q falar mas um pouco sobre o calor e as perguntas estão boas . A segunda parte q é das ondas o texto está bem explicado, as fórmulas estão ajudando bastante pra responder as perguntas. No caso das questões eu não entendi MT bem algumas ,mas eu acho q é pq não consegui interpretar bem ,pq as vezes me confundo onde tenho q colocar na fórmula.”

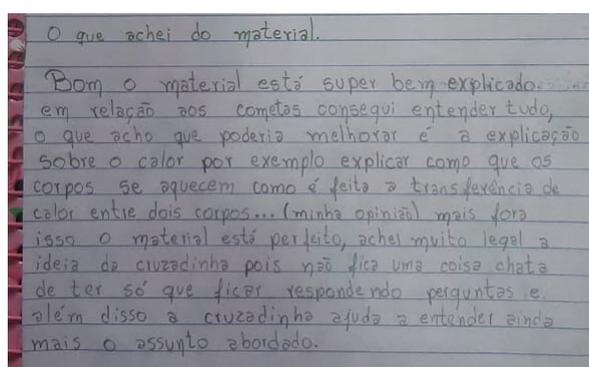
Na escola pública urbana, os resultados obtidos foram análogos aos da aplicação

na zona rural. A mesa sugestão acerca do tema calor, que é desenvolver melhor e criar uma discussão mais profunda também foi feita. Porém, citaram bastante a ludicidade do material e os pequenos trechos que apresentavam curiosidades, discutindo que os auxiliaram bastante e que se sentiram confortáveis em responder e desenvolver suas respostas ao longo do material. Mesmo sem solicitar alguns estudantes fizeram uma sugestão, que é a adição de exemplos no material, como forma de entender melhor o desenvolvimento algébrico das equações, pois houve as mesmas dificuldades acerca das manipulações algébricas. Segue exemplo de um relato de um estudante dessa escola:

“Eu fiz as atividades e li tudo, adorei. Ficou muito bem feito e preparado, adorei as imagens, ficou muito bom as curiosidades q vc colocou, a explicação está simples d entender Ent ajuda mto. As primeiras 4 atividades estão bem práticas e fáceis até pq está no texto. A cruzadinha parece fácil mas me fez pensar bastante kkkkkk mto legal isso pq além d divertido, ensina né. Amei o plano cartesiano. A explicação das fórmulas estão mto top, e achei interessante q vc numerou as fórmulas e isso facilitou muuito. Na minha opinião, seria legal se tivesse um exercício como exemplo, resolvido usando uma das fórmulas. Demorei pra entender um pouquinho como funciona na hora d fazer as contas e tals, por isso. Mas estão bem fáceis os últimos exercícios e ajuda a entender bastante o conteúdo. Não tenho críticas pq ficou muito bom.”

Abaixo temos a imagem em que há o relato de experiência de manuseio do material de um estudante:

Figura 44 – Respostas das atividades ao longo do conjunto de pranchas de um estudante da zona urbana.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Desse relato, segue o seguinte texto transcrito da imagem:

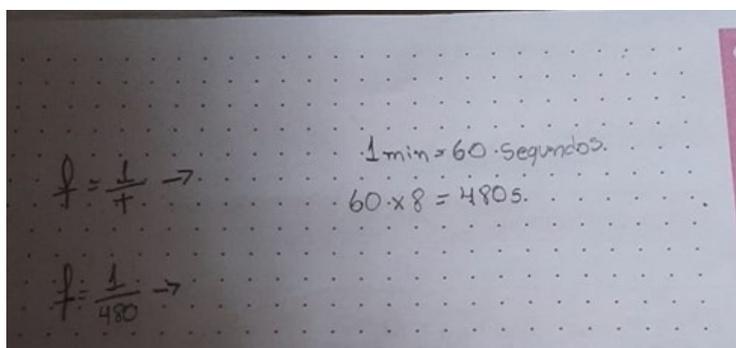
“O que achei do material.

Bom o material está super bem explicado. Em relação aos cometas conseguir entender tudo, o que acho que poderia melhorar é a explicação sobre o calor por exemplo explicar como que os corpos se aquecem como é feita a transferência de calor entre dois corpos...

(minha opinião) mais fora isso o material está perfeito, achei muito legal a ideia da cruzadinha pois não fica uma coisa chata de ter só que ficar respondendo perguntas e além disso a cruzadinha ajuda a entender ainda mais o assunto abordado.”

Alguns relatos mostrando as dificuldades dos estudantes em desenvolver as manipulações algébricas:

Figura 45 – Estudante com dúvidas na resolução de uma atividade.

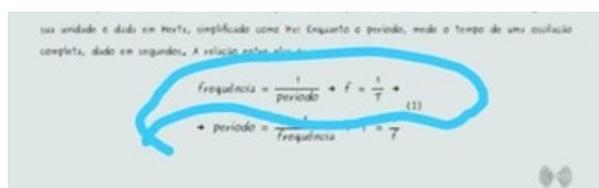


Fonte: Elaborado pelo autor.

O estudante estava com dúvidas quanto a forma que desenvolveu a equação para encontrar o valor da frequência e assim, enviou uma foto com os cálculos que realizou. Um outro relato com a mesma dificuldade:

“Bruno eu tava respondendo às questões. Daí chegou nas de contas deu um bug no cérebro kkkk... Não Tô sabendo qual conta exatamente usa”.

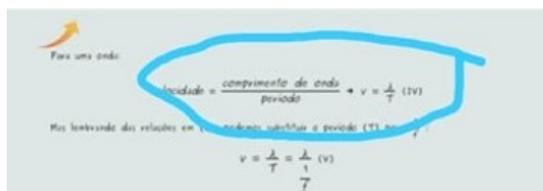
Figura 46 – Estudante mostrando dificuldade em manipular a equação na resolução do problema.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse *print* que o estudante enviou, destacou a relação de frequência e período, de forma a salientar sua dúvida quanto à sua utilização nos exercícios da respectiva prancha. Outra discussão do mesmo estudante:

Figura 47 – Estudante com dúvidas quanto a qual equação utilizar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Aqui, destacou a equação da velocidade de uma onda, em que não sabia como usar as variáveis e calcular a velocidade, nos exercícios da respectiva prancha.

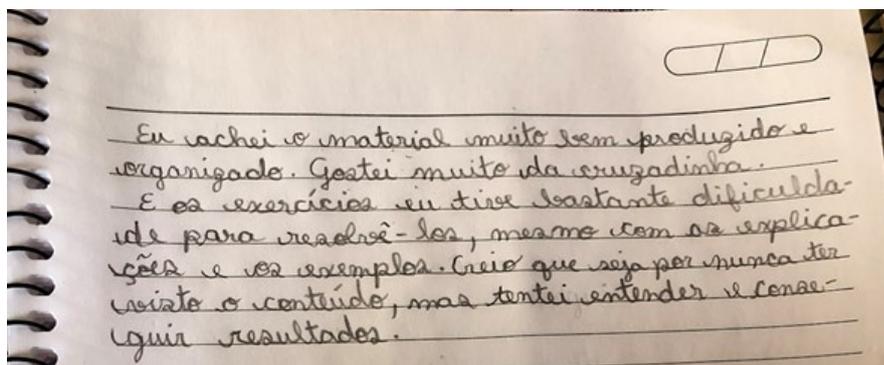
O mesmo estudante, fez um comentário final após ter a dúvida sanada e realizado o exercício:

“As outras perguntas pra mim foram fáceis mais matemática nunca foi meu forte não kk”

Visto as constante dificuldades que os estudantes apresentaram no desenvolvimento das manipulações algébricas, foi desenvolvido um conjunto de pranchas com a temática de análise dimensional, para que quando surgir essa dificuldade por parte do estudante, ele as utilize como forma de auxiliá-lo. Também foi desenvolvido um outro conjunto de pranchas com a temática de notação científica, com o intuito de também auxiliar o estudante quando a dificuldade aparecer nas manipulações algébricas, envolvendo números decimais ou números muito grandes. Além disso, a temática de análise dimensional foi escolhida como forma também de complementar as discussões, visto que nas diversas pranchas há a leitura do comportamento das unidades na manipulação algébrica. E a de notação científica foi desenvolvida com o mesmo motivo, visto que nas pranchas há discussões em que aparecem exemplos ou atividades, envolvendo números exponenciais ou decimais. A sugestão de inserir exemplos como forma de auxiliar no desenvolvimento das manipulações algébricas e complementar o material foi acatado. Com isso, nas construções das pranchas posteriores à esta, foi adicionado exemplos no qual há a discussão dos tópicos bem como todo o desenvolvimento, passo a passo, das manipulações algébricas.

Na aplicação da escola particular, as mesmas dificuldades apareceram. Os comentários acerca da relação entre temas do ensino básico de física com temáticas de física solar e astronomia, também foram análogos. A diferença nessa aplicação foram comentários acerca da continuidade e curiosidade de se estudar mais os temas. Alguns estudantes, comentaram que se sentiram curiosos e motivados a estudar e pesquisar as temáticas a partir de outras literaturas, tanto para responder as atividades das pranchas como curiosidade do tema. Além disso, comentaram que a leitura ocorre de maneira fluida, sem causar desgaste. Na Figura 48, temos o comentário de um estudante do primeiro ano que estudo e realizou as atividades da prancha:

Figura 48 – Comentário do estudante do primeiro ano do ensino médio da escola particular, acerca das pranchas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Desse relato, segue o seguinte texto transcrito da imagem:

“Eu achei o material muito bem produzido e organizado. Gostei muito da cruzadinha. E os exercícios eu tive bastante dificuldade para resolvê-los, mesmo com as explicações e os exemplos. Creio que seja por nunca ter visto o conteúdo, mas tentei entender e conseguir resultados”.

Comentário de outro estudante da mesma escola, porém, do segundo ano do ensino médio:

“O material é bem legal e fácil de entender, e é interessante a forma que foi feito dá vontade de ler.”

Um outro comentário:

“Achei um trabalho excelente, possui um conteúdo onde explica sobre o tema de forma adequada e extremamente explicativa, com exemplos e etc, e muito interessante as atividades, não sendo muito puxadas, continuam sendo explicativas sem ser de uma forma maçante.”

Da parte do professor regente houve algumas considerações importantes e interessante. Dentre elas, a discussão sobre a utilização do material, como sendo o material principal do planejamento do professor regente. Segundo ela, o material pode sim ser utilizado como único durante o período letivo, sendo ele de introdução ou conclusão, porém, seguindo um planejamento pré-definido e se as questões burocráticas da escola permitirem:

“Pensa apenas como material complementar? Acredito que possa ser um material de introdução ou até de conclusão.”

Se tratando de uma escola particular, diferente das escolas públicas no qual o professor regente tem liberdade na escolha do material a ser utilizado em seu planejamento, a utilização do material teria de passar por questões burocráticas da escola. Como o material se distancia da padronização dos apostilamentos, de materiais de pré-vestibulares e livros didáticos, o professor regente teria de encaixar o material como complementar, de introdução ou conclusão. Um comentário do professor acerca dessa discussão:

“Talvez o que limite sua utilização seja a limitação burocrática da escola, por conta da padronização do material didático.”

Uma outra discussão realizada pelo professor regente é a objetividade do material, pois é uma ferramenta muito boa mas que se não for bem planejada, pode ser um empecilho. Ao mesmo tempo que os textos são curtos e os objetivos quanto aos tópicos e conteúdos de física a serem discutidos em sala de aula seguem os documentos oficiais, o material se atenta aos conhecimentos específicos dessas temáticas. Porém, deve se ter cautela nas discussões para não simplificar temas importantes ou desenvolver tópicos não relevantes ao objetivo específico da matéria, pois as relações de física solar, astronomia e astrofísica com os tópicos de física do ensino médio, pode enveredar para outros caminhos.

“Evita textos e se torna mais objetivo quanto ao conhecimento físico específico... Porém, ter cuidado para não simplificar demais.”

5.2 Presencial

A aplicação presencial ocorreu no município de Três Corações, na Escola Estadual Godofredo Rangel no mês de novembro de 2021. O conjunto de pranchas utilizado foi o de Cores e Ótica, visto que a temática que estavam estudando no presente momento coincidia com a das pranchas. Como foi o último conjunto de pranchas desenvolvido, utilizando o *feedback* das aplicações das pranchas anteriores e levando em consideração as suas correções e melhorias, seria uma boa oportunidade de vermos de analisar as considerações das aplicações anteriores.

O retorno das aulas presenciais ficaram dependentes do decreto municipal, que, apesar do estado ter decretado o retorno presencial e obrigatório de todos os estudantes, o município possui autonomia em decretar o retorno ou não. Portanto, o retorno das aulas presenciais passou por alguns períodos conturbados pois a escola sofreu com dois surtos de casos da COVID-19, inclusive durante a aplicação do material, dificultando a sua finalização.

Na aplicação, a primeira dificuldade encontrada foi a impressão das pranchas. A presente escola não havia condições para a impressão colorida e elas são feitas em uma

gráfica que possui parceria com o estado. Porém, para realizar a impressão colorida é necessário solicitar com antecedência com a gráfica. Infelizmente, o decreto que determinou o retorno presencial ocorreu instantaneamente e o tempo para essa solicitação não foi possível. E além disso, a mesma gráfica estava imprimindo diariamente e continuamente as apostilas que o estado disponibilizou para o estudo remoto, não sendo possível encaixar em seu cronograma a impressão das pranchas.

Assim, como solução para esse problema, a possível solução é utilizar os arquivos em formato pdf das pranchas com os alunos em sala de aula, pois a maioria dos alunos estavam usando os seus aparelhos celulares em sala de aula para realizar as atividades.

Porém, em minha concepção de professor regente, percebi nesses poucos dias do retorno presencial, que os estudantes estavam necessitados e querendo interação social, ou seja, uma aula com mais discussões sobre os tópicos de física que estão presentes nas apostilas disponibilizadas pelo estado de MG para o ensino remoto. Com isso, a ideia foi usar a sala de vídeo da escola, pois além de possui um espaço adequado para aplicação, no qual o distanciamento é possível, seria possível também colocar a prancha no data show e realizar as discussões e atividades com os estudantes.

Nessa aplicação presencial, foram discutidas as 4 primeiras pranchas e as respostas seriam recolhidas no final da realização das leituras e estudos de todo o conjunto de prancha. Porém, não foi possível seu encerramento por conta de outro surto de COVID-19 na escola.

Então, com as pranchas dispostas pelo data show, íamos lendo os textos das pranchas juntos e, conforme as dúvidas fossem surgindo, iríamos discutindo.

Além disso, era dado um tempo para eles responderem as questões e problemas presentes ao longo das pranchas. Todas as anotações, respostas dos problemas e comentários das pranchas, deveriam ser feitas em uma folha de papel a parte e entregues para o professor posteriormente. A ideia era que em uma aula seria possível finalizar essa aplicação, mas já se preparando para mais aulas, foi dado esse recado aos estudantes.

É importante ressaltar que infelizmente não foi possível finalizar essa aplicação. Primeiro pelo próprio tempo de aula que, mesmo deixando a sala organizada com antecedência e o data show já pronto, não foi suficiente. Segundo que dias após a essa aplicação houve novamente um outro surto de COVID-19 na escola, no qual retornamos para o ensino remoto.

Portanto, tivemos apenas uma aula no qual houve aplicação presencial e mesmo assim, houve discussões e comentários muito interessantes acerca dos tópicos do material e do próprio produto desenvolvido. Nesse encontro, a discussão ocorreu até a prancha que discute sobre dispersão da luz branca.

Na sequência da descrição do relato da aplicação presencial, será detalhada por

Figura 49 – Aplicação presencial do produto, na sala de vídeo da presente escola.



Fonte: Elaborado pelo autor.

cada prancha as discussões e questionamentos realizadas na sala.

5.2.1 1º Prancha

A primeira prancha do conjunto de pranchas com a temática de cores e ótica, inseri o assunto a partir das discussões acerca da coloração verde das folhas dos vegetais. E esse tópico é o elemento motivador para as discussões de absorção e reflexão da luz.

Realizamos a leitura do texto presente na prancha e algumas questões por parte dos alunos surgiram. A primeira discussão foi sobre a coloração que uma luz apresenta e a procedência dessa luz em específico, pois se a folha reflete apenas o verde e absorve as demais, essa luz não possui uma cor apenas. Então, ao responder essas dúvidas dos estudantes, encaminhei a discussão de forma que eles identificassem a luz solar como a responsável pelo fenômeno, pois é ela que ilumina nosso dia a dia. Sem olhar diretamente para o Sol, percebemos que na maior parte do dia, ele nos parece com uma coloração branca. Então, tudo que vemos ao nosso redor durante o dia é um fenômeno de reflexão e absorção da luz solar. E dei alguns exemplos, usando a coloração que suas blusas apresentam, de seus calçados e das cadeiras.

Com isso, pode-se discutir a natureza das cores brancas e pretas. O branco, como perceberam, é a junção, combinação de todas as cores. E o preto é a nula reflexão ou absorção de todas as cores incididas sobre determinado corpo. E no problema proposto na presente prancha, questionando se o branco e o preto pode ser consideradas cores, surgiu a dúvida da definição de uma cor. Respondi a eles que isso iríamos discutir nas pranchas

seguintes e que no momento, era somente para responder com suas palavras o problema.

5.2.2 2º Prancha

Solicitei a um estudante que fizesse a leitura da presente prancha, iríamos discutindo as dúvidas que fossem surgindo e explicaria com maiores detalhes. Ao terminar a leitura do texto do quadro no qual discute sobre a luz branca do Sol, enfatizei aos estudantes que a atmosfera terrestre interfere diretamente na radiação solar, devido as inúmeras partículas presentes, tais como: oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e entre outros. Expliquei que a luz visível que o Sol emite é realmente da cor branca, mas que isso só é verdade no vácuo do espaço, que ao entrar na Terra, ela não é exclusivamente branca. Também destaquei que o Sol é uma estrela e que em seu interior ocorre processos termonuclear, e que a radiação emitida por ela é composta também de vários tipos de energia, além da luz que visualizamos, tais como: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, ultravioleta, raios x e entre outros, mas que essas não visualizamos.

Com isso, um estudante questionou o motivo de vermos apenas essa “luz” e discuti com eles que isso é proveniente de um processo biológico ao longo dos anos que o ser humano desenvolveu. A forma como a espécie se desenvolveu não se criou uma necessidade de visualizar mais do que a luz visível. E dei como exemplo as cobras, no qual é uma espécie que diferentemente do ser humano, se desenvolveu em um ambiente diferente e necessitou de características diferentes de nós. Elas se orientam pelo infravermelho, pelo calor que um corpo emite, sendo que a luz visível para elas não é uma orientação. Com isso eles citaram os óculos de visão infravermelha, que se orienta através do calor dos corpos.

Na continuação da leitura do texto, no qual discute a luz visível da radiação solar como a junção das cores azul, verde e vermelho e que toda a luz que nos ilumina, é uma variação da mistura das três. Portanto, o amarelo é a combinação do verde com vermelho e todas as variações do amarelo até o laranja, é uma combinação da intensidade das cores verde e vermelho. E a discussão se volta ao gráfico de Brilho \times Frequência, no qual nos mostra a relação entre o brilho da luz visível da radiação solar e a frequência. Portanto, questionei à eles o que indica a curva no gráfico ter um ponto mais alto e eles me responderam que indica um valor maior. E retornei a questão, que valor é esse maior que apresenta e não obtive resposta. De maneira a instruí-los na resposta correta, fui no gráfico e retornei a discussão, qual dados a curva nos dava e os questionei. E após um silêncio, um estudante respondeu que o gráfico nos dava valores da frequência e do brilho. Aproveitei a resposta do estudante e voltei novamente a atenção à curva do gráfico. Apontei para o ponto mais alto da curva e voltei a questão feita anteriormente e os estudantes identificaram que naquele ponto específico, o valor do brilho, no eixo y era o mais elevado.

Com isso, não respondendo, deixei uma questão para discussão, se isso tem alguma

relação com as cores verdes que as plantas apresentam. Alguns estudantes citaram o processo de fotossíntese das plantas, no qual elas usam a luz do Sol para produzir oxigênio e como o verde é o brilho máximo, deve ser melhor. Houve a discussão também se o brilho máximo do Sol fosse no vermelho, as plantas seriam vermelhas.

Uma estudante questionou sobre as cores das estrelas, sendo que algumas nos parecem azuis, outras amarelas e vermelhas. Discuti com eles que a cor que uma estrela apresenta tem relação com sua temperatura, sendo as azuis mais quentes que as amarelas e vermelhas. Aproveitei essa discussão para discutir a relação entre cor e temperatura, e dei como exemplo as nomeações de cores quentes e frias, dadas as variações das cores vermelhas e azuis, respectivamente. Que apesar do azul no remeter a água e dar impressão de ser “frio”, é mais quente que o vermelho. Com o gráfico exposto, expliquei que devido as cores mais próximas do azul terem maiores frequências, elas possuem maior temperatura. E que as com menores frequências possuem menores temperaturas, ou seja, o azul possui uma temperatura maior que o vermelho.

5.2.3 3º Prancha

Passando para a próxima prancha, realizando a leitura sobre a mistura das cores primárias e suas variações, surgiu a dúvida de uma estudante sobre luzes coloridas. Ela apresentou dificuldade em identificar uma luz colorida, por exemplo, uma luz vermelha. Dei o exemplo para ela dos holofotes utilizados em grandes eventos ou apresentações, que se utilizam de luzes coloridas. Há luzes vermelhas, luzes azuis, verdes e entre outras, e com isso ela identificou.

Na continuação, o texto da prancha enfatiza a diferença das cores de uma luz para as cores que uma tinta apresenta. E dei como exemplo o uso da tinta guache, que ao misturar tintas das cores verde e vermelha não obtemos o amarelo, e sim, uma coloração mais próxima do marrom. E discuti com eles, que as tintas utilizam uma tecnologia no qual possuem substâncias, denominadas pigmentos, no qual refletem uma cor específico. Assim, uma tinta amarela, por exemplo, possui pigmentos no qual ao incidir uma luz branca nela, absorve as demais e reflete apenas o amarelo.

Nessa mesma discussão, questionei os estudantes com um contra exemplo: se incidirmos uma luz vermelha em uma tinta amarela, qual a cor que elas nos parecerá. Responderam que não refletiria nada e perguntei a eles, que cor o “refletir nada” nos parece e disseram que é o preto.

5.2.4 4º Prancha

Na sequência, realizamos a leitura do texto da prancha e nele define as discussões realizadas na prancha anterior. Além disso, há a definição da cor preta que também já foi

discutida.

As discussões dessa prancha se voltam ao problema proposto, no qual a questão se volta a cor azul do céu e o preto de noite. Com as discussões realizadas até o momento, questionei a eles o motivo do céu ser azul e alguns responderam que ele reflete o azul e absorve os demais. Com isso, questionei o que é esse céu, do que ele é feito, pois se está refletindo ele tem uma composição material. E houve um breve silêncio, no qual interrompi ao perguntar o que tem no céu e os estudantes responderam que há oxigênio e partículas. Assim, pedi que respondessem a questão, não dando a resposta. E sobre o céu noturno, ao ser questionados, disseram que o motivo é não ter a presença do Sol, sendo que se não há luz, não nada e o preto nos parece.

Uma estudante questionou sobre as cores brancas da nuvem. E com o intuito de instigar sua análise crítica, questionei de volta o que é a cor branca e do que a nuvem é feita. Ela respondeu que é a combinação de todas as cores e que a nuvem é vapor de água. E então, as partículas presentes numa nuvem refletem tudo que incide sobre ela. Ela aproveitou a discussão e questionou novamente sobre as nuvens pretas de tempestades e de maneira análoga, questionei de volta a composição dessas nuvens de tempestades e o que uma cor escura é. Ela respondeu que está carregada com muita água e o preto é como se não refletisse nada. Ela não conseguiu formular sua resposta corretamente, então discuti com ela que aquela cor preta é a grande quantidade de água que a nuvem apresenta e ela absorve toda a luz solar.

6 Conclusão

Considerando a aplicação do material didático, que foi realizada em ensino remoto, sem contato físico com os estudantes, e que o público foi diverso, desde alunos da zona rural até alunos de escola particular da zona urbana, há respostas e considerações interessantes a se fazer. Além disso, há considerações importantes a se fazer quanto à aplicação presencial de um parte do conjunto de pranchas de cores e ótica, que ocorreu com alunos de escola pública.

A primeira delas é o contexto de aplicação e desenvolvimento do material: a pandemia e o ensino remoto. Não há material como base e referência para tal, o que surgiu como desafio e inovação no desenvolvimento do presente trabalho. Além disso, outro ponto motivador foi a característica do material desenvolvido ser o mais acessível possível, desde as regiões do interior e mais isoladas do Brasil, visto que muitos alunos e até mesmo professores, não possuem meios tecnológicos para participar de aulas e encontros online, até os demais países de língua portuguesa. Dentro dessa mesma perspectiva, surgiu o desafio de criar um material que atraia o aluno com uma temática inovadora de física solar que atenda essas exigências. Portanto, criou - se um material lúdico com o objetivo de atrair, aguçar a curiosidade e que o estudante seja capaz de ser autônomo no seu processo de aprendizagem.

Nas aplicações, percebeu-se êxito no quesito de atrair a atenção do estudante a partir da temática de física solar, visto que a grande maioria realizou as atividades lúdicas e responderam os problemas a partir da releitura do material e não sentiram exaustão no estudo dos textos dos materiais. Inclusive alguns estudantes relataram procurar ou pesquisar literaturas externas para aprofundar sobre o assunto mostrando interesse pelos temas. Os pequenos trechos que apresentavam curiosidades acerca das temáticas e a ludicidade do material foi destacada em quase todas as devolutivas dos estudantes, o que reforça suas utilizações em todos o material didático e em futuras pranchas.

Na aplicação presencial, ficou evidente que o material coloca o estudante em uma posição de reflexão e de estranhamento, visto as discussões propostas do material das pranchas, os problemas e questões. Nas conversas e debates em sala de aula, toda turma participou e questionou acerca dos tópicos apresentados no texto, e concomitante aos problemas e questões, os estudantes ficaram em uma situação desconfortável, pois a resposta teria de ser elaborada por eles mesmos. Isso fez com que refletissem sobre o que estudaram e leram, e que dissertassem sobre isso em uma forma de resposta aos problemas. Portanto, isso reforça o objetivo do produto em ser um material que chama a atenção do estudante e que o tire da zona de conforto, no qual ele próprio tem de construir e

desenvolver seu processo de aprendizagem.

Com relação às manipulações algébricas, as dificuldades foram análogas para todos os públicos. Conforme respostas e discussões realizadas nos aplicativos de mensagens, percebeu-se dificuldades nas manipulações algébricas e identificar a locação das grandezas. A partir das experiências profissionais de discência do dia a dia, isso era esperado e, portanto, no desenvolvimento do material, isso foi levado em consideração. Porém, a expectativa de que os estudantes apresentassem entendimento e desenvolvessem com maior fluidez as manipulações algébricas, não foi alcançada. Com essas respostas, buscou a construção e desenvolvimento de outros conjuntos de pranchas que trabalhassem essas dificuldades. É necessário uma aplicação desse conjunto para avaliar se tal expectativa irá se cumprir.

Como tínhamos um público de zona rural, que possui maior dificuldade em se manter contato, foi possível perceber também que o objetivo do estudante se tornar autônomo de seu processo de aprendizagem foi alcançado pela maioria, sendo poucas vezes a necessidade de intervenção do professor regente. O mesmo se percebeu para os estudantes da zona urbana. Apesar desse fator ser mais levado em consideração por conta do ensino remoto, acreditamos que esse objetivo pode ser alcançado também no ensino presencial, visto que o estudante terá que ler e estudar o material para resolver as atividades e problemas das pranchas, por conta própria, tendo a presença do professor apenas para sanar dúvidas e formalizar os conceitos, de maneira análoga ao ensino remoto.

Por fim, o material apresentou grande potencial em desenvolver a autonomia do estudante em seu processo de aprendizagem, além de demonstrar que é de fácil acesso e leitura para qualquer público. Nas dificuldades acerca das manipulações algébricas, a partir das devolutivas e respostas dos estudantes, buscou a construção e desenvolvimento de outros conjuntos de pranchas que trabalhassem essas dificuldades. É necessário uma aplicação desse conjunto para avaliar se tal expectativa irá se cumprir.

Referências

- ALONSO, M.; FINN, E. J. *Física: Um curso universitário-Campos e ondas*. [S.l.]: Editora Blucher, 2018. v. 2.
- ALSOP, M. W. S. High school students understanding of radiation and environment: Can museums play a role? Canadá, p. 132–138, 2000.
- ARAÚJO, D. L. de. O que é (e como faz) sequência didática? *Entrepalavras*, v. 3, n. 1, p. 322–334, 2013.
- AROCA, S. C. *Ensino de física solar em um espaço não formal de educação*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2009.
- AROCA, S. C.; JR, P. D. C.; SILVA, C. C. Tópicos de física solar no ensino médio: Análise de um curso com atividades práticas no observatório dietrich schiel. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, n. 14, p. 7–25, 2012.
- BARBOSA, A. R. Atividades lúdicas no ensino de física: desafios e possibilidades para a eja. 2018.
- BEZERRA, I. M. S.; ARAÚJO, I. M. S.; JÚNIOR, E. S. B. O universo lúdico no contexto da sala de aula. *IV CONEDU: Congresso Nacional de Educação*, 2017.
- BHATNAGAR, A.; LIVINGSTON, W. C. *Fundamentals of solar astronomy*. [S.l.]: World Scientific, 2005. v. 6.
- BUTCHER, G. *Mysteries of the Sun*. 2021. Acessado em: 19 nov. 2021. Disponível em: <<https://science.nasa.gov/heliophysics/mysteries-of-the-sun>>.
- CARUSO, F.; FREITAS, N. de. Física moderna no ensino médio: o espaço-tempo de einstein em tirinhas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 26, n. 2, p. 355–366, 2009.
- CAVALCANTI, E. L. D. *O lúdico e a avaliação da aprendizagem: possibilidades para o ensino e a aprendizagem de química. 2011. 171 f.* Tese (Doutorado) — Tese (Doutorado em Química), Instituto de Química, Universidade Federal de . . . , 2011.
- CORREIA, J. J. Definições de temperatura em fontes didáticas. *Revista Binacional Brasil-Argentina*, v. 6, n. 1, p. 201–220, 2017.
- COSTA, E. C. d. Física industrial-termodinâmica-parte i. *Tomo I. Porto Alegre: Globo*, 1971.
- CUNHA, A. K.; CRUZ, J. A. S. Inclusão pedagógico cultural: daltonismo e o ensino de cores na educação infantil. *Revista on line de Política e Gestão Educacional*, p. 729–739, 2016.
- DOLZ, J.; NOVERRAZ, M. Sequências didáticas para o oral e para o escrito: apresentação de um procedimento. in.: Schneuwly, b.; dolz, j. *Gêneros orais e escritos na escola*, p. 95–128, 2004.

- EISBERG, R. *Física Quântica*. 29^a reimpressão. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979.
- FASSARELLA, L. Lei de snell generalizada. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 29, p. 215–224, 2007.
- FILHO, K. d. S. O.; SARAIVA, M. d. F. O. *Astronomia e astrofísica*. São Paulo: Editora Livraria da Física, v. 780, 2004.
- GARCIA, B. F. *Discutindo conceitos de física moderna com os estudantes dos períodos iniciais do curso de licenciatura em física da UFLA*. 2019. Monografia de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Lavras, Instituto de Ciências Exatas.
- GARCIA, B. F.; SOLTAU, S. B. Física solar: uma experiência de ensino remoto durante a pandemia. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 3, p. e49910313495–e49910313495, 2021.
- GOETHE, J. W. v. *Doutrina das cores*. [S.l.]: Editora Nova Alexandria, 2018.
- HARRISON, E. *Cosmology: the science of the universe*. [S.l.]: American Association of Physics Teachers, 2001.
- HATHAWAY, D. *The Solar Interior*. 2015. Acessado em: 18 nov. 2021. Disponível em: <<https://solarscience.msfc.nasa.gov/interior.shtml>>.
- HENRIKSEN, D. J. E. K. Facts and feelings: exploring the affective domain in the learning of physics. Norway, p. 1–18, 2001.
- HEWITT, P. G. *Fundamentos de física conceitual*. [S.l.]: Bookman, 2000.
- IQBAL, M. *An introduction to solar radiation*. [S.l.]: Elsevier, 2012.
- KRÜGER, A. *Introduction to solar radio astronomy and radio physics*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012. v. 16.
- LORENÇON, B. D. Elaboração de uma história em quadrinhos utilizando tópicos de física para o ensino médio. Universidade Federal de São Carlos, 2019.
- MALACARA, D. *Óptica básica*. [S.l.]: Fondo de cultura económica, 2015.
- MARICONDA, P.; ÉVORA, F. *Século XIX: O Nascimento da Ciência Contemporânea*. [S.l.]: Ed. UNICAMP/CLE Campinas, 1992.
- MEDEIROS, A. C. L. Miguel de A. Contextualizando a abordagem de radiações no ensino de química. *Rev. Ensaio.*, n. 03, p. 65–84, set-dez 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.phpscript=sci_arttext&pid=S1983-21172010000300065&lng=en&nrm=iso>.
- MENEZES, D. P. *Introdução à Física Nuclear e de Partículas Elementares*. Florianópolis: UFSC, 2002.
- MENEZES, F. M. *Influência da atividade magnética na atmosfera solar e na propagação de ejeções de massa coronal de estrelas do tipo-solar*. Tese (Doutorado) — Tese (Doutorado em Ciências e Apl. Geospaciais), Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2021.

- MODESTO, M. C.; RUBIO, J. d. A. S. A importância da ludicidade na construção do conhecimento. *Revista Eletrônica Saberes da Educação*, v. 5, n. 1, p. 1–16, 2014.
- MOTA, A. T.; BONOMINI, I. A. de M.; ROSADO, R. M. M. Inclusão de temas astronômicos numa abordagem inovadora do ensino informal de física para estudantes do ensino médio. *Revista Latino-Americana de Educação em Astronomia*, n. 8, p. 7–17, 2009.
- NEVES, G. M. Influência do espectro da radiação solar em módulos fotovoltaicos. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais–INPE*, 2016.
- NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor*. [S.l.]: Editora Blucher, 2018. v. 2.
- OLIVARES, J. C.; ESCALANTE, M.; ESCARELA, R.; CAMPERO, E.; HERNÁNDEZ, J. L.; LÓPEZ, I. et al. Los crucigramas en el aprendizaje del electromagnetismo. Asociación de Profesores Amigos de la Ciencia Eureka, 2008.
- OLIVEIRA, M. J. de. *Termodinâmica*. [S.l.]: Editora Livraria da Física, 2005.
- PEDUZZI, L. O. d. Q. *Evolução dos conceitos na física: do átomo grego ao átomo de Bohr*. Florianópolis: UFSC, 2008.
- PENA, F. L. A. Como trabalhar com “tirinhas” nas aulas de física. *Física na escola*, v. 4, n. 2, p. 20, 2003.
- PESNELL, W. D.; THOMPSON, B. J.; CHAMBERLIN, P. The solar dynamics observatory (sdo). In: *The solar dynamics observatory*. [S.l.]: Springer, 2011. p. 3–15.
- PRINGLE, J. E.; KING, A. *Astrophysical flows*. [S.l.]: Cambridge University Press, 2007.
- SARAIVA, M. d. F. O. *Astronomia & Astrofísica*. [S.l.]: Editora Livraria da Física, 2004.
- SILVA, A. V. R. da. *Nossa Estrela o Sol*. [S.l.]: Editora Livraria da Física, 2006. v. 7.
- SILVEIRA, F. L. d.; SARAIVA, M. d. F. O. As cores da lua cheia. *Física na escola. São Paulo. Vol. 9, n. 2 (out. 2008), p. 20-24*, 2008.
- TEIXEIRA, S. K.; SANTOS, P. A. M. dos. Modelagem do espalhamento rayleigh da luz com propósitos de ensino e de aprendizagem. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n. 3, p. 341–350, 2002.
- UGALDE, M. C. P.; ROWEDER, C. Sequência didática: uma proposta metodológica de ensino-aprendizagem. *Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico (EDUCITEC)*, v. 6, p. e99220–e99220, 2020.
- VASCONCELOS, T. T. O uso da astronomia com auxílio de tecnologias e dinâmicas para o ensino da física. 2018.
- WALKER, J.; HALLIDAY, D.; RESNICK, R. *Fundamentos de física: volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica*. [S.l.]: LTC, 2009.
- ZABALA, A. *A prática educativa: como ensinar*. [S.l.]: Penso Editora, 2015.
- ZIRIN, H. The solar atmosphere, blaisdell publ. Co., Waltham, Mass, 1966.

Apêndices

APÊNDICE A – Critério de Schwarzschild

A condição para que haja a estabilidade é que o trabalho W , que é definido por

$$W(t) = \int_V \vec{\xi}(L\xi) dV \quad (\text{A.1})$$

seja negativo para todos os campos vetoriais ξ (PRINGLE; KING, 2007) e com isso, pode usá-lo para definir a estabilidade ¹.

Partindo da equação, no qual descreve o comportamento de perturbação adiabática ao longo do tempo, tendo o critério de estabilidade de um fluido contra convecção,

$$\rho \frac{\partial^2 \vec{\xi}}{\partial t^2} = -\nabla p' - \rho' \nabla \phi \quad (\text{A.2})$$

Além disso, como é uma perturbação adiabática, cada elemento fluido conserva sua entropia (PRINGLE; KING, 2007) à medida que se move. O próprio movimento, a perturbação, não altera a entropia dos elementos fluidos individuais, tendo, portanto, uma expressão que descreve a natureza adiabática das perturbações:

$$\rho' = \frac{\rho}{\gamma p} \rho' - \xi \cdot \left(\frac{1}{\rho} \nabla \rho - \frac{1}{\gamma p} \nabla p \right) \quad (\text{A.3})$$

Como forma de facilitar os próximos desenvolvimentos algébricos, nomeamos como A :

$$\vec{A} = \frac{1}{\rho} \nabla \rho - \frac{1}{\gamma p} \nabla p \quad (\text{A.4})$$

Reescrevendo a equação A.3:

$$\rho' = \frac{\rho}{\gamma p} \rho' - \rho (\vec{A} \cdot \vec{\xi}) \quad (\text{A.5})$$

Lembrando que:

$$L\xi = -\nabla p' - \rho' \nabla \Phi \quad (\text{A.6})$$

e

$$\nabla \Phi = -\frac{\nabla p}{\rho} \quad (\text{A.7})$$

¹ Para maiores detalhes, consulte a biografia (PRINGLE; KING, 2007)

Assim, substituindo A.7 e A.5 em A.6, temos:

$$\begin{aligned}
L\vec{\xi} &= -\nabla p' - \rho' \nabla \Phi = -\nabla p' - \left\{ \frac{\rho}{\gamma p} p' - \rho (\vec{A} \cdot \vec{\xi}) \right\} \cdot \left(-\frac{\nabla p}{\rho} \right) \rightarrow \\
&\rightarrow L\vec{\xi} = -\nabla p' - \left\{ \frac{\rho}{\gamma p} p' \left(-\frac{\nabla p}{\rho} \right) - \rho (\vec{A} \cdot \vec{\xi}) \left(-\frac{\nabla p}{\rho} \right) \right\} \rightarrow \\
&\rightarrow L\vec{\xi} = -\nabla p' - \left\{ -\frac{p' \nabla p}{\gamma p} + (\vec{A} \cdot \vec{\xi}) \nabla p \right\} \tag{A.8}
\end{aligned}$$

Multiplicando A.8 por ξ :

$$\vec{\xi} \cdot (L\vec{\xi}) = -p' (\nabla \xi) + \frac{p'}{\gamma p} (\vec{\xi} \cdot \nabla p) - (\vec{\xi} \cdot \nabla p) \cdot (\vec{A} \cdot \vec{\xi}) \tag{A.9}$$

Agora vamos integrar a relação A.9 sobre o volume do fluido, para obtermos (PRINGLE; KING, 2007):

$$\int_V \vec{\xi} \cdot (L\vec{\xi}) dV = \int_V \left\{ -p' (\nabla \xi) + \frac{p'}{\gamma p} (\vec{\xi} \cdot \nabla p) - (\vec{\xi} \cdot \nabla p) \cdot (\vec{A} \cdot \vec{\xi}) \right\} dV \tag{A.10}$$

no qual o primeiro termo da expressão anterior, resolvemos utilizando o método de integração por partes e assumimos que a perturbação desaparece na fronteira (PRINGLE; KING, 2007).

Utilizando a conservação da massa, de maneira que facilite a manipulação algébrica:

$$\nabla \cdot \vec{\xi} = -\frac{\rho'}{\rho} - \frac{1}{\rho} \vec{\xi} \cdot \nabla \rho \tag{A.11}$$

e utilizando novamente a expressão A.5:

$$\int_V \vec{\xi} \cdot (L\vec{\xi}) dV = - \int_V \left\{ \frac{(p')^2}{\gamma p} + (\vec{\xi} \cdot \nabla p) \cdot (\vec{A} \cdot \vec{\xi}) \right\} dV \tag{A.12}$$

Em A, dado pela expressão A.4, vemos que ∇p e A são paralelos ou antiparalelos (PRINGLE; KING, 2007). Além disso, se a entropia possui uma relação do tipo

$$S \propto \ln \left(\frac{p}{\rho^\gamma} \right) \tag{A.13}$$

Então,

$$A = -\frac{1}{\gamma}\nabla S \quad (\text{A.14})$$

Portanto, a entropia, caso ela se eleva para a parte superior, de forma que $\nabla p \cdot A > 0$ (PRINGLE; KING, 2007), conseqüentemente o trabalho $W > 0$, para as perturbações do fluido, o que nos dá a estabilidade. De maneira contrária, se a entropia eleva para baixo, de forma que em alguma região do fluido $\nabla \cdot A < 0$ (PRINGLE; KING, 2007), podemos selecionar uma função vetorial da perturbação do fluido ξ no qual é concentrada naquela região onde $W < 0$. Isso gera instabilidade. Com isso, podemos dizer, nas palavras de Pringle e King (2007) “ o fluido é estável se, e somente se, os gradientes de entropia e pressão são antiparalelos ”.

Essa definição é o que determina o critério de *Schwarzschild* para instabilidade convectiva. Dessa definição, temos duas implicações importantes que são presentes em situações cotidianas, como o aquecimento de água em uma panela:

- Fluido estável: o fluido mais quente, no qual possui entropia mais alta, estiver na parte superior;
- Presença de convecção: o fluido mais quente, no qual possui entropia mais alta, estiver na parte inferior.

Em estrelas, temos a estabilidade ocorrendo contra a convecção (PRINGLE; KING, 2007), mesmo que a temperatura diminua para as camadas mais externas. Um dos motivos disso ocorrer é a diminuição rápida na densidade ρ , que por consequência, a entropia específica, relacionado à

$$\ln(p\rho^{-\gamma})$$

aumenta para as partes externas.

Uma outra argumentação para discutir o critério de Schwarzschild a partir de uma situação física simples (PRINGLE; KING, 2007), é feita através de um elemento fluido no qual se desloca verticalmente para cima. Quando houver o equilíbrio de pressão, com tudo ao seu entorno, podemos ver que ele cairá para trás, de forma que a estabilidade fica contra a convecção novamente, porém, desde que sua densidade ρ seja maior do que todo seu entorno. De maneira analítica, desde que sua entropia seja menor que seu entorno (PRINGLE; KING, 2007). Se nesse deslocamento não há troca de calor, ou seja, seja adiabático de forma que o elemento fluido conserve sua entropia, isso é equivalente a exigir que a entropia diminua para fora na estrela imperturbada (PRINGLE; KING, 2007).

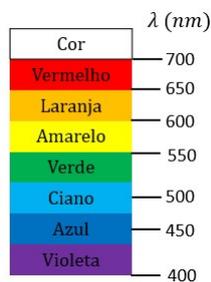
Em algumas estrelas, onde o critério de Schwarzschild não é respeitado, como consequência a entropia aumenta para fora. Com isso, a convecção ocorre como um meio

extremamente eficiente de transporte de energia para fora da estrela (PRINGLE; KING, 2007). Quando isso ocorre, basta uma ligeira violação do critério de Schwarzschild para que a convecção carregue toda a luminosidade da estrela. Como maneira de simplificar uma descrição mais detalhada da convecção, basta mostrar que o critério de Schwarzschild foi violado ou que a entropia é constante.

APÊNDICE B – Comparando as intensidades de luz espalhada

Os comprimentos de ondas das radiações com frequência dentro do intervalo do visível são dadas conforme imagem 50 abaixo:

Figura 50 – Valores de comprimento de onda da radiação no intervalo do visível.



Fonte: Próprio autor

Esses valores e intervalos, entre cada uma, são aproximados e representam os limites entre cada cor que nos parece. Assim, usaremos como base os valores de comprimento de onda cor azul 450nm e da cor vermelha 600nm e aplicaremos na equação 2.55. Não é necessário sabermos o valor da constante de proporcionalidade, pois não irá interferir em nossa análise, visto que ambas radiações estão em um mesmo material.

Para a cor azul:

$$I_{\text{azul}} = k \frac{1}{(450 \times 10^{-9})^4} \approx 2,438 \times 10^{25} k \quad (\text{B.1})$$

Para a cor vermelha:

$$I_{\text{vermelha}} = k \frac{1}{(600 \times 10^{-9})^4} \approx 7,716 \times 10^{24} k \quad (\text{B.2})$$

Com esses valores, percebe-se que a cor azul possui uma espalhamento três vezes maior que a cor vermelha!

APÊNDICE C – O Espectro de Fraunhofer

O espectro de Fraunhofer ou também conhecido como linhas de Fraunhofer, são um conjunto de linhas espectrais associadas a faixas escuras existentes no espectro solar. Elas foram desenvolvidas e descritas pelo físico alemão Joseph von Fraunhofer (1787–1826).

Figura 51 – As primeiras linhas escuras no espectro da luz solar, desenvolvido pelo Fraunhofer.

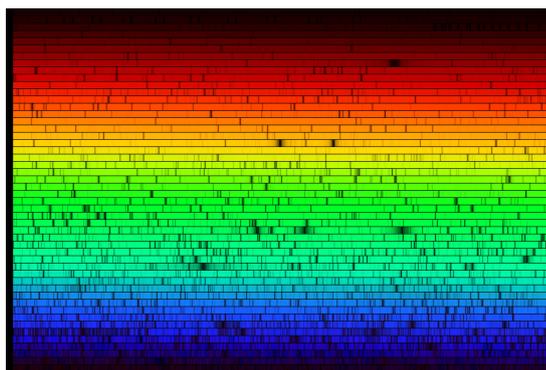


Fonte: With the right tools, astronomers decode the Nature's cosmic messages in a beam of light. Disponível em: <<https://sunearthday.nasa.gov/2006/locations/spectroscopy.php>>. Acesso em 18 de nov. de 2021.

Em cada intervalo desse espectro, temos determinados elementos químicos presentes. Elas possibilitam o estudo e a pesquisa da composição de corpos celestes, no qual emitem radiações eletromagnéticas. Ao captarmos as provenientes do Sol, podemos ver nas regiões ou camadas frias do exterior da superfície solar a evidência de átomos de muitos elementos.

Atualmente, há versões de alta resolução do espectro de nosso Sol, como a Figura 52 abaixo. Ela foi criada a partir de um mapa digital observado juntamente com o Espectrômetro de Transformação de Fourier na Instalação Solar McMath-Pierce no Observatório Solar Nacional em Kitt Peak. Esse espectro, está descrito a partir dos comprimentos de onda, no qual se elevam da esquerda para a direita ao longo de cada faixa e de baixo para cima. Cada uma das 50 faixas cobre 60 angstroms, para um espectro completo em toda a parte visual de 4.000 a 7.000 angstroms.

Figura 52 – O espectro solar a partir de uma alta resolução, no qual é descrito por valores de comprimentos de onda



Fonte: The Solar Spectrum. Disponível em: <https://solarsystem.nasa.gov/resources/390/the-solar-spectrum/?category=solar-system_sun>. Acesso em 18 de nov. de 2021.

APÊNDICE D – O Produto Educacional



GUIA DE ENSINO AO PROFESSOR

FÍSICA SOLAR COMO CONVERGÊNCIA DE ÁREAS DA FÍSICA NO ENSINO MÉDIO

Bruno Fernandes Garcia

Orientador: Prof. Dr. Samuel Bueno Soltau

Alfenas/MG

2022

Olá Professor!

Este guia irá lhe auxiliar na utilização e planejamento de suas aulas utilizando as pranchas, de forma que tenham um melhor rendimento, melhores discussões em salas de aulas e que os objetivos acerca de seu planejamento sejam cumpridos. Além disso, apresentaremos a você os tópicos de física que cada conjunto de pranchas abordará, bem como os objetivos de cada um.

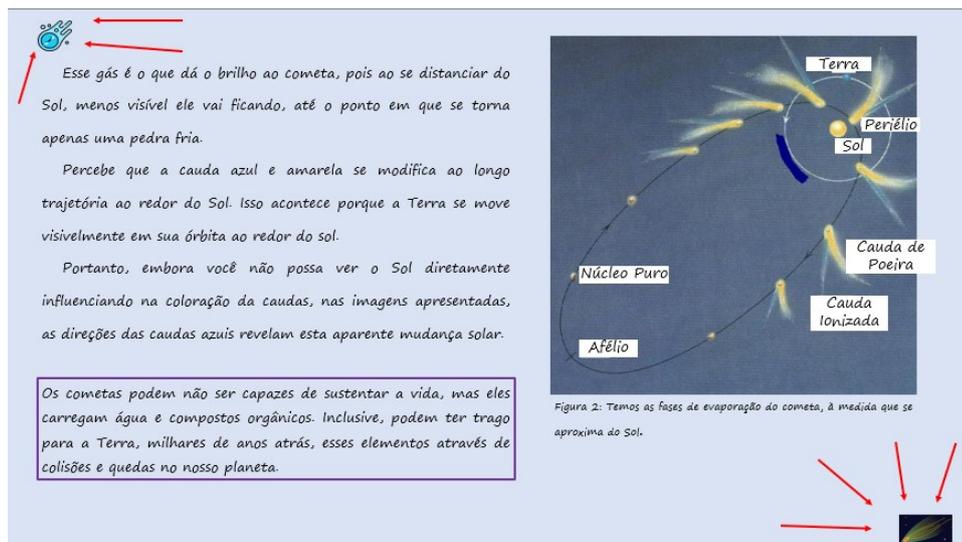
Astronomia e física solar são áreas da física que aborda grande parte de conteúdos básicos presentes na BNCC e documentos oficiais de cada secretaria de educação estadual. Desde a mecânica até as áreas de eletromagnetismo, os tópicos a serem discutidos e desenvolvidos, podem ser relacionados a essas temáticas. E uma outra reflexão que podemos fazer é que o nosso dia a dia é o que é, a Terra e suas vastas regiões com diferentes formas e geografia, seus inúmeros seres vivos, desde microrganismos até os répteis, estão relacionados diretamente com o Sol.

O Sol que é uma estrela tão próxima de nós, com todas as suas propriedades e características, também parte de física básica, que você desenvolve com seus estudantes em sala de aula! E essas relações quase não aparecem nas discussões em sala de aula, não é mesmo? Ou nem existem! Portanto, esse material é uma chance de você desenvolver essa perspectiva e intrigar os alunos de forma que eles identifiquem essas relações, de sala de aula, com temáticas de astronomia e física solar!

O material que recebeu e que irá lhe auxiliar seu planejamento, fazer parte de suas aulas ou ser o próprio material de aula, a partir de agora, consiste de pranchas individuais, no qual possuem formatos diferentes, paisagem ou retrato! Dentro desse material, há uma prancha maior que se destaca das demais, sendo que nela há uma figura grande do Sol e envolta dela, imagens de fenômenos solares e pequenos textos discutindo eles. As pranchas menores ficam envolta dessa maior e tem o intuito de discutir com maiores detalhes, alguns aspectos da física básica presente nas áreas de astronomia e física solar, que estão dentro do tópicos de físicas propostos pela BNCC.

Nas pranchas irá notar que há desafios, questões e problemas para você utilizar em sua aula como momentos de reflexões ou discussões, conforme seu planejamento ou sua metodologia. Além disso, há também alguns jogos com a mesma perspectiva de desafiar o estudante, criar um ambiente de reflexão ou até mesmo criar momentos de descontração em sala de aula. Há também, ao longo de algumas pranchas, cruzadinhas, que encaixam nessa mesma perspectiva. As pranchas menores seguem uma sequência a partir de pequenos ícones, que se encontram nos cantos superiores esquerdo e inferiores direito, como se fossem as páginas de um livro, conforme indicado pelas setas vermelhas na imagem abaixo:

O ideal é que você, professor, crie um ambiente ou momentos no qual o estudante resolva por conta própria os desafios e problemas ao longo das pranchas, a partir do estudo



Fonte: Elaborado pelo autor.

e leitura das pranchas. Mas caso eles não consigam resolvê-las, perceber que um algum estudante ou um número considerável de estudante, está tendo dificuldades na utilização do material, você pode intervir, de forma a auxiliá-los e guiá-los nas respostas consideráveis corretas. Os desafios com o propósito de desafiar o estudante que faz refleti-lo, não possuem respostas definitivas. O propósito deles é justamente o estudante pensar por si sobre a leitura que realizou e de que forma desenvolveu uma compreensão acerca das temáticas de física na prancha. No gabarito desses problemas há possíveis sugestões de respostas que aborda o que é indispensável a resposta do estudante contenha, pois como dito, não há apenas uma resposta para esse desafio.

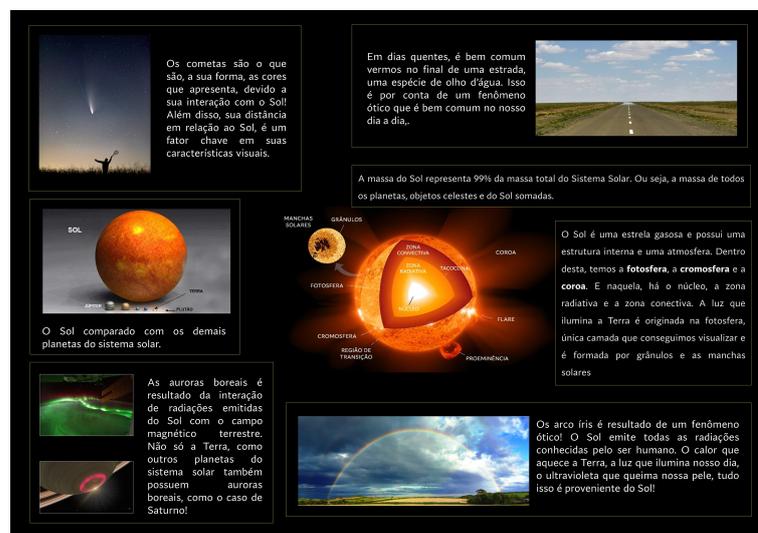
O material foi desenvolvido, justamente para uso polivalente de maneira que você, professor, terá liberdade total da forma como a usar e o momento mais propício para tal.

Este produto educacional foi construído e desenvolvido como parte integrante da dissertação de mestrado, do programa Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, pólo 28 – Universidade Federal de Alfenas: Física Solar como convergência de áreas da Física no Ensino Médio.

D.1 Prancha Central: O Sol

- Objetivo Geral
 - Discutir tópicos de física solar de maneira que instigue o aluno a continuar na leitura do material e que ele sinta necessidade em buscar respostas para possíveis questionamentos que surgir acerca desses tópicos.
- Procedimentos Metodológicos

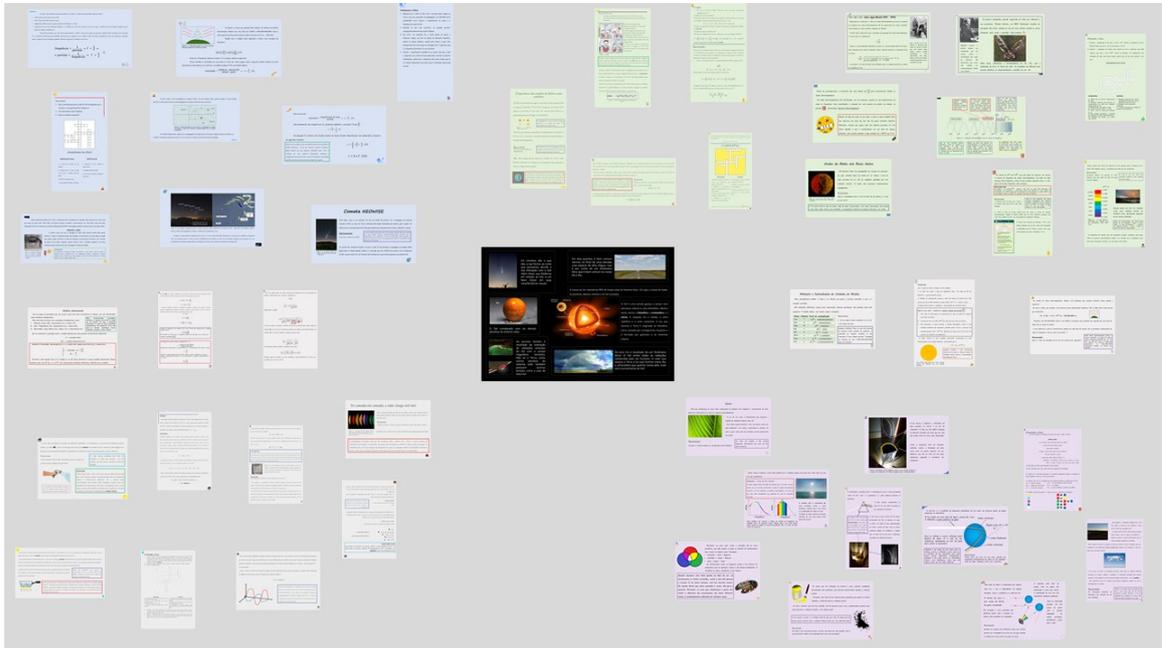
Figura 53 – A prancha central, no qual aborda alguns tópicos de física solar.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Essa prancha, denominada como prancha central, recebe tal nome devido ao fato de possuir maior destaque entre todas as outras, pois nela há a discussão de alguns tópicos de física solar. Além disso, ela é impressa em uma folha maior do tipo A3 para que seja destacada e colocada em posição central, no qual as demais, menores, impressas em folhas do tipo A4, ficam envoltas dela, como na Figura abaixo:

Figura 54 – Todas as pranchas juntas, formando uma espécie de quebra cabeça, no qual temos tópicos de física solar no centro com os demais conjuntos de pranchas ao seu redor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Com isso, as demais pranchas a complementam visto que os temas discutidos nela, estão presentes em temáticas de física do ensino médio. Assim, o professor pode a usar como um material inicial motivador e/ou desenvolver questionamentos acerca dos tópicos de física solar presentes nela, de maneira a instigar o aluno a continuar na leitura do material.

D.2 Ondulatória

1. Objetivos Gerais

- Desenvolver no aluno a compreensão do que se trata o estudo da Ondulatória e de suas propriedades dentro da física, relacionando-os com temáticas da Física Solar, de forma que o capacite a identificar os conceitos e características da área em seu dia a dia;
- Construir o conceito de calor como sendo uma propagação de energia.

2. Objetivos Específicos

- Desenvolver a definição de onda como propagação de energia;
- Entender que, o calor sendo uma propagação de energia, logo ela também é uma onda;
- Discutir a representação de uma onda e desenvolver e identificar, a partir daquele, suas grandezas;
- Desenvolver a manipulação algébrica acerca das relações entre comprimento de onda, frequência e velocidade.

3. Conteúdos das pranchas;

- Definição de ondas;
- Grandezas da ondulatória: Amplitude, Vale, Comprimento de onda, Frequência e velocidade de uma onda.

4. Procedimentos Metodológicos

- Prancha 1:

D.2.1 Prancha 1: Cometas

Figura 55 – Prancha 1 da temática de ondulatória.

COMETAS



Figura 1: A longa cauda de um cometa visto na Terra: Petr Horalek - App Nasa

Você sabe o que é um cometa? Existem vários cometas no Sistema Solar, tais como: Halley, Encke, Biela, Faye, Brorsen e entre outros. Aliás, há inúmeros cometas no sistema solar e pela galáxia.

Cometas são corpos formados por poeira, gelo e gases. Ao olharmos um cometa, podemos distinguir partes que chamamos de núcleo, cabeleira e cauda.

Raciocinando:
O que faz o cometa ser visível?

A sonda Rosetta, desenvolvida pela ESA (European Spacial Agency) que estuda um cometa chamado Churiúmov-Querasímenko, descobriu que a temperatura em sua superfície é de cerca de setenta graus Celsius negativos (-70°C). De acordo com a ESA, essa temperatura já pode ser considerada muito quente para um cometa!

No núcleo dos cometas há gelo, no qual o calor do Sol provoca a passagem do estado sólido (gelo) para o estado gasoso (vapor).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Discutir sobre Cometas e suas composições, de forma a especificar cada parte do mesmo com os estados físicos da matéria. Além disso, apresentar sua visualização a partir de sua distância referente ao Sol. Apresentar alguma curiosidade sobre as temperaturas apresentadas em um cometa. Abordar uma problemática, de forma que o estudante reflita sobre a coloração azulada que um cometa apresente.

D.2.2 Prancha 2: Propriedades de um cometa

Figura 56 – Prancha 2 da temática de ondulatoria.



Esse gás é o que dá o brilho ao cometa, pois ao se distanciar do Sol, menos visível ele vai ficando, até o ponto em que se torna apenas uma pedra fria.

Percebe que a cauda azul e amarela se modifica ao longo trajetória ao redor do Sol. Isso acontece porque a Terra se move visivelmente em sua órbita ao redor do sol.

Portanto, embora você não possa ver o Sol diretamente influenciando na coloração da caudas, nas imagens apresentadas, as direções das caudas azuis revelam esta aparente mudança solar.

Os cometas podem não ser capazes de sustentar a vida, mas eles carregam água e compostos orgânicos. Inclusive, podem ter trago para a Terra, milhares de anos atrás, esses elementos através de colisões e quedas no nosso planeta.



Figura 2: Temos as fases de evaporação do cometa, à medida que se aproxima do Sol.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir de uma imagem real e outra ilustrativa, discutir as diferentes formas que um cometa apresenta ao longo dos dias. Com isso, construir uma relação entre a imagem e a representação do cometa ao redor do Sol, de forma que o estudante identifique que o responsável pelas diferentes formas da cauda de um cometa é o calor do Sol. Outra discussão importante é que o estudante identifique também, que a forma da cauda de um cometa representa sua distância ao Sol.

D.2.3 Prancha 3: Discutindo o calor

Figura 57 – Prancha 3 da temática de ondulatória.



Assim, podemos perceber que o Sol é o responsável por visualizarmos os cometas. Não somente eles, como tudo que vemos ao nosso redor. Além disso, nos fornece energia e mantém o nosso planeta vivo. Mas afinal, como esse calor chega aqui? Como ele interfere em tudo que está próximo do Sol? Vamos agora analisar um pouco mais o que seja o calor!

Entendo o calor

É comum para nós, que a sensação de calor existe quando temos algo quente próximo. A figura 3 representa bem essa situação, ao acionarmos uma das bocas do fogão para aquecer algum alimento. O calor que sentimos é proveniente da chama e ele é sentido de todos os seus lados: esquerda, direita, frente e trás, e também embaixo e em cima. Portanto, aqui já sabemos que ele se propaga em todas as direções.



Figura 3: O calor da chama da boca de um fogão, transmite calor em todas as direções. Inclusive usamos para esquentar alimentos



ANALISANDO
Ao retirarmos um picolé do freezer da geladeira, o que ocorre é que ele começa a derreter. Como o ambiente está a uma temperatura maior, a tendência é o picolé receber calor, de forma que o gelo começa a passar do estado sólido para o estado líquido. Ou seja, o picolé recebeu calor!



Fonte: Elaborado pelo autor.

Introduzir uma problemática de forma que o estudante reflita como o calor do Sol se propaga e chega na Terra. Em seguida, há a discussão a acerca do calor e sua definição a partir de algum exemplo do cotidiano do aluno. Importante que o aluno identifique, que a sensação de calor tem como origem algo quente e que ele se propague em todas as direções do espaço.

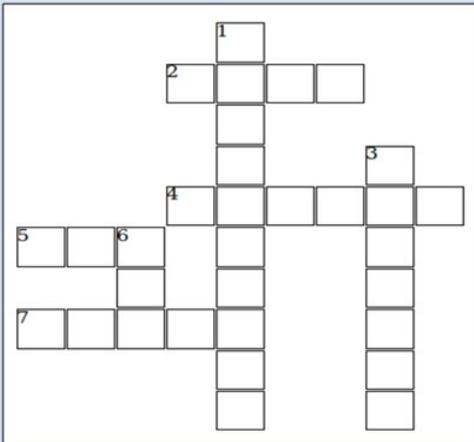
D.2.4 Prancha 4: Atividades Lúdicas

Figura 58 – Prancha 4 da temática de ondulatória.



Raciocinando

1. Qual a semelhança entre o calor do Sol interagindo com o cometa e a situação descrita na figura 2?
2. Um corpo possui calor? Explique.
3. Como os corpos se aquecem?



CRUZADINHA DA FÍSICA

HORIZONTAIS:	VERTICAIS
2. O que há no núcleo de um cometa	1. Distante do Sol, cometa é apenas uma...
4. Cometa visto na Terra a cada 75-76 anos	3. Cometa visto em 2020
5. Rastro do cometa é um...	6. Nos fornece energia e mantém a Terra viva
7. Se propaga em todas as direções	



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sessão de atividades lúdicas: quadrinhos, problemas acerca da temática e cruzadinha.

D.2.5 Prancha 5: Propriedades da onda

Figura 59 – Prancha 5 da temática de ondulatória.

 O calor, então, é uma propagação de energia! Porém, ele não carrega massa, apenas energia, no caso energia térmica. E dentro das ciências, uma propagação de energia é definido como uma onda.

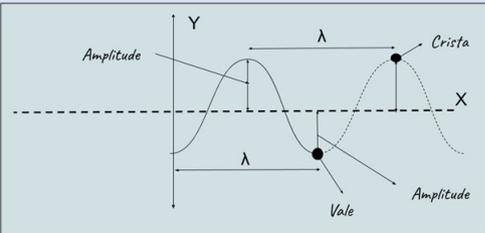


Figura 4: Representação de uma onda. Se propagam ao longo do espaço e, para tal, usamos a representação em um plano cartesiano.

Na representação acima, repare que a propagação de energia ocorre ao longo do espaço (dado em metros) e se mantém constante ao longo do tempo, em um ciclo que se repete, que denominamos de oscilação.

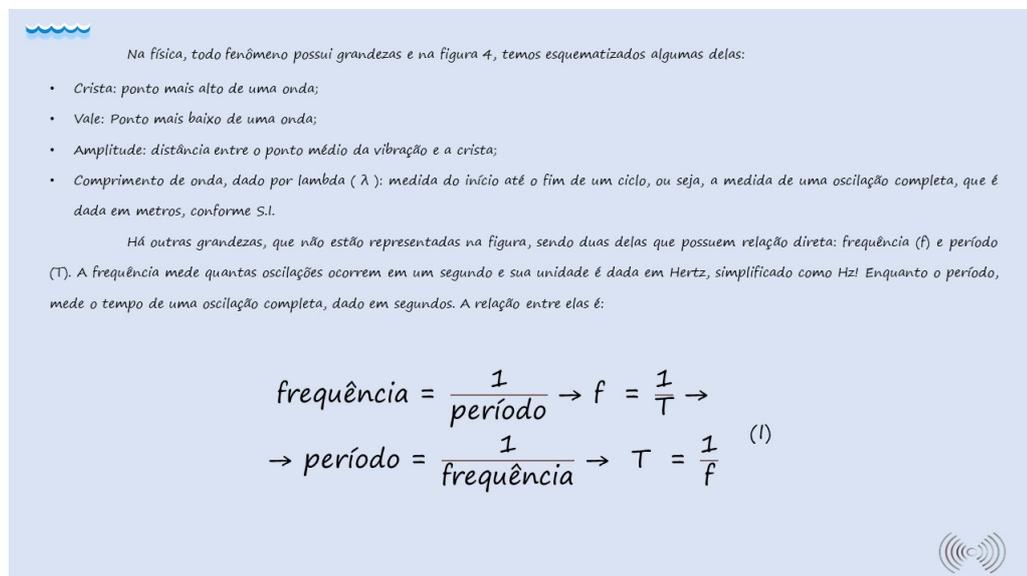


Fonte: Elaborado pelo autor.

Definir calor como uma propagação de energia. E ressaltar, que essa propagação não carrega matéria apenas energia. Além disso, identificar o calor como energia térmica e que o estudo de propagações de energia é denominado Ondulatória. Apresentar uma representação de uma onda de maneira que o estudante identifique que ela percorre um espaço ao longo do tempo. Além disso, nessa mesma representação, demonstrar e citar as grandezas físicas presentes como: **Comprimento de Onda**, **Amplitude**, **Vale** e **Crista**.

D.2.6 Prancha 6: Grandezas de uma onda

Figura 60 – Prancha 6 da temática de ondulatória.



Na física, todo fenômeno possui grandezas e na figura 4, temos esquematizados algumas delas:

- *Crista*: ponto mais alto de uma onda;
- *Vale*: Ponto mais baixo de uma onda;
- *Amplitude*: distância entre o ponto médio da vibração e a crista;
- *Comprimento de onda*, dado por λ : medida do início até o fim de um ciclo, ou seja, a medida de uma oscilação completa, que é dada em metros, conforme S.I.

Há outras grandezas, que não estão representadas na figura, sendo duas delas que possuem relação direta: frequência (f) e período (T). A frequência mede quantas oscilações ocorrem em um segundo e sua unidade é dada em Hertz, simplificado como Hz! Enquanto o período, mede o tempo de uma oscilação completa, dado em segundos. A relação entre elas é:

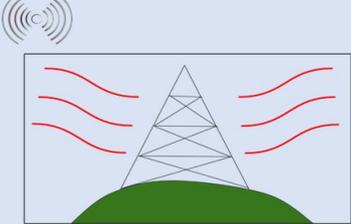
$$\begin{aligned} \text{frequência} &= \frac{1}{\text{período}} \rightarrow f = \frac{1}{T} \rightarrow \\ \rightarrow \text{período} &= \frac{1}{\text{frequência}} \rightarrow T = \frac{1}{f} \quad (1) \end{aligned}$$


Fonte: Elaborado pelo autor.

Definir cada grandeza apresentada na representação de uma onda. Além disso, discutir as unidades que elas possuem. Discutir as grandezas período e frequência, de forma a defini-las e relacioná-las. Construir algebricamente essa relação entre elas e a manipulação passo a passo, enumerando-as de maneira que o estudante identifique algebricamente essa relação.

D.2.7 Prancha 7: Relação entre frequência e período

Figura 61 – Prancha 7 da temática de ondulatória.



Na figura 5, temos um exemplo bem prático. Os elétrons na antena transmissora vibram em uma faixa de 3.000 a 300.000.000.000 vezes a cada segundo, produzindo ondas de rádio na faixa de 3 KHz – 300 GHz.

Repare que a relação entre segundos e Hertz, suas unidades de medidas é:

$$[\text{Hz}] = \left[\frac{1}{\text{s}} \right] \rightarrow [\text{s}] = \left[\frac{1}{\text{Hz}} \right] \quad (\text{II})$$

Onde Hz é frequência, dado em Hertz e S é o tempo, dado em segundos.

Temos também a velocidade de uma onda (v). Para ela, vamos agora, fazer a seguinte análise: lembra de como calculamos a velocidade de um carro ou um objeto qualquer? Dê uma olhada abaixo:

$$\text{velocidade} = \frac{\text{distância percorrida}}{\text{tempo gasto}} \rightarrow v = \frac{d}{t} \quad (\text{III})$$


Fonte: Elaborado pelo autor.

Discutir um exemplo do cotidiano, uma onda de rádio, de forma a apresentar a sua velocidade e que o estudante identifique, o comprimento de onda como sendo o movimento de ir e vir ou subir e descer das partículas ou elétrons de um meio. Construir uma relação entre as unidades de frequência e período da mesma forma que foi a construção da relação algébrica entre elas. Discutir a velocidade a partir do movimento de um carro, de forma que o estudante identifique essa grandeza como uma representação do tempo gasto para se percorrer uma distância. Construir essa identificação algebricamente, na forma de uma divisão e que o estudante identifique a definição de velocidade:

$$v = \frac{\text{Distância Percorrida}}{\text{Tempo}}$$

D.2.8 Prancha 8: Cálculo da velocidade de uma onda

Figura 62 – Prancha 8 da temática de ondulatória.

Para uma onda:

$$\text{velocidade} = \frac{\text{comprimento de onda}}{\text{período}} \rightarrow v = \frac{\lambda}{T} \quad (\text{IV})$$

Mas lembrando das relações em (I), podemos substituir o período (T) por $\frac{1}{f}$:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\lambda}{\frac{1}{f}} \quad (\text{V})$$

Na equação (V), temos uma divisão dentro de outra divisão. Relembrando da matemática, fazemos da seguinte maneira:

Pessoas em um show ou em um estádio durante uma partida de futebol, levantam - se de seus assentos, erguem os braços e depois sentam em seus assentos. Conhecido como "ola", é realizado em uma sequência apropriada, imitando o comportamento de uma onda, no qual transmitem a informação (reverência) mas continuam em seus respectivos lugares.

$$v = \frac{\lambda}{\frac{1}{f}} = \frac{\lambda}{1} \div \frac{1}{f} \quad (\text{VI})$$
$$v = \lambda \times f \quad (\text{VII})$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Definir a velocidade de uma onda, desenvolvendo a relação com a feita anterior, identificando com sua enumeração. Além disso, relacionar e desenvolver essa distância percorrida com o comprimento de onda, e o tempo com o período. Construir a relação de velocidade e frequência, a partir da definição de período, que é o inverso da frequência. Desenvolver também a relação algébrica da velocidade com função à frequência e ao comprimento de onda.

D.2.9 Prancha 9: Problemas e exercícios sobre ondulatória

Figura 63 – Prancha 9 da temática de ondulatória.



Praticando a Física

1. Em 2018, um temporal fez o maior prédio do Brasil, o Millenium Palace, que fica na cidade de Balneário Camboriú, estado de Santa Catarina, oscilar para frente e para trás. Considerando que esse tempo de oscilação dure 5 segundos, qual é a frequência do prédio? E o seu período?
2. (Hewitt - modificada) O capitão de um barco nota que a cada 5 segundos uma crista de onda passa pela corrente da âncora. Visualizando, estima que a distância entre essas cristas seja de 15 metros. Represente essa onda. Qual a velocidade dessa onda no mar



Fonte: Elaborado pelo autor.

Problemas e exercícios envolvendo as temáticas da prancha. Atentando-se para que as atividades correlacionem ondas com Física Solar.

D.3 Temperatura

1. Objetivos Gerais

- Desenvolver no aluno a compreensão do que seja a temperatura, através da discussão dos movimentos das partículas subatômicas dos materiais, e suas formas de medidas, de forma que as identifique no seu dia a dia.

2. Objetivos Específicos

- Definir temperatura como grau de agitação das moléculas;
- Identificar e relacionar os três diferentes tipos de unidade mais utilizados: Celsius, Fahrenheit e Kelvin;
- Compreender que sensações de frio e calor, está relacionado ao movimento de partículas de um ambiente;
- Construir a manipulação algébrica entre essas unidades.

3. Conteúdo das pranchas

- Temperatura;
- Unidades de medida: Celsius, Fahrenheit e Kelvin;
- Termômetros.

4. Procedimentos Metodológicos

D.3.1 Prancha 1: Energia de dentro do Sol

Figura 64 – Prancha 1 da temática de temperatura.

Temperatura: das camadas do Sol ao nosso cotidiano

O Sol é uma imensa bola de gás, no qual em seu núcleo é gerado toda a energia que alimenta a Terra. Essa energia que se locomove pelo espaço é proveniente de seu interior, de reações termonucleares, no qual a temperatura pode chegar a 15.000.000 °C!



Figura 1 - Diferentes representações do Sol

A energia gerada no interior do Sol, até chegar a superfície e ser expelida pelo espaço, leva aproximadamente, um milhão de anos!

Para nós, que estamos acostumados com temperaturas no intervalo de 35° C a 10° C, esse valor é surreal. É praticamente impossível saber a sensação dessa temperatura.

Raciocinando:
O que você entende por temperatura?

No Sistema Internacional de Unidades, (SI), a temperatura é medida em Kelvin (K). Porém, no cotidiano usamos mais o grau Celsius (°C).

Mas essa energia gerada, passa por camadas do interior solar. Portanto, ela tende a se dissipar e em consequência essa temperatura diminui ao longo dessas camadas.



A radiação solar não chega da mesma maneira em todos os pontos da Terra. Portanto, há diversos fatores que determinam a temperatura de um local: altitude em relação ao mar, pressão atmosférica, sua posição no globo, a estação em que se encontra e entre outros. Portanto, um ambiente mais quente que o outro não quer dizer que chega mais calor!



Fonte: Elaborado pelo autor.

Iniciar a discussão acerca da origem do calor do Sol, o núcleo, e que até chegar em nós, há um caminho a ser percorrido. Além disso, identificar esse calor proveniente de Reações Termonucleares. Apresentar curiosidades ou dados referentes ao tempo gasto percorrido pelo Sol, desde o núcleo até sua camada exterior, e a temperatura em seu interior. Discutir tais dados de forma que o estudante identifique esses

números bem distante de suas realidades. Apresentar um problema para que o estudante discuta suas concepções acerca do que seja temperatura. Discutir como curiosidade as diferentes temperaturas que há na superfície da Terra, e que essa diferença não é restrita à radiação solar.

D.3.2 Prancha 2: O que mede a temperatura?

Figura 65 – Prancha 2 da temática de temperatura.

 Pausa para discussão:

1. No verão as temperaturas são maiores que no inverno. Por que isso ocorre?
2. É possível sentir calor em um local com temperaturas baixas como, por exemplo, na Antártida?

CIENTIRINHAS #223



COMO VOCÊS PODEM VER, AO NÍVEL DO MAR A ÁGUA FERVE A CEM GRAUS CELSIUS!

VOCÊ NÃO CONHECE ALGUMA EXPERIÊNCIA MAIS APROPRIADA PARA NOSSA VIAGEM A PRAIA?

COMO VOCÊS PODEM VER, AO NÍVEL DO MAR A ÁGUA CONGELA A ZERO GRAUS!

Faça a leitura da tirinha ao lado. Marque V para verdadeiro e F para falso, nas afirmativas abaixo:

- a) Ferver a água é o mesmo que fornecer calor à ela. Congelar é retirar calor dela;
- b) Nivel do mar, significa altitude 0;
- c) Para altitudes maiores que 0, para ferver a água precisamos de uma temperatura maior que cem graus celsius;
- d) Para outros materiais, as temperaturas para ferver e congelar, ao nível do mar, continuam as mesmas: cem e zero graus celsius, respectivamente.

Figura 2 – Tirinha sobre os pontos de congelamento da água

Todos os corpos e objetos que existem, são formados por átomos! Ferver, congelar ou evaporar, nada mais é que adquirir ou perder energia, ou seja, **calor!** Ao receber energia, os átomos tendem a ficarem mais "agitados" e ao perderem, tendem a ficarem mais em um estado próximo ao repouso. Disso, vem a sensação de frio e quente!

O que se utiliza no dia a dia para medir essa agitação das partículas, que na física, é dita formalmente por "grau de agitação das partículas", é a **temperatura**. A mesma é dada por um termômetro de mercúrio! O mesmo utilizado para verificar se estamos com febre ou mal estar.

Ele tem esse nome, pois justamente dentro dele há uma pequena quantidade de mercúrio, no qual ele dilata ou se contrai, conforme a energia à sua volta. E com esse movimento, ele marca a temperatura correspondente



Figura 3 – Termômetro usual, conhecido como Termômetro de Mercúrio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Apresentar problemas acerca das discussões realizadas na prancha anterior, de forma a identificar concepções dos estudantes acerca do tema, visto que a temática é presente em seu cotidiano: calor, frio, temperatura e entre outros. Desenvolver problemas com tirinhas, quadrinhos ou desenhos, com verdadeiro ou falso, marcar a alternativa correta e entre outros. Discutir as sensações de frio e quente, como movimento dos átomos, e que ganhar calor, ou seja, energia, aumenta a "agitação" desses átomos. E caso perca calor, perder energia, o movimento deles diminua.

Discutir o funcionamento do termômetro de mercúrio, visto que é o mais utilizado no dia a dia e que o movimento dos átomos discutidos, é a definição de temperatura na física.

D.3.3 Prancha 3: Unidades de Medida da Temperatura

Figura 66 – Prancha 3 da temática de temperatura.

 Em um ambiente no qual as condições facilitam a propagação e chegada do calor, as moléculas desse ambiente tendem a se agitar com mais intensidade. Já em um local, em que as condições impossibilitam a chegada do calor ou sua propagação, temos que as moléculas desse ambiente tendem a se resguardarem. Ou seja, se contraírem!

No nosso cotidiano, a temperatura é dada em graus Celsius. Porém, a unidade padronizada pelo S.I. é dada em Kelvin, denotado por K. Há outra unidade, Fahrenheit, no qual os países EUA e Inglaterra a utilizam, denotada por F.

Já reparou que no frio tendemos a ficar “encolhidos” e a vestir mais roupas e no calor usamos roupas mais frescas, e preferimos ambientes mais abertos e pouco contato com outras pessoas? Com as moléculas isso é bem parecido! Quanto mais calor elas recebem, mais agitadas elas ficam. Quanto menos calor, menos agitadas ficam!

Para saber mais!
Para fazer a conversão, ou seja a mudança de unidade, de graus Celsius para Kelvin, usamos a seguinte relação:

$$K = C + 273 \quad (I)$$

sendo K a temperatura em Kelvin e C, a temperatura em graus Celsius. Há uma outra unidade utilizada, inclusive países como EUA e Inglaterra a utilizam, que é o Fahrenheit, denotado por F. A relação para convergir as unidades de temperatura é:

$$F = \left(\frac{9}{5} \times C\right) + 32 \quad (II)$$


Fonte: Elaborado pelo autor.

Discutir a sensação de frio e quente em ambientes diferentes, um que possibilite a saída do calor e outro que impeça. Apresentar as unidades de medida de Temperatura. Discutir o Kelvin como sendo a do Sistema Internacional, a unidade Celsius do nosso cotidiano e o Fahrenheit mais restrita aos países EUA e a Inglaterra. Desenvolver a relação entre essas grandezas, começando pelas mais utilizadas, Kelvin e Celsius enumerando-as e discutindo passo a passo da mesma.

D.3.4 Prancha 4: Relações entre as principais unidades de medida

Figura 67 – Prancha 4 da temática de temperatura.



Exemplos:

1. No dia 25/09/2015, Belo Horizonte teve sua maior temperatura registrada, $36,6^{\circ}\text{C}$!

a) Qual seria a leitura em Kelvin?

Para termos a leitura dessa temperatura em Kelvin, teremos de fazer a conversão de unidades, usando a equação I. Lembrando que $C = 36,6$:

$$K = C + 273 \rightarrow K = 36,6 + 273 = 309,6 \text{ K}$$

Portanto, a temperatura em Kelvin, da maior temperatura já registrada em BH é de **309,6 K**.

b) Qual seria a leitura em Fahrenheit?

De maneira análoga ao item anterior, utilizaremos a equação II agora. Portanto:

$$F = \left(\frac{9}{5} \times C\right) + 32 = \left(\frac{9}{5} \times 36,6\right) + 32 = (65,88) + 32 \rightarrow F = 97,88 \text{ F}$$

Assim, a temperatura em Fahrenheit é **97,88 F**.

Raciocinando...

Vemos que os problemas acima nos fornece a informação já em graus Celsius. E se a informação que buscamos é a temperatura em graus Celsius? Usamos novamente as relações I e II e a modificamos, de maneira que agora o queremos, a temperatura em graus Celsius seja dada.

I. Vamos começar pela relação I, no qual simplesmente isolamos a grandeza C:

$$(III)$$
$$K = C + 273 \rightarrow C = K - 273$$

II. Na relação II, de maneira análoga, isolamos novamente C:

$$F = \left(\frac{9}{5} \times C\right) + 32 \rightarrow F - 32 = \left(\frac{9}{5} \times C\right) \quad (IV)$$

Chegando nesse ponto da relação, o termo $9/5$, que está multiplicando por C, deve ser simplificado! E para isso, dividimos todo o termo por $9/5$:

$$\frac{(F - 32)}{\frac{9}{5}} = \frac{\left(\frac{9}{5} \times C\right)}{\frac{9}{5}} \quad (V)$$


Fonte: Elaborado pelo autor.

Desenvolver um exemplo de conversão de unidades, no qual ele deve ser um problema do dia a dia do estudante. Relacionar sempre as construções algébricas, a partir das enumerações e citar as construídas nos textos das pranchas.

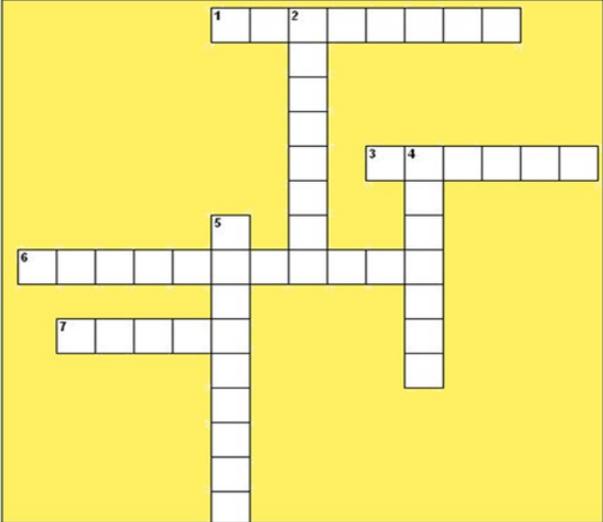
D.3.5 Prancha 5: Problemas e exercícios sobre temperatura

Figura 68 – Prancha 5 da temática de temperatura.

Do lado esquerdo, o termo que está dividindo é um a outra fração: $9/5$. Nesse caso, temos uma divisão de fração. Portanto, o procedimento a ser seguido é a multiplicação do fator $(F-32)$ pelo inverso da fração: $5/9$. Já no segundo termo, o termo $9/5$ dividido por ele próprio é igual a 1! Portanto, tem os que a relação ficará:

$$\frac{5}{9} \times (F-32) = C \rightarrow C = \frac{5}{9} \times (F-32) \quad (VI)$$

Cruzadinha da Física



Horizontal	Vertical
-------------------	-----------------

1. Elemento químico presente no interior do termômetros, que registra a temperatura;
2. A energia no interior do Sol, se dissipa em forma de...
3. Unidade de temperatura, segundo o Sistema Internacional de Unidades;
4. Aquilo que os átomos recebem para se agitarem;
5. A luz que ilumina a Terra é proveniente de qual camada solar?
6. Local no qual é gerado toda a energia que chega à Terra;
7. Estação no qual as temperaturas são mais elevadas.

1. Lembre da matemática! Divisão entre frações: mantém o numerador (fracão na parte superior) e multiplica pelo inverso do denominador (fracão na parte inferior). $\frac{(\frac{2}{3})}{(\frac{3}{5})} = (\frac{2}{3}) \times (\frac{5}{4}) = \frac{10}{12}$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apresentar exercícios ou problemas aos estudantes, de maneira lúdica: quadrinhos, verdadeiro ou falso, cruzadinhas e entre outros.

D.4 Calor

1. Objetivos Gerais

- Desenvolver no aluno a compreensão de que o calor é uma propagação de energia, através da discussão de temáticas de Física Solar, e o identifique em seu cotidiano;
- Desenvolver e discutir os tipos de transferência de calor, de maneira que em seu dia a dia identifique esses processos.

2. Objetivos Específicos

- Definir e compreender o calor como uma propagação de energia, através da discussão do movimento do calor do Sol até a Terra;
- Definir e identificar as Ondas Mecânicas e as Ondas Eletromagnéticas, a partir da relação de som, calor e luz;
- Discutir e relacionar as unidades caloria e joule, após a identificação da necessidade de medir o calor;
- Construir e desenvolver quantidade de calor;
- Discutir calor específico a partir da resistência dos materiais em mudar suas temperaturas;
- Identificar e desenvolver os tipos de transferência de calor, a partir de exemplos do cotidiano.

3. Conteúdo das pranchas

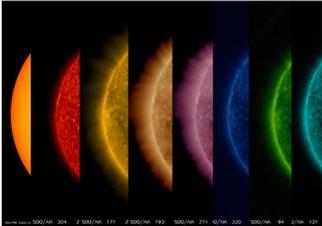
- Calor;
- Ondas Mecânicas e Ondas Eletromagnéticas;
- Unidades de medida: Caloria e Joule;
- Quantidade de Calor e Calor Específico;
- Transferências de Calor: Condução, Convecção e Radiação.

4. Procedimentos Metodológicos

D.4.1 Prancha 1: Caminho do calor do Sol até nós

Figura 69 – Prancha 1 da temática de calor.

De camada em camada, o calor chega até nós!



Toda a energia gerada pelo Sol em seu núcleo, percorre um caminho até nós. Temos desde ondas de rádio até raios gama, dentro de toda essa energia, e o calor faz parte.

Raciocinando:
Podemos considerar toda essa energia proveniente do Sol, como ondas? Porque?

Do Sol até nós, o planeta Terra, não há matéria! O que denominamos como vácuo!

Figura 1 - Do que ao mais quente. Jornal fotográfico: PIA22055. Fonte: NASA / GSFC / Solar Dynamics Observatory. Publicado: 30 de novembro de 2017

A propagação de energia vinda do Sol, atravessa todo o espaço até a Terra e passa através da atmosfera, até chegar na superfície. No espaço não há matéria, somente o vácuo, porém ao chegar na atmosfera há o ar! Essa energia não depende do ar para se propagar dentro da atmosfera terrestre. Assim, vemos que a energia proveniente do Sol não precisa de um meio para ser transmitida.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Discutir a energia proveniente do Sol, citando que é composta pelas ondas: de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios x e raios gama. Além disso, discutir que o calor está dentro dessa energia e faz parte de uma pequena parte de toda essa energia. Construir a relação de propagação de energia e onda, de maneira que o estudante identifique a não necessidade de meio material para sua propagação. Como forma de ilustração, inserir uma imagem mostrando a Sol vista em diferentes perspectivas do espectro de forma que instigue o estudante a começar a refletir sobre as diferentes ondas inseridas dentro dessa energia.

D.4.2 Prancha 2: Classificação das ondas

Figura 70 – Prancha 2 da temática de calor.



Através desse vácuo, a energia proveniente do Sol se propaga. Porém, no nosso dia a dia, vemos que há tipos de energia que necessitam de meio material para se propagarem.

O mais comum entre nós é o som. Tudo que escutamos e falamos é uma propagação de energia em forma de som.

Raciocinando:
Com base no que discutimos, desenhe uma onda sonora.

Os átomos e as moléculas de um meio vibram quando ele transmite o som. O som não pode se propagar no vácuo, porque não existe nada ali para vibra

Essas diferentes propagações de energia, são classificadas em ondas mecânicas, que dependem de um meio material para se propagar e ondas eletromagnéticas, que não necessitam de meio material para se propagar.

Pausa para refletir
Faça a ligação dos exemplos a que tipo de onda ela é:

Calor	●	
Agitação de uma corda	●	<input type="checkbox"/> Ondas Mecânicas
Onda marítima	●	<input type="checkbox"/> Ondas Eletromagnéticas
Ultravioleta	●	
Micro ondas	●	

Para Saber mais!
O termo radiação não se refere apenas as materiais radiativos ou maléficos. Toda propagação de energia, sendo ela uma onda eletromagnética, é uma **radiação!**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Discutir os tipos de energia do cotidiano, de forma que o estudante identifique a dependência delas para se propagar. Além disso, exemplificar com a discussão da forma que o som se propague. Construir um pequeno exercício para que o estudante represente o som, após a leitura dessa breve construção. O objetivo de tal exercício é identificar as preconcepções dos(as) aluno(as) acerca do que seja o som. Definir energias que necessitam de meio material como **Ondas Mecânicas** e as que não

necessitam, de **Ondas Eletromagnéticas**. Desenvolver um problema de forma que o estudante identifique e classifique diferentes tipos de propagações de energia do cotidiano, em onda mecânica ou onda eletromagnética, tais como: ondas de rádio, micro-ondas, raios - x, som, ondas em uma corda e entre outros. Discutir a definição de radiação como sendo uma propagação de energia, exclusivamente sendo ela uma onda eletromagnética. Além disso, definir de maneira que o estudante identifique a mesma não sendo apenas energias maléficas à nossa saúde ou à radioatividade.

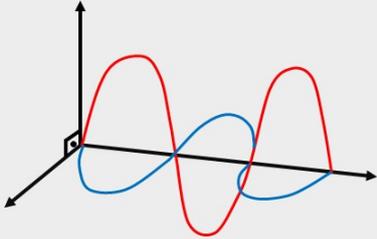
D.4.3 Prancha 3: A unidade de medida do calor

Figura 71 – Prancha 3 da temática de calor.

 Veja o material de ondulatória (Cometa Neowise), do qual vimos que o calor somente existe se há um fluxo de energia de um corpo para outro caso haja diferença entre suas temperaturas. Portanto, como calor é uma propagação de energia, podemos considerar o calor como uma onda eletromagnética na faixa do infravermelho! (Ver prancha – ícone da prancha – em construção)

Como o o calor é trânsito de energia, é medido em joules, denotado por **J**. No Brasil, usamos a unidade caloria, denotado por **cal** para representar o calor. A relação entre caloria e Joules é:

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ J}$$



Uma onda eletromagnética é a combinação de uma oscilação de campo elétrico (em vermelho) e de um campo magnético (em azul), conforme a representação abaixo. Os dois campos, em combinação, se propagam perpendicularmente, formando um ângulo de 90° entre si. Todas as propagações de energia, que não necessitam de meio material para se propagarem, possuem essa forma!



Fonte: Elaborado pelo autor.

Identificar o calor como uma onda eletromagnética, que não necessita de meio material e como o infravermelho. Discutir as unidades do calor de maneira que o estudante identifique o Joule, denotado por J, como do Sistema Internacional de Unidades (S.I.) e a caloria usada em nosso país. Representar uma onda eletromagnética a partir da composição de um campo elétrico e campo magnético, sem entrar na discussão do que seja estas. Além disso, discutir que os campos se propagam perpendicularmente e que todas as propagações de energia que não necessitam de meio material possuem a mesma representação.

D.4.4 Prancha 4: A quantidade de calor

Figura 72 – Prancha 4 da temática de calor.

 A quantidade de calor, Q , é a diferença de temperatura entre corpos ou um corpo e um sistema de corpos. É calculada, com a equação:

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (\text{I})$$

Onde m é massa do corpo, c é o calor específico do corpo e T é a temperatura. Lembre-se que a letra grega Δ (delta) significa diferença. Portanto, ΔT é a diferença de temperatura inicial, T_i , e final, T_f . Logo,

$$\Delta T = T_f - T_i \quad (\text{II})$$

Para saber mais!

Ao aumentar a temperatura de um grama de água em um grau Celsius, é necessário uma energia de uma caloria. A caloria é definida como a quantidade de calor necessária para alterar a temperatura de um grama de água em um grau Celsius. Caloria é usada nos rótulos de alimentos industrializados, porém, aparece como quilocaloria, que equivale a 1.000 calorias (calor necessário para elevar a temperatura de 1 quilograma de água em 1°C). A unidade de calor empregada em alimentos é chamada de Caloria (escrita com a letra maiúscula C).

 Exemplo de uma embalagem de pão de forma. Repare que nesse exemplo, uma porção de 50 gramas oferece ao nosso organismo os valores da tabela. Essa porção já é responsável por 10% do sódio que me corpo necessita em um dia!

Raciocinando

Quando aquecemos os alimentos no fogo, aumentamos suas calorias?

Calor específico é a capacidade de um corpo ou objeto armazenar energia. Já reparou que um pedaço de ferro esfria mais rápido que um pedaço de madeira? Os diferentes material, necessitam de quantidades de calor (Q) diferentes para elevar sua temperatura!

É preciso fornecer 0,11 calorias às 1g do elemento ferro para elevar sua temperatura em 1° C. Note que para aquecer o ferro precisamos de menos energia do que para aquecer água! Ou seja, a água absorve mais calor por grama que o ferro! Essa característica, chamamos de calor específico e usamos c minúsculo para sua unidade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Discutir a forma de mensurar calor, sendo que a mesma só é possível caso haja uma diferença de temperatura. Com isso posto, definir quantidade de calor como a energia térmica perdida ou ganha por um objeto ou sistema e que seu valor é em função da massa, do calor específico e da diferença de temperatura. Além disso, discutir que é possível encontrar o valor dessa energia a partir da seguinte relação:

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

onde m é a massa do corpo ou do sistema, c o calor específico do material e ΔT a diferença de temperatura. Discutir essa última, identificando a letra grega delta Δ como diferença, de forma que o estudante compreenda o termo ΔT como diferença de temperatura: temperatura final menos a temperatura inicial. Construir a forma algébrica dela:

$$\Delta T = T_f - T_i$$

onde T_f é a temperatura final e T_i é a temperatura inicial.

Discutir a definição da grandeza caloria, que nos diz que 1 caloria é a energia necessária para se elevar 1° C de 1 grama de água. Além disso, relacionar tal grandeza com as informações nutricionais contidas nas embalagens de alimentos, de forma que o estudante identifique aquela informação como uma medida de energia que seu corpo adquire. Apresentar ao estudante, que a mesma é mensurada em Caloria (com c maiúsculo mesmo) ou Kcal, e que esta representa a energia necessária para se elevar a temperatura de 1 kg de água a 1° C, diferente da caloria usada no cálculo de quantidade calor. Discutir um exemplo de uma tabela nutricional qualquer, de maneira que o estudante entenda as informações contidas na mesma. Abordar um problema, acerca das discussões da caloria.

Posteriormente, discutir o calor específico de forma que o estudante a identifique como sendo a grandeza que represente a forma que os diversos materiais resistem a perder ou ganhar calor. Definir o calor específico como a quantidade de calor que um grama de um material necessita, para elevar a sua temperatura de 1° C.

D.4.5 Prancha 5: Exemplo - Cálculo de Q

Figura 73 – Prancha 5 da temática de calor.

Exemplo:

Você deseja esquentar 300 g de água, para fazer café. Sabendo que essa água está à temperatura ambiente, de 25° C, e que a água deva esquentar próximo dos 90° C, calcule a quantidade de calor aproximada que a chama do fogão irá transferir para água. O calor específico da água é: $c = 1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$

Comentários:

Quando o problema diz para calcular uma quantidade de calor aproximada é devido ao fato desse calor possuir perdas, tanto para o ambiente como para o recipiente em que a água está! Pois não esquentamos a água diretamente, formando um sistema fogo – água e sim, um sistema fogo – panela – água. No Sistema Internacional de Unidades, o S.I., a unidade de massa tem de ser em quilogramas (Kg), porém, para o cálculo de quantidade de calor a massa tem de estar em gramas (g). Logo,

$$m = 300 \text{ g} \quad (\text{III})$$

A variação de temperatura, ΔT , que ocorre nesse fenômeno é dada pela diferença de 90° C (temperatura final T_f) e 25° C (temperatura inicial T_i). Portanto,

$$\Delta T = T_f - T_i = 90 - 25 = 65 \rightarrow \Delta T = 65^\circ\text{C} \quad (\text{IV})$$

Como o valor do calor específico c da água foi dado, basta usarmos a equação (I) e substituir (III) e (IV), para encontrarmos a quantidade de calor:

$$Q = mc\Delta T = 300 \times 1,0 \times 65 = 19500 \text{ cal} \rightarrow$$
$$\rightarrow Q = 19500 \text{ cal}$$


Fonte: Elaborado pelo autor.

Construir um problema - exemplo envolvendo a temática, que esteja presente no cotidiano do estudante. Desenvolver passo a passo da resolução desse exemplo, enumerando as equações e as citando ao longo da sua resolução.

D.4.6 Prancha 6: Condução por Radiação

Figura 74 – Prancha 6 da temática de calor.



O calor, como propagação de energia, em diferentes ambientes ou circunstâncias, se transporta de diferentes formas. Citado na prancha ☀️, o calor do Sol chega aqui através de **radiação**! A sensação de calor, sentida por uma fogueira, por exemplo, é da mesma forma: Radiação. Propagações de energia dessa maneira, são denominadas energias radiantes!

Raciocinando:
O que esquenta mais rápido: uma panela preta com água fria ou uma panela prateada com água fria?



Os termômetros infravermelhos funcionam a partir da radiação térmica. Basta apontá-lo que ele já nos dá a leitura da temperatura!

De toda energia produzida pela fusão dos elementos no núcleo das estrelas, o Sol por exemplo, uma boa parte é emitida na forma de radiação.

Analisando
Tudo ao nosso redor, você e tudo o mais que nos rodeia, emitem calor que é uma energia radiante em determinada faixa de frequências! Objetos a temperaturas ambientes, 25° C, emitem ondas infravermelhas que possuem baixas frequências. Quando você está tomando Sol, no meio do dia, você sente a sensação de calor, e essas ondas, que são infravermelhas, possuem altas frequências. Portanto, a radiação infravermelha é denominada de **radiação térmica**.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Discutir as diferentes formas de transferência de calor, iniciando pela radiação. Citar a radiação do Sol como exemplo e que uma das características dela é a não necessidade de meio material, sendo essa a definição de radiação. Além disso, citar exemplos do cotidiano dos estudantes, com imagens alguns, para que identifiquem essa forma de transferência de calor.

D.4.7 Prancha 7: Condução por Condução e Convecção

Figura 75 – Prancha 7 da temática de calor.

Outra forma, é quando estamos segurando uma barra de ferro. Se estivermos ao ar livre, ela se esquentará e sentiremos isso através de nossas mãos. Isso ocorre através de **condução**, visto que houve a necessidade do contato mão – barra de ferro.

É uma última forma de transmissão de calor é a que ocorre em fluidos, **convecção**. Quando fervermos uma panela com água no fogão, como no desenho abaixo, a chama do bocal, fará a temperatura do líquido subir. Nesse processo, o material da panela aquece e essa esquentará a água. Dentro do líquido, a água na parte de baixo aumenta sua temperatura e sobe para a parte superior, devido a sua densidade diminuir.

A água na parte superior, com temperatura menor, desce, trocando de lugar com o líquido da parte de baixo. E esse processo acontece até toda água atingir a temperatura necessária, criando correntes de convecção.

Fluidos são substâncias que possuem a característica de fluir ou escoar! Além disso, qualquer ambiente ou sistema que estejam, eles assumem o formato do mesmo.

Importante lembrar que a convecção ocorre sempre que há diferença de temperaturas nos fluidos. Alguns exemplos: é responsável pelas nuvens do céu e contribui para as correntes marítimas, a deriva de placas tectônicas, que produz erupções e terremotos, é causado pela convecção do. No interior do Sol, a energia se propaga através de correntes de convecção, até chegar à sua superfície e ser emitida em forma de radiação para todo o universo.

Fonte: Elaborado pelo autor.

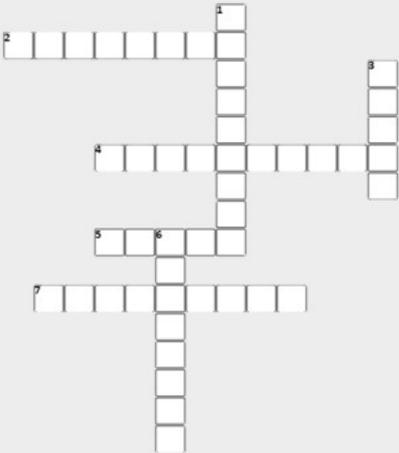
Discutir a transferência de calor por condução a partir do exemplo da barra de ferro, no qual ao segurá-la havendo uma chama abaixo da extremidade oposta, aos poucos sentiremos nossa mão esquentar. Definir a condução como um tipo de transferência de calor que necessita de meio material para que ocorra. Desenvolver a transferência de calor por convecção, a partir do exemplo do aquecimento de água em uma panela e representar a mesma em uma ilustração. Discutir a maneira que ocorre o aquecimento dessa água, através da condução da chama do bocal do fogão para a panela, e que a água se encontra na parte inferior se aquece. Identificar que, por consequência desse aumento de temperatura, sua densidade diminui e ela migra para a parte superior do recipiente, sendo que a parte da água que se encontrava ali, agora migra para a parte inferior. E o processo ocorre novamente, e isso se repete até toda o recipiente se encontrar a mesma temperatura e começar a ferver. Definir a convecção como sendo essa forma de transferência de calor, através da troca de energia a partir das densidades. Além disso, identificar o meio fluido no qual ocorra essa transferência de calor.

D.4.8 Prancha 8: Problemas e exercícios sobre calor

Figura 76 – Prancha 8 da temática de calor.

Praticando a Física

- Em um banho de 5 minutos, são gastos aproximadamente 50 kg de água. Em um dia de inverno, a água está com uma temperatura de 15°C e o chuveiro a esquentar a uma temperatura de 45°C . Encontre a quantidade de calor que é necessário para esquentar a água. Isso explica o motivo do chuveiro elétrico consumir tanta energia elétrica? Calor específico da água: $1\text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$
- Quais dos valores de energia térmica é maior: 1 caloria, 1 Caloria ou 1 joule? Explique.
- Faça a cruzadinha abaixo



Horizontais

- Transferência de energia que ocorre por meio de ondas eletromagnéticas;
- Calor _____ é a capacidade de um corpo armazenar energia;
- O que há entre a Terra e o Sol;
- Tipos de ondas que necessitam de meio material.

Verticais

- Transferência de energia térmica em um líquido ou gás por meio de correntes no interior do fluido aquecido;
- Só existe caso haja dois corpos ou sistemas com diferentes temperaturas;
- Transferência de energia térmica pelas colisões das partículas no interior de um material sólido.

- Durante o seu café da manhã, anote o quanto de energia cada um deles possui, através da tabela nutricional. Faça o cálculo de quanta energia seu corpo adquiriu no seu café da manhã e discuta o seu resultado.
- (Hewitt - modificada) Em um dia ensolarado e aberto, mas que esteja muito frio, você dispõe de um casaco preto e de um casaco de plástico transparente. Qual deles você deveria vestir para se sentir mais aquecido ao sair de casa?

Fonte: Elaborado pelo autor.

Desenvolver atividades e problemas lúdicos acerca das temáticas apresentadas, de forma que o estudante compreenda as mesmas.

D.5 Cores e Ótica

1. Objetivos Gerais

- Discutir e desenvolver as diferentes cores que o intervalo de luz visível apresenta, de forma que o aluno identifique a radiação solar e os extremos do espectro visível, no qual os diferencie conforme valor de frequência ou comprimento de onda;
- Discutir e identificar os fenômenos óticos a partir de problemáticas que são presentes em seus cotidianos, de forma que os caracterize conforme propagação da luz antes e após o fenômeno.

2. Objetivos Específicos

- Identificar as cores de um objeto a partir dos fenômenos de absorção e reflexão da luz. Além disso, desenvolver o conceito de cor primária e as variações desta para a formação das demais;
- Identificar e discutir os pigmentos que a tecnologia se utiliza, de forma que o estudante saiba caracterizar e diferenciar a luz visível de pigmentos;
- Identificar como fator principal da dispersão da luz branca, o ângulo com o qual a luz incidente faz com a superfície ou objeto e que identifique e discuta também o fenômeno de refração que ocorre na dispersão;
- Discutir a formação de um arco íris e identificar os fenômenos óticos presentes nesse fenômeno;
- Desenvolver o fenômeno de espalhamento da luz a partir do fenômeno ótico do pôr do Sol.

3. Conteúdo das pranchas

- Frequência e comprimento de onda;
- Cores e pigmentos;
- Dispersão da luz branca;
- Absorção e reflexão da luz;
- Espalhamento da luz.

4. Procedimentos Metodológicos

D.5.1 Prancha 1: A cor verde de um vegetal

Figura 77 – Prancha 1 da temática de cores e ótica.

Cores

Tudo que visualizamos ao nosso redor compreende de radiações com frequência e comprimento de onda, dentro do intervalo da luz visível do espectro eletromagnético!



A cor de um corpo é determinada pela absorção e reflexão da radiação incidente sobre ele!

Essa folha exposta durante o dia, nos parece verde pois está refletindo a cor verde e absorvendo as demais. Se você a expor sobre uma luz vermelha, ela lhe parecerá de cor preta!

Raciocinando:
O preto e o branco podem ser considerados cores? Explique.

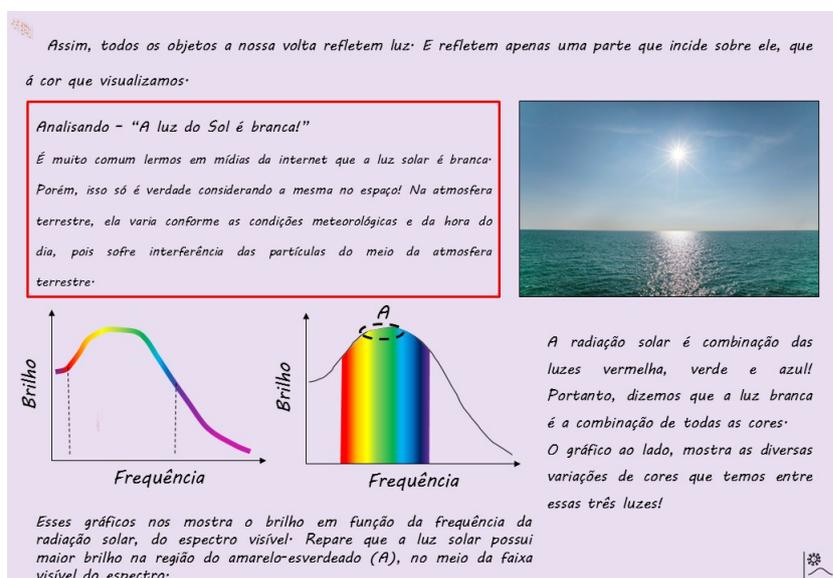
As cores dos objetos e dos corpos dependem diretamente das cores da luz que os ilumina.

Fonte: Elaborado pelo autor.

De início, discutir com os estudantes que tudo que enxergamos e visualizamos é proveniente de fenômenos óticos, no qual a radiação presente possui valores de frequência e comprimento de onda, dentro do intervalo da luz visível no espectro eletromagnético. Além disso, discutir também que a cor que um objeto, corpo ou sistema apresenta é determinada pelos fenômenos de absorção e reflexão da radiação que incide sobre ele. Discuta com eles e até mesmo, como um fator de ter conhecimento de suas pré-concepções, a coloração verde que toda folha de vegetal aparenta.

D.5.2 Prancha 2: A luz do sol é branca?

Figura 78 – Prancha 2 da temática de cores e ótica.

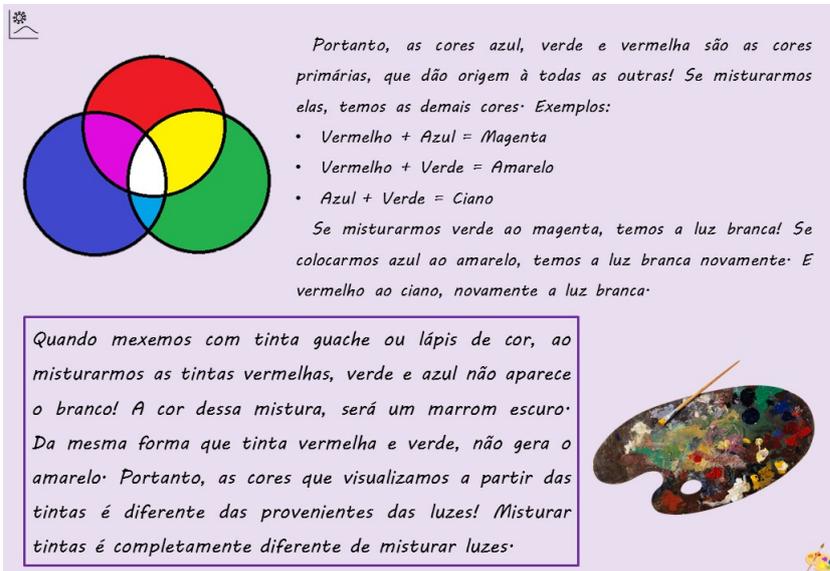


Fonte: Elaborado pelo autor.

Definir que todos os corpos refletem uma parte ou toda a luz, dependendo do corpo, incidente sobre ele, sendo que a cor que a visualizamos é a luz refletida. Dê algum exemplo usando a cor da sua blusa ou de algum estudante: se eu a vejo como azul, é porque a luz branca proveniente do Sol incidiu sobre ela e a mesma refletiu apenas a cor azul, sendo que as demais ela absorveu. Nessa prancha é importante desenvolver com os estudantes a coloração que a luz solar apresenta. Atentá-los para o fato que a luz proveniente do Sol é branca, porém, essa cor é restrita apenas no vácuo do espaço, sendo que quando ela incide na atmosfera terrestre, por interferências meteorológicas e do próprio meio, ela não é totalmente branca. Discuta com eles que a radiação solar é uma combinação das cores primárias: azul, verde e vermelha, e que as demais cores são combinações dessas três. É importante desenvolver o gráfico (Frequência \times Brilho) da radiação solar, de maneira que eles entendam que o brilho prevalece na região próxima do verde e amarelo. Discuta com eles que a cor que o Sol aparenta é algo próximo disso.

D.5.3 Prancha 3: A mistura de cores

Figura 79 – Prancha 3 da temática de cores e ótica.



Portanto, as cores azul, verde e vermelha são as cores primárias, que dão origem à todas as outras! Se misturarmos elas, temos as demais cores. Exemplos:

- Vermelho + Azul = Magenta
- Vermelho + Verde = Amarelo
- Azul + Verde = Ciano

Se misturarmos verde ao magenta, temos a luz branca! Se colocarmos azul ao amarelo, temos a luz branca novamente. E vermelho ao ciano, novamente a luz branca.

Quando mexemos com tinta guache ou lápis de cor, ao misturarmos as tintas vermelhas, verde e azul não aparece o branco! A cor dessa mistura, será um marrom escuro. Da mesma forma que tinta vermelha e verde, não gera o amarelo. Portanto, as cores que visualizamos a partir das tintas é diferente das provenientes das luzes! Misturar tintas é completamente diferente de misturar luzes.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Desenvolva com eles as misturas das cores primárias, de forma que eles discutam essas misturas e identifiquem suas classificações: cores primárias ou cores secundárias. Além disso, é importante que eles identifiquem que o vice-versa também é válido. Portanto, uma luz branca que é mistura das três cores primárias, se tirarmos, por exemplo, a cor verde, a luz não nos parece mais branca e sim uma coloração magenta (quase próximo ao marrom). Por fim, nessa prancha discuta com eles o uso da tinta guache e os questione se essas misturas e colorações ocorrem com elas. Discuta com eles de forma que entendam que as diversas tintas utilizadas no cotidiano possuem características e propriedades diferentes da luz visível.

D.5.4 Prancha 4: Os pigmentos

Figura 80 – Prancha 4 da temática de cores e ótica.



As tintas que são utilizadas em pintura e arte, possuem substâncias denominadas como pigmentos, que absorvem determinadas radiações e refletem outras!

Portanto, uma tinta de cor amarela possui pigmentos que absorve as demais radiações e refletindo apenas a radiação amarela.

Se você a iluminar com uma luz vermelha, ela lhe parecerá escura, pois a pigmentação presente nessa tinta absorverá a radiação vermelha e não refletirá nada.

A cor escura, o preto, é a reflexão nula! Ou seja, um corpo ou objeto que lhe parece escuro, absorve toda a radiação incidente sobre ele, não refletindo nada!

Raciocinando:
De noite o céu nos parece escuro e de dia, ele possui um tom azulado. Com o que discutimos, elabore uma explicação para essa nossa percepção.

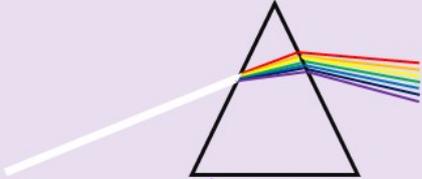
Fonte: Elaborado pelo autor.

Desenvolva com eles o conceito de pigmento e discuta que os pigmentos não possui as mesmas características e propriedades que a luz visível, sendo ela desenvolvida conforme coloração que desejo visualizar. De maneira a facilitar a discussão, dê o exemplo da incidência de uma luz vermelha sobre uma tinta amarela. Não a visualizaremos como amarela e sim, da cor escura, pois a pigmentação da tinta tem o objetivo de apenas refletir o amarelo e absorver as demais. Se eu incido apenas uma radiação vermelha sobre ela, ela absorverá toda essa radiação, não refletindo nada. Com esse gancho, defina a cor escura como a reflexão nula, de maneira que eles identifique a cor preta como um corpo que não reflete nada e sim, que absorve toda radiação incidente sobre ele.

D.5.5 Prancha 5: A dispersão da luz branca

Figura 81 – Prancha 5 da temática de cores e ótica.

O importante a ressaltar sobre a visualização de cores e nossas percepções visuais no dia a dia, é a geometria e o meio material presente no fenômeno.



É bem comum, visualizarmos as cores do íris, nos vidros de janela ou em respingos de torneira.

Um exemplo é incidir a luz de uma lanterna (ou do próprio celular), com **determinado ângulo**, em um prisma ou em um recipiente. Nessa imagem, vemos como isso ocorre: a lanterna do celular acionada e colocada próximo ao recipiente com determinado ângulo.

O que ocorre é que a parte de luz visível, proveniente do Sol, se dispersa, ou seja, se divide em todos os seus comprimentos de onda e muda de meio. Isso só ocorre conforme ângulo de incidência, o ângulo que os raios de luz faz com a superfície do objeto ou material presente.



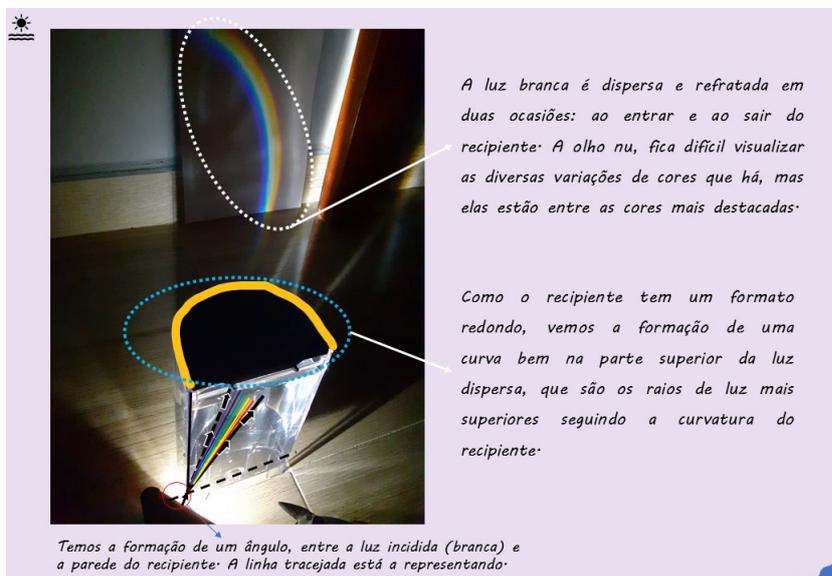
Fonte: Elaborado pelo autor.

Discuta com eles que tudo que visualizamos é uma combinação da geometria e o meio material que isso ocorre. Como exemplo, discuta passo a passo com eles, a incidência da luz solar em um prisma no qual podemos visualizar algo próximo de um arco íris. Pode usar a ilustração da prancha no qual temos um recipiente de vidro com água, quadrado ou retangular, também para desenvolver essa discussão. De início, a luz solar incide com um determinado ângulo e muda de meio material,

do ar para o vidro. Dentro do prisma, as cores já separadas, vão incidir sobre a outra superfície do prisma que, novamente, muda de meio material, do vidro para o ar. Defina o fenômeno de dispersão como a divisão da radiação solar visível em todos os seus comprimentos de ondas, ao mudar de meio material. É importante discutir com eles também, ao definir dispersão, a angulação que a radiação solar faz com o meio e a mudança do mesmo, de maneira que eles identifiquem nesse fenômeno esses dois fatores como determinantes no fenômeno. Além disso, discuta com eles também que quando uma radiação muda de meio material, dizemos que ela foi **refratada**.

D.5.6 Prancha 6: Discutindo o fenômeno óptico de dispersão

Figura 82 – Prancha 6 da temática de cores e ótica.

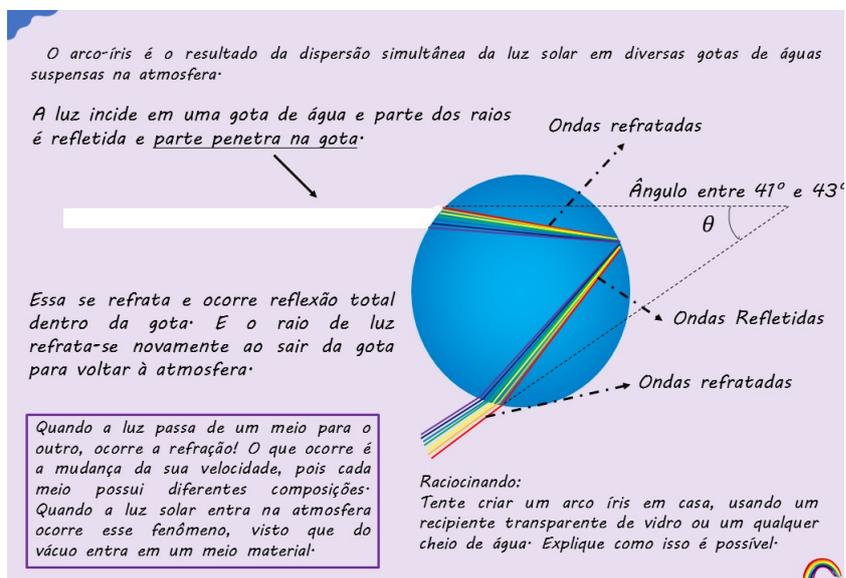


Fonte: Elaborado pelo autor.

Discuta com eles agora, que todo esse fenômeno da dispersão, apresenta diversas cores, todas as variações que as cores primárias apresenta, mas a olho nu, vemos as principais. Além disso, nessa prancha em específico, discuta com eles o que ocorre ao incidirmos a luz branca da câmera de um celular, com um determinado ângulo sobre um dos vértices do recipiente. O que ocorrerá é o fenômeno da dispersão, sendo possível visualizarmos as cores do arco íris. Desenvolva com eles novamente, as etapas do processo de dispersão: ângulo de incidência, mudança de meio (luz refratada) e novamente, mudança de meio. Com essa combinação, temos um fenômeno de dispersão a partir da lanterna do celular e um recipiente caseiro, de vidro com água. E discuta com eles a formação de um arco, no qual segue o formato do recipiente que é redondo.

D.5.7 Prancha 7: A dispersão e o arco íris

Figura 83 – Prancha 7 da temática de cores e ótica.

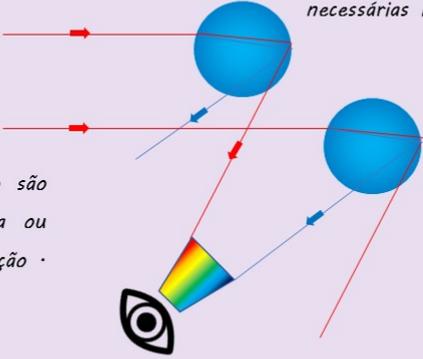


Fonte: Elaborado pelo autor.

Discutir a dispersão da luz novamente, porém levando em conta agora o exemplo do arco íris. Desenvolver com os alunos passo a passo de como ocorre o arco íris, discutindo cada etapa em uma gota de água. Deixar claro com eles, que o arco íris é o conjunto de milhares de gota de água de uma precipitação. Como na prancha anterior, é importante frisar com os alunos que para o fenômeno ocorrer, é necessário um ângulo de incidência e que a luz solar, novamente, é refratada, no qual as cores se separam, indo do meio material ar para o meio material água. Na sequência, elas são refletidas do outro lado da gota e ao chegar na parte inferior da gota, são refratadas novamente, mudando do meio água para o ar. Essas últimas radiações refratadas são o que nós visualizamos como arco íris.

D.5.8 Prancha 8: As cores do arco íris

Figura 84 – Prancha 8 da temática de cores e ótica.



O diagrama ilustra a formação do arco-íris em gotas de chuva. Duas gotas azuis esféricas são mostradas. Raios de luz vermelha incidem horizontalmente sobre as gotas. Dentro de cada gota, os raios são refratados e refletidos na parede interna oposta. Quando saem da gota, os raios emergem em ângulos diferentes, com o raio vermelho saindo em um ângulo menor que o raio azul. Um olho humano observa a luz emergente, percebendo um espectro de cores (arco-íris) devido à dispersão da luz.

Cada gota de água é responsável por apenas uma cor e ela é dependente do ângulo formado, entre a incidência e a saída da luz.

A forma de arco é por conta da forma da gota, arredonda.

Por exemplo, o arco vermelho são inúmeras gotas com a mesma ou valores bem próximos de angulação.

Raciocinando:

Desenhe um esquema dos fenômenos óticos que ocorrem durante um a formação de um arco íris. Ou seja, durante a incidência dos raios solares nas gotas de chuva.

O desenho está fora de escala, mas as gotas são minúsculas e para que ocorra a visualização do arco íris, são necessárias inúmeras gotículas

Cada cor observada provém de um grupo de gotas com a mesma angulação ou muito próximas, geralmente entre 40° e 42°.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Discutir com os estudantes que cada gota é responsável por um cor que visualizamos do arco íris, bem como que para que isso ocorra é necessário que os ângulos entre a luz incidente e as luzes refratadas sejam algo em torno de 40° e 42°. Desenvolver também a forma de arco que apresenta, relacionando ao exemplo anterior discutido, pois de maneira análoga, a gota d'água possui uma forma ondulada e o que vemos segue esse formato. Outro detalhe importante é discutir com os estudantes é que cada cor do arco íris que vemos, são inúmeras gotas com valores bem próximos de angulação da mesma. Por exemplo, o azul que vemos é formado por milhares de gotas que refratam radiações próximas ou variações da cor azul. A combinação de todas elas, é a cor azul que nos parece.

D.5.9 Prancha 9: Espalhamento e o pôr do Sol

Figura 85 – Prancha 9 da temática de cores e ótica.



Um exemplo é a diferente coloração que o Sol nos mostra ao longo do dia, conforme a Terra gira ao redor do seu próprio eixo.

Na maior parte do dia, ele nos parece amarelo, quase branco, como da figura da prancha , porém, no nascer e no pôr do Sol vemos uma cor mais alaranjada, tendendo ao vermelho.

Não é apenas de somar ou subtrair as luzes que temos as cores, há algumas que são resultados de um fenômeno chamado espalhamento seletivo. Um exemplo é o azul de nosso céu e de nossos oceanos:



*A luz solar, ao entrar na atmosfera terrestre, incide sobre as milhares partículas presentes, na maioria: oxigênio e hidrogênio. O movimento oscilatório dos elétrons aumenta e eles reemitem a luz em diversas direções. Sendo assim, a luz é **espalhada**.*

Essa reemissão ocorre nas radiações que possuem frequências próxima ao azul e, principalmente, no violeta!

Raciocinando:
As montanhas distantes no horizonte, nos parecem de cor azul. Explique.

Embora a luz violeta seja mais espalhada do que a azul, nossos olhos não são muito sensíveis ao violeta. Portanto é a luz azul espalhada que predomina em nossa visão, razão pela qual enxergamos o céu azul!



Fonte: Elaborado pelo autor.

Discutir com os alunos a coloração que o Sol nos parece ao longo do dia, de maneira a relacionar todos os tópicos discutidos até agora com essa temática. Atente para os períodos de nascer e pôr do sol, que são os momentos em que o Sol apresenta colorações bem distintas. Discuta também a coloração azul do céu, atentando para o fato de que o nosso céu não é um vácuo e sim, um meio material repleto de partículas e moléculas que interferem diretamente nessa propagação da radiação

solar. Com isso, defina o espalhamento da luz e que a coloração azul é por conta das milhares de partículas de oxigênio e hidrogênio presentes na atmosfera terrestre. Caso considere necessário, discuta com eles também a coloração azul dos oceanos e suas variações de tonalidade, no qual possui explicação análoga. Por fim, discuta com eles que grande parte dessa radiação espalhada, além do azul, é violeta, só que por conta da sensibilidade de nossos olhos, que não é tão sensível para o violeta, o azul predomina.

D.5.10 Prancha 10: Problemas e exercícios sobre cores e ótica

Figura 86 – Prancha 10 da temática de cores e ótica.

 **Praticando a Física**

1. Leia com atenção um pequeno trecho da canção "Além do olhar":

Além do olhar

[...] É como a luz do Sol que toca um cristal
E em sete cores mostra assim
Que tudo é natural
É como o som do mar que vem nos alcançar
Pra nos mostrar o amor
O amor que existe além do olhar [...]

HENRIQUE, P.; SOLEDADE, P. Além do olhar. Intérprete: Ivo Pessoa.
Álbum: O profeta. Gravadora: Som Tropical (selo Globo). 2006.

a) Que tópico de física você encontrou nesse trecho?

b) Você concorda com o que está escrito no segundo verso? Explique.

2. Imagine se as partículas presentes na atmosfera espalhassem apenas as radiações de baixa frequência. Que cor o céu nos pareceria?

3. Marque com um X, as paisagens que nos parecem devido ao espalhamento da luz:

a) () Tela do Celular; d) () O céu durante o nascer do Sol;
b) () Folhas de uma árvore; e) () O asfalto;
c) () O azul de um lago; f) () Lago vermelho no sudoeste da Bolívia.

4. Usando a figura da prancha , ligue as cores as respectivas combinações:



Fonte: Elaborado pelo autor.

Desenvolver atividades e problemas lúdicos acerca das temáticas apresentadas, de forma que o estudante compreenda as mesmas.

D.6 Espectro Eletromagnético

1. Objetivos Gerais

- Identificar e discutir as ondas eletromagnéticas como propagações de energia que são independentes de meio material;
- Desenvolver e discutir os inúmeros tipos de ondas eletromagnéticas existentes na natureza, de forma que o estudante identifique a partir do espectro eletromagnético.

2. Objetivos Específicos

- Identificar o espectro eletromagnético, como uma classificação das ondas, a partir da discussão das diversas energias emitidas pelo Sol;
- Desenvolver e discutir a velocidade da luz a partir da apresentação da biografia de James Clerk Maxwell;
- Identificar essas radiações como ondas eletromagnéticas, visto que se propagam no vácuo no espaço, desde o Sol até a Terra;
- Identificar e discutir as diferentes ondas do espectro, sendo as de maiores frequências, as mais energéticas, no qual oferecem risco ao corpo humano e as de menores frequência, as menos energéticas;
- Identificar as ondas de infravermelho, como calor ou energia térmica;

3. Conteúdo das pranchas

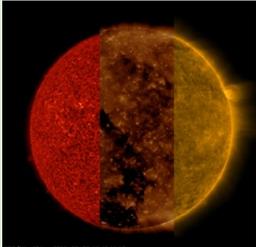
- Ondas eletromagnéticas;
- Frequência e comprimento de onda;
- Cores

4. Procedimentos Metodológicos

D.6.1 Prancha 1: Tipos de energia provenientes do Sol

Figura 87 – Prancha 1 da temática de espectro eletromagnético.

Ondas de Rádio até Raios Gama



Há diversos tipos de propagações de energia no universo, ou seja, variados tipos de ondas por aí. Desde o som de uma corrente de ar, até as radiações expelidas por um acidente nuclear. E todas elas possuem características semelhantes.

Raciocinando:
Qual é a semelhança entre o som do canto de um pássaro e o sinal de seu wi-fi?

O Sol emite todos os tipos de ondas: ondas de rádio, infravermelho, a luz visível, ultravioleta, micro-ondas e raios alfa e gama. Dentre essa variedade, só conseguimos visualizar um pequeno intervalo, a luz visível!



Fonte: Elaborado pelo autor.

Inicialmente, discuta com os alunos os diversos tipos de energia existentes no universo. Como já foi definido ondas como propagação de energia, então todas essas energias fluindo pelo universo são ondas. Além disso, lembre-os que todas elas possuem características semelhantes e são descritas pelas mesmas grandezas: frequência e comprimento de onda, apesar de cada um ter uma quantidade diferente. Discuta também que o Sol emite todos os tipos de ondas, desde o rádio, até as radiações mais energéticas como os raios alfa e gama.

D.6.2 Prancha 2: O que tem no vácuo do espaço?

Figura 88 – Prancha 2 da temática de espectro eletromagnético.

A prancha de conteúdo educacional com fundo verde claro. No topo esquerdo, há um ícone de ondas azuis. O texto principal está em itálica e descreve a classificação das ondas eletromagnéticas e a importância do espectro eletromagnético. Abaixo do texto, há um ícone de uma prancha de madeira com uma grade vermelha. À esquerda, há um círculo amarelo com ícones de planetas e um telescópio. À direita, há um retângulo vermelho com texto explicando a natureza física do vácuo e sua temperatura. No canto inferior direito, há um ícone de um foguete.

Antes de prosseguirmos, é necessário dar uma olhada em  para entendermos melhor as ondas eletromagnéticas.

As ondas eletromagnéticas são classificadas, em um conjunto, quanto ao seu comprimento de onda ou frequência. Essa classificação é colocada em uma espécie de gráfico ou tabela, na prancha , denominada Espectro Eletromagnético!

Apesar da ideia do vazio ou do nada, o vácuo é uma condição física que descreve um local em que não há quase nenhuma matéria. Portanto, mesmo que quase nula, há matéria presente ali. Um outro detalhe é que a temperatura em um local do espaço, distante, sem estrela próxima é algo próximo de -270°C ou 3 K !

Fonte: Elaborado pelo autor.

Discuta com os estudantes que todas as ondas provenientes do universo, ou seja, do vácuo do espaço são **ondas eletromagnéticas**. Defina o espectro eletromagnético como uma classificação ou diagramação, segundo valores de frequência ou comprimento de onda das radiações eletromagnéticas. Importante discutir nessa prancha que o vácuo do espaço, apesar de nos dar a ideia de vazio, isso não é bem verdade. Pois há uma quantidade ínfima de matéria presente ali e que, conforme já definimos temperatura, há um valor de temperatura no vácuo o que nos remete à matéria presente ali.

D.6.3 Prancha 3: Breve história sobre James Clerk Maxwell

Figura 89 – Prancha 3 da temática de espectro eletromagnético.

Para saber mais: James Clerk Maxwell (1831 – 1879)

Responsável por desenvolver a Teoria do Campo Eletromagnético que levou à conclusão da existência das ondas eletromagnéticas! Ela foi desenvolvida em quatro equações, muito famosas no meio científico: Equações de Maxwell.

A partir delas, demonstrou que a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas no vácuo pode ser calculada por:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Sendo: μ_0 a permeabilidade magnética do vácuo e ϵ_0 a permissividade elétrica do vácuo, duas constantes com valores já definidos. Assim, Maxwell encontrou a velocidade da luz no vácuo:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}} = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{1}{4\pi \times 9 \times 10^9}\right) \left[\frac{C^2}{N \cdot m^2}\right] \times (4\pi \times 10^{-7}) \left[\frac{T \cdot m}{A}\right]}} \cong 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

Na prancha 1, há uma discussão mais detalhada sobre as unidades presentes no cálculo da velocidade da luz!



Com a morte de seu pai, Maxwell se aposentou para cuidar das terras da família, que eram muitas! Nesse tempo, realizou grandes contribuições à física experimental. Uma delas, obteve o auxílio de sua esposa realizando experiências sobre a viscosidade dos gases.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Apresentar aos estudantes uma breve biografia de James Clerk Maxwell e seus trabalhos no campo da física. Discutir com os alunos que Maxwell, em seus estudos sobre campo eletromagnético, concluiu a existência das ondas eletromagnéticas e que isso foi desenvolvido em quatro equações, que ficaram famosas e conhecidas como **Equações de Maxwell**. Discutir que ele demonstrou a velocidade da luz a partir de uma equação, tal como:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}}$$

e que há uma prancha a parte, desenvolvendo essa equação e demonstrando como chegou ao valor da velocidade da luz. Além disso, discutir com os estudantes que Maxwell perdeu seu pai e se aposentou para cuidar das terras da família. E nesse período, desenvolver grandes trabalhos para a física experimental, inclusive com a ajuda de sua esposa.

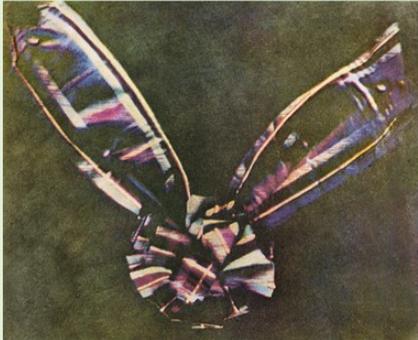
D.6.4 Prancha 4: Trabalhos desenvolvidos por Maxwell

Figura 90 – Prancha 4 da temática de espectro eletromagnético.

C



A primeira fotografia colorida registrada foi feita por Maxwell e seu assistente, Thomas Sutton, em 1861! Realizando estudos da percepção das cores, utilizou-se de uma nova técnica usando as cores primárias: azul, verde e vermelho. Vide prancha 🎨.



Maxwell recebeu o prêmio Adams, em Cambridge, por um artigo sobre a estabilidade dos anéis de Saturno. Ele demonstra que estes não podem ser completamente sólidos nem fluidos.

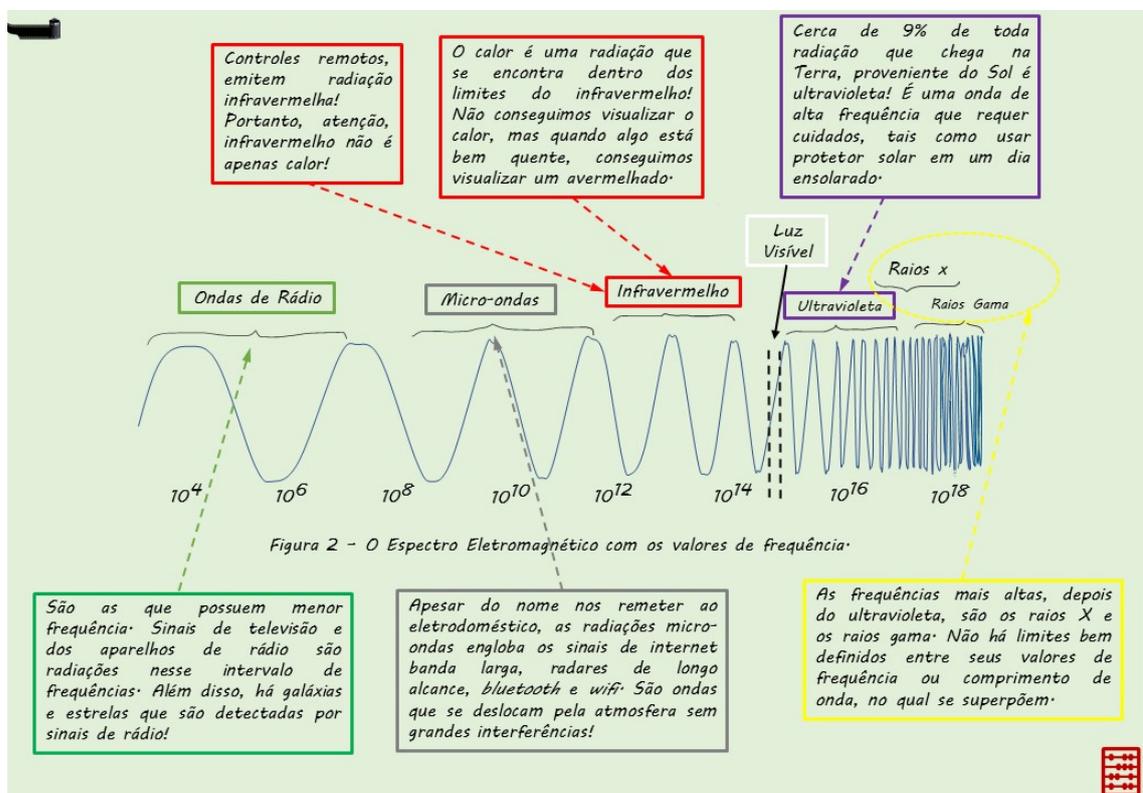
Além disso, influenciou a termodinâmica do séc. XX, com a publicação do livro: A Teoria do Calor. Os trabalhos de Maxwell teve grande influência no desenvolvimento científico do séc. XX

Fonte: Elaborado pelo autor.

Continuando na apresentação da biografia de Maxwell, agora discuta com os estudantes a primeira foto colorida registrada da história, que foi realizada por Maxwell e seu assistente. Além disso, discuta com eles que Maxwell também fez trabalhos em astronomia, inclusive foi premiado por ter feito um estudo sobre a estabilidade dos anéis de Saturno. E outra área que Maxwell atuou foi na termodinâmica, sendo eles influentes no desenvolvimento científico do século XX.

D.6.5 Prancha 5: O Espectro Eletromagnético

Figura 91 – Prancha 5 da temática de espectro eletromagnético.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nessa prancha, apresente e discuta com os alunos as classificações das ondas eletromagnéticas. Discuta os exemplos, características e propriedades de cada onda, de forma que o estudante entenda que cada tipo de onda possui variações. Além disso, discuta também que as ondas com **maiores frequência** ou **menores comprimento de ondas** são as mais energéticas e as de **menores frequências** ou **maiores comprimento de ondas** são as menos energéticas. Uma outra discussão importante é sobre os limites da luz visível, no qual a própria nomenclatura facilita a identificação, sendo o infravermelho próxima do vermelho (o calor) e o ultravioleta próxima do violeta. Importante frisar e mostrar aos alunos que o intervalo de luz visível é a única parte que enxergamos, que é uma parte ínfima de todas as propagações de energia do universo.

D.6.6 Prancha 6: Ondas de alta energia e de baixa energia

Figura 92 – Prancha 6 da temática de espectro eletromagnético.



Os valores de 10^4 até 10^{18} , que está abaixo do espectro, nos mostra os valores de frequência das ondas eletromagnéticas. As ondas de rádio possuem baixa frequência, sendo de baixa energia, enquanto raios x e raios gama são de alta frequência, altas energias.

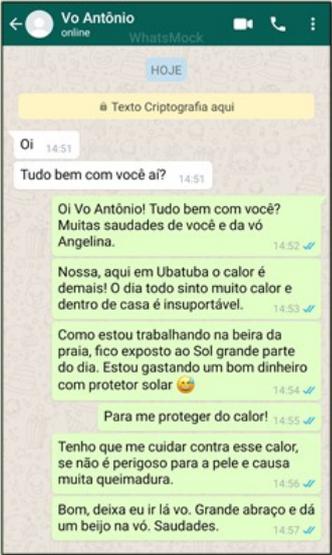
Para saber mais
Na figura 1, na prancha , temos o Sol visto em três tipos diferentes de ultravioleta. No espectro, o ultravioleta possui um intervalo e essa imagem é visualizada com valores diferentes de frequência do ultravioleta! É possível fazer isso com qualquer corpo ou objeto, em qualquer intervalo do espectro!

Raciocinando:

1. Podemos dizer de fato, que o vácuo é um espaço vazio? Que não há nada nele? Explique.

2. Todas os tipos de energia emitido pelo Sol, todas as formas de radiação eletromagnética, chegam ao mesmo tempo aqui na Terra. Podemos considerar isso como uma evidência de que a luz não depende da frequência? Explique.

3. Daniel está morando em Ubatuba - SP e, com muitas saudades de seu avô, enviou uma mensagem no WhatsApp para ele. Analise o texto e com o que você aprendeu até agora, identifique o erro.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Discutir que as ondas eletromagnéticas de alta frequência, ou seja, energéticas, são prejudiciais ao nosso organismo. Pode utilizar como exemplo os efeitos e consequências da energia nuclear, acidentes nucleares ou desastre nucleares como

Chernobyl ou Hiroshima e Nagasaki. Desenvolver atividades e problemas lúdicos acerca das temáticas apresentadas, de forma que o estudante discuta as mesmas.

D.6.7 Prancha 7: O intervalo de luz visível

Figura 93 – Prancha 7 da temática de espectro eletromagnético.

 Então, perceba que dentro do espectro há uma pequena parte, chamada de luz visível. Essa radiação, energia, é responsável por tudo que nós enxergamos!

Raciocinando:
Escutamos músicas nos aparelho de rádio. Podemos dizer que ondas de rádio são ondas sonoras? Explique.

O sinal de wifi, que chega nos aparelhos celulares é uma radiação de micro ondas!

... $\times 10^{14}$ Hz

Vermelho	3,84
Laranja	4,82
Amarelo	5,03
Verde	5,20
Ciano	6,10
Azul	6,59
Violeta	7,69



Quando vemos um arco íris, estamos vendo essas radiações através do fenômeno físico, denominado dispersão da luz branca (símbolo)!

Figura 4 - A luz visível é constituída por radiações que nós visualizamos como essas cores.

Ondas de infravermelho, que ficam bem abaixo da luz vermelha e após o micro ondas, é o calor! Na prancha ☺, a leitura da radiação térmica, o calor, é feita a partir de ondas de infravermelho.

As frequências de radiação, que nós conseguimos enxergar, constituem uma parte ínfima do espectro eletromagnético medido. Luz vermelha são as frequências mais baixas que conseguimos visualizar e as mais altas, como violeta.

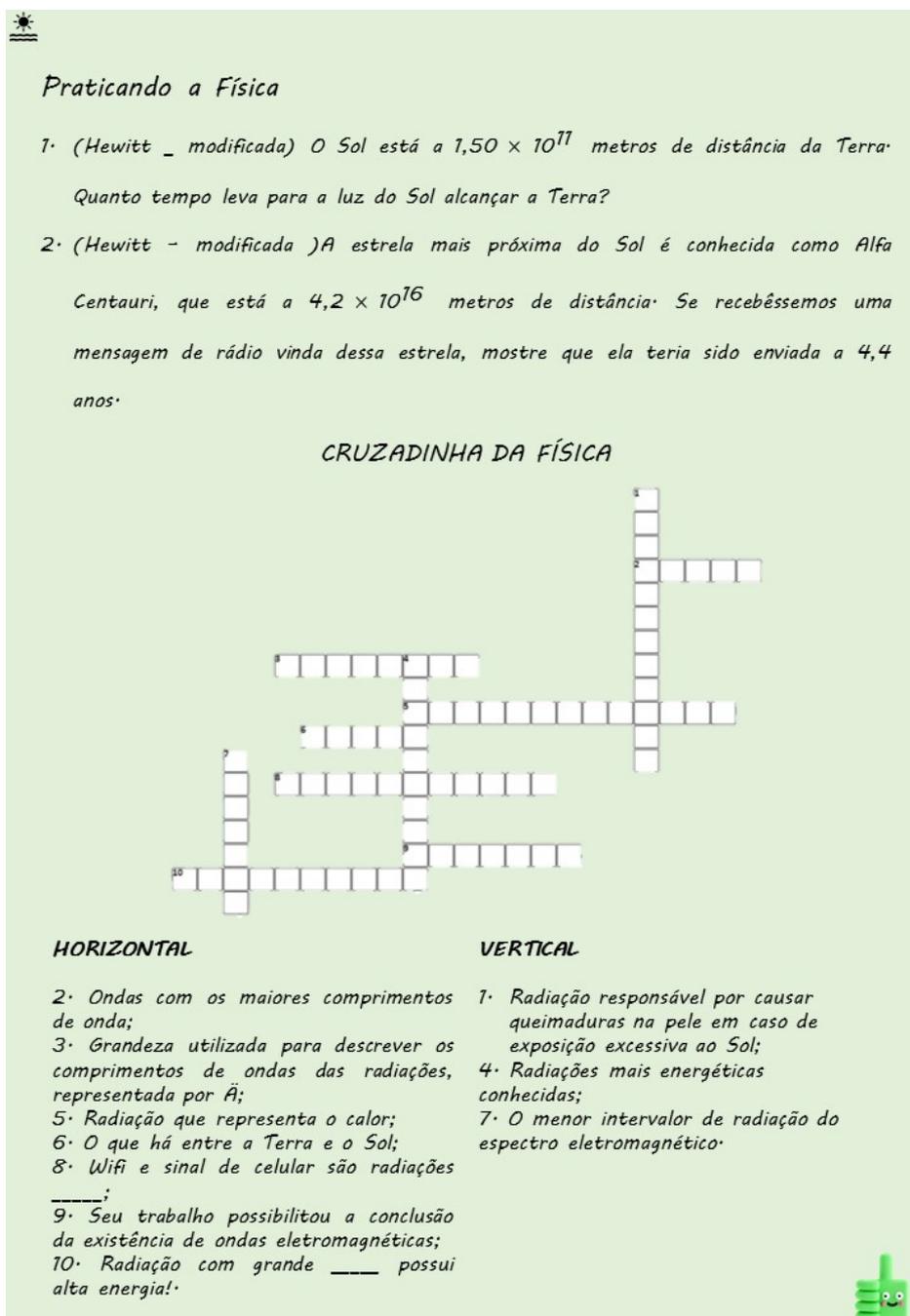


Fonte: Elaborado pelo autor.

Discutir o intervalo da luz visível, sendo este as únicas radiações que conseguimos visualizar. Apresentar os valores de frequência que cada cor possui, de maneira que o aluno identifique que seus intervalos são praticamente inexistentes, visto que o expoente é 14.

D.6.8 Prancha 8: Problemas e exercícios sobre o espectro eletromagnético

Figura 94 – Prancha 8 da temática de espectro eletromagnético.

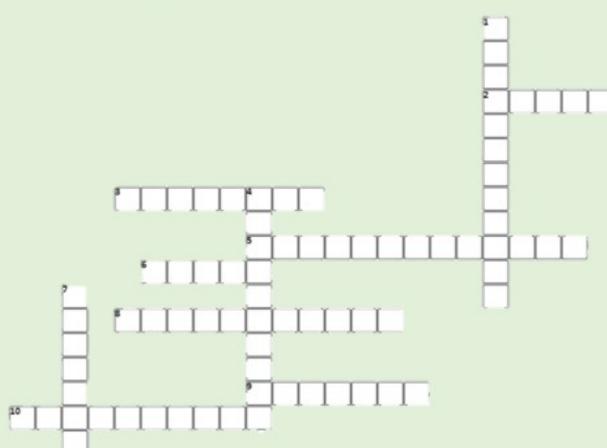



Praticando a Física

1. (Hewitt - modificada) O Sol está a $1,50 \times 10^{11}$ metros de distância da Terra. Quanto tempo leva para a luz do Sol alcançar a Terra?

2. (Hewitt - modificada) A estrela mais próxima do Sol é conhecida como Alfa Centauri, que está a $4,2 \times 10^{16}$ metros de distância. Se recebêssemos uma mensagem de rádio vinda dessa estrela, mostre que ela teria sido enviada a 4,4 anos.

CRUZADINHA DA FÍSICA



HORIZONTAL

- 2. Ondas com os maiores comprimentos de onda;
- 3. Grandeza utilizada para descrever os comprimentos de ondas das radiações, representada por Å ;
- 5. Radiação que representa o calor;
- 6. O que há entre a Terra e o Sol;
- 8. Wifi e sinal de celular são radiações _____;
- 9. Seu trabalho possibilitou a conclusão da existência de ondas eletromagnéticas;
- 10. Radiação com grande _____ possui alta energia!.

VERTICAL

- 1. Radiação responsável por causar queimaduras na pele em caso de exposição excessiva ao Sol;
- 4. Radiações mais energéticas conhecidas;
- 7. O menor intervalo de radiação do espectro eletromagnético.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Desenvolver atividades e problemas lúdicos acerca das temáticas apresentadas, de forma que o estudante compreenda as mesmas.

D.7 Pranchas auxiliares

Esse conjunto de prancha visa suprir aspectos necessários para o desenvolvimento dos tópicos presentes nas pranchas anteriores bem como servir como um complemento de conhecimentos ausentes ou deficientes na formação dos alunos.

D.7.1 Prancha: Múltiplos e Submúltiplos de Unidades de Medida

Figura 95 – Prancha 1 da temática de notação científica.

Múltiplos e Submúltiplos de Unidades de Medida

Para entendermos melhor a Física e as ciências em geral, é preciso entender o que são as unidades de medidas, seus múltiplos e submúltiplos.

São utilizados diferentes nomes para representar diversas grandezas, tão grandes como tão pequenas. A tabela abaixo, nos mostra alguns exemplos:

Nome	Símbolo	Fator de multiplicação
Tera	T	$10^{12} = 1000000000000$
Giga	G	$10^9 = 1000000000$
Mega	M	$10^6 = 1000000$
Kilo	k	$10^3 = 1000$
Mili	m	$10^{-3} = 0,001$
Micro	μ	$10^{-6} = 0,000001$
Nano	n	$10^{-9} = 0,000000001$
Pico	p	$10^{-12} = 0,000000000001$

Raciocinando

1. Já viu alguma dessas grandezas no seu dia a dia? Quais são elas?

Qualquer fenômeno físico no qual há presença de números muito grandes ou pequenos, a utilização de múltiplos e submúltiplos se faz necessário! É mais simples escrever 1 terabyte de memória do que 1.000.000.000.000 bytes de memória.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 96 – Prancha 2 da temática de notação científica.



Analisando

Com o auxílio da tabela, verifique os dois exemplos:

1. A massa dos corpos é dada em quilogramas (kg). Um corpo de 80 kg: 80×10^3 g \rightarrow possui 80.000 gramas.

2. Medidas de comprimento, largura e altura são dadas em metros (m). Uma parede que possui 1000 milímetros (mm): 1000×10^{-3} m \rightarrow possui 1 metro.

O objetivo desses fatores é simplificar a representação das grandezas físicas!

Agora é com você... Lembre-se, utilize a tabela da prancha

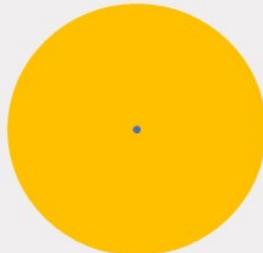
1. Uma onda de rádio possui um comprimento de onda de 3,180 km. Expresse esse valor em metros.

2. A massa do Sol é de $1,98 \times 10^{30}$ kg. Qual será seu valor em gramas?

3. Em astronomia, é muito utilizado a Unidade Astronômica (U.A). É uma unidade de distância que representa a distância entre a Terra e o Sol que é de aproximadamente $1,49 \times 10^8$ km. Sabendo que Urano está à 19 U.A do Sol, expresse essa distância em quilômetros.

É muito comum no meio científico representar comprimento de onda eletromagnética pela unidade angstroms, representado por Å.

$$1 \text{ \AA} = 1,0 \times 10^{-10} \text{ m}$$



A utilização de múltiplos e submúltiplos é uma ferramenta muito útil em todas as ciências! Facilita e simplifica muitos cálculos e representações de fenômenos físicos.

Sol é 109,2 vezes maior que a Terra. Imagine escrever seu diâmetro isso sem notação científica...



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 97 – Prancha 3 da temática de notação científica.

 No estudo de ondas eletromagnéticas, lidamos com grandezas que possuem números muito grandes e pequenos!

Ao ouvir o rádio, por exemplo, você sintoniza numa determinada frequência: 101,3 MHz (lê-se mega hertz), que representa:

$$101,3 \text{ Mhz} = 101,3 \times 10^6 \text{ Hz} = 101\cdot300\cdot000 \text{ Hz}$$



Portanto, são 101·300·000 (cento e um bilhões e trezentos mil) oscilações por segundo que essa onda de rádio gera ao longo do espaço!

O que diferencia e dita as características próprias de cada tipo de energia, são as grandezas comprimento de onda ou frequência, como já visto na prancha .

Raciocinando:
Qual é o valor da velocidade da luz em m/s (metros por segundo)?

Toda onda eletromagnética possui a mesma velocidade no vácuo do espaço, sendo constante, denotada por "c" no valor de 300·000 km/s. Ou seja, em um segundo ela percorre 300·000 quilômetros ou 300·000·000 (trezentos milhões) de metros por segundo!



Fonte: Elaborado pelo autor.

D.7.2 Prancha: Análise Dimensional

Figura 98 – Prancha 1 da temática de análise dimensional.

Análise dimensional

Há um grupo de grandezas que nos servem como base para escrevermos as demais, que são denominadas como grandezas fundamentais.

Para cada área da física, há as grandezas fundamentais, como:

1. Mecânica: massa (M), comprimento (L) e tempo (T);
2. Calor: Temperatura (θ), comprimento (L) e massa (M);
3. Eletricidade: Carga elétrica (C), tempo (T) e comprimento (L).

Para encontrarmos velocidade, dividimos o espaço percorrido ao longo de um tempo. Ou seja, a grandeza velocidade é razão de duas grandezas fundamentais da mecânica! E isso vale para as demais: aceleração, força, trabalho, energia e entre outras.

Ao nos referirmos à grandeza física e unidade dimensional, elas possuem características diferentes:

$A \rightarrow$ grandeza física

$[A] \rightarrow$ unidade dimensional de A

Exemplo: A velocidade, denominada por v , é a razão entre espaço percorrido (ΔS) e tempo (Δt):

$$\left\{ \begin{array}{l} v \rightarrow \text{velocidade} \Rightarrow v = \frac{\Delta S}{\Delta t} \\ [v] \rightarrow \frac{m}{s} \end{array} \right.$$

Portanto, toda equação física só é verdade se os dois lados possuírem a mesma unidade dimensional! Jamais podemos dizer que $20 \text{ kg} = 5 \text{ m/s}^2$, pois representam grandezas diferentes, conforme suas unidades!



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 99 – Prancha 2 da temática de análise dimensional.

 Na prancha  , há o cálculo da velocidade da luz, desenvolvido por Maxwell. Aqui, faremos uma pequena discussão acerca das unidades das grandezas presentes nesse cálculo. As duas grandezas presentes são:

$$\epsilon_0 = 8,854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

$$\mu_0 = 1,256 \times 10^{-6} \frac{T \cdot m}{A}$$

A unidade C (Coulomb) é referente à carga elétrica, N (Newton) é referente à força aplicada, T (Tesla) é referente a densidade de fluxo magnético, A (Ampere) é referente à corrente elétrica e, por fim, m (metros) é referente a distância percorrida. Fazendo a análise dimensional delas, temos:

$$[C] = [A] \cdot [s]$$

$$[N] = [kg] \cdot \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

$$[T] = \frac{[kg]}{[s] \cdot [C]} \text{ ou } [T] = \frac{kg}{s^2 \cdot A}$$

Lembra da segunda lei de Newton: $\Sigma F = m \cdot a$? É dela que sabemos que a unidade newton (N) é:

$$[N] = [kg] \cdot \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

Pois unidade de massa (m) é o quilograma (kg) e da aceleração (a) é o metro por segundo ao quadrado $\left(\frac{m}{s^2} \right)$.

A definição de corrente elétrica, denotada por I, é:

$$I = \frac{\text{variação de carga elétrica}}{\text{intervalo de tempo}}$$

Sabendo que carga elétrica é representada por Q e variação pela letra grega Δ, então:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Fazendo a análise dimensional de corrente elétrica, sendo a unidade de corrente o ampere, representado pela letra A, e da carga elétrica o coulomb, representado por C, temos:

$$[A] = \frac{[C]}{[s]}$$



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 100 – Prancha 3 da temática de análise dimensional.

Com isso, podemos fazer uma análise dimensional da velocidade da luz (c), desenvolvida por Maxwell. Convém lembrar que a unidade de velocidade (v) é

$$[v] = \frac{[m]}{[s]}$$

$$c = \sqrt{\frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}} \Rightarrow \left[\frac{m}{s} \right] = \sqrt{\frac{1}{\left[\frac{C^2}{N \cdot m^2} \right] \left[\frac{T \cdot m}{A} \right]}} \Rightarrow$$

Substituindo as unidades:

$$\Rightarrow \left[\frac{m}{s} \right] = \sqrt{\frac{1}{\left[\frac{A^2 \cdot s^2}{kg \cdot \frac{m}{s^2} \cdot m^2} \right] \left[\frac{kg \cdot m}{s^2 \cdot A} \right]}} = \sqrt{\frac{1}{\left[\frac{A^2 \cdot s^2}{kg \cdot m^3 \cdot s^2} \right] \cdot \left[\frac{kg \cdot m}{s^2 \cdot A^2} \right]}}$$

Os traços vermelhos, representa as divisões que ocorrem na expressão! Pois, quando tenho, por exemplo, $\frac{[kg]}{[kg]}$, isso nos dá como resultado uma grandeza sem unidade. Numericamente falando, um resultado igual a 1, que não interfere no restante da conta. Assim,

$$\left[\frac{m}{s} \right] = \sqrt{\frac{1}{\left[\frac{s^2}{m^3} \right] \cdot [m]}} = \sqrt{\frac{1}{\left[\frac{s^2}{m^2} \right]}}$$

Da matemática, podemos manipular a expressão de forma que:

$$\left[\frac{m}{s} \right] = \sqrt{\frac{1}{1} \cdot \left[\frac{m^3}{s^2} \right]} = \sqrt{\left[\frac{m^3}{s^2} \right]} \Rightarrow [c] = \left[\frac{m}{s} \right]$$

Portanto, apesar das unidades nos causar estranheza, a análise dimensional nos mostra que a equivalência entre elas está correta!

Fonte: Elaborado pelo autor.