

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

MÁRCIO LEANDRO ROTONDO

Uma sequência didática para abordar o Sistema Internacional de Unidades

Uberlândia

2021

MÁRCIO LEANDRO ROTONDO

Uma sequência didática para abordar o Sistema Internacional de Unidades

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal de Uberlândia como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática

Orientadora: Prof.a Dra. Débora Coimbra

Uberlândia

2021

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

R848 2021	<p>Rotondo, Márcio Leandro, 1983- Uma sequência didática para abordar o Sistema Internacional de Unidades [recurso eletrônico] / Márcio Leandro Rotondo. - 2021.</p> <p>Orientadora: Débora Coimbra. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.di.2021.253 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Ciência - Estudo ensino. I. Coimbra, Débora, 1972-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós- graduação em Ensino de Ciências e Matemática. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 50:37</p>
--------------	---

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
 Av. João Naves de Ávila, nº 2121, Bloco 1A, Sala 207 - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP 38400-902
 Telefone: (34) 3230-9419 - www.ppgecm.ufu.br - secretaria@ppgecm.ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Ensino de Ciências e Matemática				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Profissional PPGECM				
Data:	doze de março de dois mil e vinte e um	Hora de início:	14:05	Hora de encerramento:	17:21
Matrícula do Discente:	11812ECM017				
Nome do Discente:	Márcio Leandro Rotondo				
Título do Trabalho:	Uma sequência didática para abordar o Sistema Internacional de Unidades				
Área de concentração:	Ensino de Ciências e Matemática				
Linha de pesquisa:	Ensino e Aprendizagem em Ciências e Matemática				
Projeto de Pesquisa de vinculação:					

Reuniu-se virtualmente pelo Google Meet, Campus Pontal, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática, assim composta: Professores Doutores: Debora Coimbra, ICENP/UFU (Orientadora); Leandro Londero da Silva, IBILCE/Unesp (membro externo); e Milton Antonio Auth, ICENP/UFU (membro interno).

Iniciando os trabalhos a presidenta da mesa, Dra. Debora Coimbra, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado.

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de **Mestre**.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Debora Coimbra Martins, Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/05/2021, às 11:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Milton Antonio Auth, Professor(a) do Magistério Superior**, em 20/05/2021, às 14:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leandro Londero da Silva, Usuário Externo**, em 24/05/2021, às 10:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2745537** e o código CRC **C5457D78**.

Dedico este trabalho a minha esposa
Gabriela e aos meus filhos Giovana e Murilo.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Profa. Dra. Débora Coimbra pela parceria intelectual e confiança. Sou grato por sua disponibilidade nas orientações nas inúmeras reuniões (presenciais e online), pelo incentivo e motivação.

Aos professores Doutores Milton Antônio Auth e Leandro Londero da Silva que me deram orientações valiosas na banca de qualificação, contribuindo para o desenvolvimento deste trabalho. Sou muito grato pelos comentários, críticas e sugestões que foram feitas.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM-UFU) pelo aporte em minha formação, pelos ensinamentos e harmoniosa convivência.

Aos meus pais e toda minha família pelo apoio e compreensão; em especial ao meu pai José Francisco pela montagem dos aparatos experimentais das atividades do sexto encontro.

À minha esposa Gabriela por todo apoio, inclusive por ingressar nessa jornada e também pelas correções dos meus trabalhos.

Aos meus filhos, Giovana e Murilo, pela compreensão, devido às inevitáveis ausências. Inclusive quando “boa noite” era por uma vídeo chamada.

Aos colegas de turma por proporcionarem momentos de aprendizagem, companheirismo, risadas e pelos lanches de sexta-feira à tarde.

À diretora Vanessa Cardoso Cortez e à coordenadora pedagógica Cristiane Esper Araujo da Escola Estadual Professora Laura de Mello Franco por aceitarem e apoiarem o desenvolvimento do trabalho na unidade escolar. Também aos alunos por aceitarem o desafio, principalmente das aulas gravadas; em especial às alunas Thaís e Vitória pelas colaborações nas entregas e recolhimento dos materiais e dos documentos.

Ao Professor Dr. Vanderlei Salvador Bagnato e a Revista Pesquisa FAPESP por cederem as imagens, que enriqueceram o trabalho.

Ao PPGECM pela manutenção do mestrado, avaliado com conceito 4 pela CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

“Todo conhecimento é resposta a uma
pergunta.”

(BACHELARD, 1996, p. 18)

RESUMO

Este trabalho detalha a elaboração de uma sequência didática sobre o Sistema Internacional de Unidades (SI). Um dos maiores problemas enfrentados no século 21, a poluição foi problematizado e, como estratégia de ensino optou-se pela dialogação, importante para criar níveis de interação significativos entre os estudantes e o professor. O desafio de articular essa temática às sete unidades de base do SI, contextualizando-as e relacionando-as entre si, motivou que fosse fundamentada na Teoria das Situações Didáticas de Guy Brousseau. As cinco fases preconizadas por essa teoria são devolução, ação, formulação, e institucionalização, alternando situações didáticas e adidáticas. Os estudantes atuaram como agentes da estruturação dos seus pensamentos, participando ativamente na construção do conhecimento. A sequência foi aplicada em uma turma do terceiro ano do ensino médio de uma escola estadual na cidade de Franca-SP. Elenca situações em que, partindo de problemas idealizados subsidiados por dados reais, os alunos escolheram e testaram estratégias de resolução relacionadas à medição de grandezas de interesse físico e a tratamento de dados. Na fase de institucionalização, a padronização das unidades básicas do SI e suas definições atuais em termos de constantes universais foram sistematizadas e a questão problematizadora foi retomada, especificamente a poluição nos oceanos causada pelo descarte inapropriado de plásticos e a poluição luminosa. Essas atividades foram organizadas no produto educacional intitulado *Quantificação e o Novo Sistema Internacional de Unidades: pensando em algumas faces da poluição*,¹ que apresenta também um breve histórico do SI, as regras oficiais de nomes e símbolos. Os resultados obtidos apontam uma boa adesão dos estudantes na execução das tarefas e discussões, com ampla utilização do raciocínio lógico e resultante das estratégias de questionamento implementadas. A necessidade de boas práticas contextualizadas, angariando o interesse e participação dos estudantes, concorrem para um processo de ensino e aprendizagem mais eficaz e devem ser amplamente divulgadas.

Palavras-chave: Sistema Internacional de Unidades, Metrologia, Teoria da Situações Didáticas.

¹ Esse produto está disponível na coleção livros digitais do repositório CAPES, <http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/599058>

ABSTRACT

This work describes elaboration of a didactic sequence about the International System of Units (SI). In this century, pollution plays a central role and was problematized through didactical dialogue was chosen as a teaching strategy, whose main goal is to improve significant levels of interaction between students and the teacher. Link this theme to the seven basic SI units, contextualizing and relating them to each other was our challenge, motivated us to base it on Guy Brousseau's Theory of Didactic Situations. The five phases recommended by this theory are devolution, action, formulation, and institutionalization, alternating didactic and didactic situations. Students acted as agents to their thoughts structuring, actively participating in the knowledge construction process. The sequence was applied to a third-year high school class at a public school in Franca-SP city. It catalogs situations in which, starting from idealized problems supported by real data, students have chosen and tested resolution strategies related to measurement of physical interest quantities and data treatment. In the institutionalization phase, basic units of SI standardization and its current definitions in universal constants terms were systematized and the problematic question was taken up, specifically oceans pollution caused by inappropriate plastics disposal and light pollution. These activities were organized in the educational product entitled *Quantificação e o Novo Sistema Internacional de Unidades: pensando em algumas faces da poluição*,² which join also a brief history of SI, and the names and symbols official rules. The results obtained point to a good students approval to tasks execution and discussions, resulting from questioning strategies implemented, with wide logical reasoning use. The need for good contextualized practices, appeal to students' interest and participation, contributing to a more effective teaching and learning process and must be widely disseminated.

Keywords: International System of Units, metrology, Theory of Didactical Situations.

² Available in Portuguese in Capes repository <http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/599058>

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 01 - Balança de Watt construída para fins didáticos	18
Figura 02 - Diagrama com a radiação emitida durante a transição entre os dois níveis hiperfinos.	26
Figura 03 - Protótipo internacional do metro estabelecido na 1ª CGPM.	27
Figura 04 - Protótipo internacional do quilograma.	28
Figura 05 - Representação de uma balança de Ampère.	30
Figura 06 - Esquema de forças magnética e gravitacional sobre o pedaço de um fio. .	31
Figura 07 - Documentário “Precisão a medida de todas as coisas – massa e mol”.	52
Figura 08 - Série The Big Bang Theory, quarto episódio da primeira temporada.	53
Figura 09 - Documentário “Precisão a medida de todas as coisas – tempo e distância”.	54
Figura 10 - Extensômetro da balança digital de cozinha.	55
Figura 11 - Documentário “Zero absoluto: a conquista do frio”.	57
Figura 12 - Algumas localidades de Franca/SP.	58
Figura 13 - Refletor de LED.	59
Figura 14 - Experimento com feixes monocromáticos.	60
Figura 15 - Lâmpada de LED.	60
Figura 16 - Imagem da lousa sintetizando os resultados dos grupos.	63
Figura 17 - Cálculo da estimativa da quantidade de plástico.	66
Figura 18 - Gráficos de tensão elétrica vs. corrente elétrica em papel milimetrado.	68
Figura 19 - Gráficos de tensão elétrica vs. massa em papel milimetrado.	69
Figura 20 - Gráficos de temperatura vs. temperatura em papel milimetrado.	70

QUADROS

Quadro 01 - unidades de base e suas definições em termos de constantes físicas fundamentais.	24
Quadro 02 - Algumas unidades derivadas do Sistema Internacional de Unidades. ...	33
Quadro 03 - Critérios para avaliar as evidências.	48
Quadro 04 - Distribuição das atividades na sequência didática.	50
Quadro 05 - As fases da TSD na primeira etapa do primeiro encontro.	51
Quadro 06 - As fases da TSD na segunda etapa do segundo encontro.	52
Quadro 07 - Fases da TDS no terceiro encontro.	54

Quadro 08 - Fases da TSD no quarto encontro.....	56
Quadro 9 - Fases da TSD para o quinto encontro.....	57
Quadro 10 - As fases da TSD na primeira etapa do sexto encontro.	59
Quadro 11 - Fases da TSD na segunda etapa do sexto encontro.	61

TABELAS

Tabela 1 - Unidades de medidas baseadas no corpo humano e sua equivalência com a unidade centímetro.	22
Tabela 02 - Valores das massas das embalagens plásticas encontrado pelos grupos...	65

ESQUEMAS

Esquema 1- Relação entre professor, aluno e saber.....	37
Esquema 2 - Situação didática como dupla interpretação.	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIOE	Banco de Objetos Educacionais (BIOE)
BIPM	Bureau International des Poids et Mesures
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CDCC	Centro de Divulgação Científica e Cultural
CGPM	Conferência Geral de Pesos e Medidas
CIPM	Comitê Internacional de Pesos e Medidas
CNT	Ciências da Natureza e suas Tecnologias
IBGE	Instituto Brasileira de Geografia e Estatística
IFSC	Instituto de Física de São Carlos
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia
IPEMSP	Instituto de Pesos e Medidas do Estado de São Paulo
LED	Diodo emissor de luz (do inglês, Light-emitting diode)
N_A	Constante de Avogadro
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
PPGECM	Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática
REA	Recursos Educacionais Abertos
SBF	Sociedade Brasileira de Física
SBM	Sociedade Brasileira de Metrologia
SI	Sistema Internacional de Unidades
TCT	Temas Contemporâneos Transversais
TSD	Teoria das Situações Didáticas
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
USP	Universidade de São Paulo
VIM	Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais da Metrologia

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS	21
1.1 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES	21
1.1.1 Um breve histórico	21
1.1.2 As unidades de base do Sistema Internacional de Unidades	25
1.1.2.1 Segundo, a unidade de tempo.....	25
1.1.2.2 Metro, a unidade de comprimento	27
1.1.2.3 Kilograma, a unidade de massa.....	28
1.1.2.4 Mol, a unidade de quantidade de substância.....	29
1.1.2.5 Ampere, a unidade de corrente elétrica.....	30
1.1.2.6 Kelvin, a unidade de temperatura termodinâmica.....	31
1.1.2.7 Candela, a unidade de intensidade luminosa.....	33
1.1.3 As unidades derivadas do Sistema Internacional de Unidades.....	33
1.2 TEORIA DAS SITUAÇÕES DIDÁTICAS	34
1.2.1 As fases da teoria das situações didáticas.....	40
1.2.2 A Teoria das Situações Didáticas na literatura	42
1.3 CONCEITOS UNIFICADORES	43
METODOLOGIA.....	47
RESULTADOS	62
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
REFERÊNCIAS	76
ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA A PESQUISA	82
APÊNDICE A – O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES NOS LIVROS DIDÁTICOS DO PNLD 2018 (PARTE DO TRABALHO APRESENTADO NO XI ENCONTRO MINEIRO SOBRE INVESTIGAÇÃO NA ESCOLA.....	85
APÊNDICE B – A UNIDADE DE MEDIDA KELVIN NOS LIVROS DIDÁTICOS DO PNLD 2018.....	88
APÊNDICE C – PRODUTO EDUCACIONAL	91

INTRODUÇÃO

A Física é uma disciplina importante para viver no mundo tecnológico, pois contribui para tornar o indivíduo apto a saber escolher aparelhos e equipamentos em um cenário de inovações tecnológicas, bem como não cair em fraudes, golpes e enganações do mercado. Contudo, não raro, é trabalhada de uma forma muito peculiar, sendo tratada praticamente como uma extensão da matemática.

Intrigado e disposto a mudar essa realidade, um jovem, cioso pelo conhecimento, ingressa no curso de Ciências Exatas com habilitação em Física, na Universidade de São Paulo. Durante a graduação, o programa “ABC na Educação Científica – Mão na massa” desenvolvido no Centro de Divulgação Científica e Cultural (CDCC/USP) foi, para além de um trabalho exercido por bolsista, o despertar para uma prática dialogada e investigativa. Afinal, o programa tinha como principal finalidade o ensino de Ciências baseado na construção do conhecimento, por meio do levantamento de hipóteses e sua verificação mediante a experimentação, da observação direta do ambiente e de pesquisas bibliográficas, enfatizando o registro escrito e as conclusões pessoais e coletivas. A participação nesse programa impulsionou, decisivamente, a carreira de professor e, posteriormente, concluída a graduação, influenciou diretamente na busca por práticas docentes não tradicionais. Ainda no CDCC/USP - enquanto monitor bolsista dos “Jardins da Percepção” e “Espaço da Física”, espaços que contemplam experimentos científicos, percepção de ambientes e a trilha da natureza - monitorava as visitas das escolas e da população.

Ainda, durante a graduação, foi possível desenvolver um projeto de iniciação científica na área de Física dos Semicondutores, no Instituto de Física de São Carlos (IFSC/USP), estudando processos envolvidos em fabricação de dispositivos semicondutores como a fotolitografia, preparação de contatos ôhmicos, metalização e *lift-off*, assim como a análise das propriedades elétricas. Essa experiência foi substrato para elaboração do projeto de mestrado submetido ao Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal de Uberlândia em 2017, o qual propunha a elaboração de uma sequência didática sobre semicondutores para o Ensino Médio.

Vale ressaltar que em 2007, último ano do curso de graduação, por meio da aprovação em concurso para docente na Secretaria da Educação do Estado de São Paulo foi possível ingressar nesta rede de ensino no ano de 2008, no município de Luís Antônio, na região de Ribeirão Preto/SP. Até hoje, esse professor, também autor dessa dissertação, atua nessa rede como professor titular de Física, no município de Franca, em uma escola do Programa Ensino

Integral. Como professor, ensinar visando à aproximação entre os estudantes e o mundo que os cerca é uma busca incessante; sendo isso um dos propulsores que motivaram esta escritura.

Em 2018, intrigado pela busca por processos de ensino e aprendizagem mais eficientes, este professor ingressou no mestrado em Ensino de Matemática e Ciências, na Universidade Federal de Uberlândia, com o objetivo de aprender novas metodologias, aplicá-las e difundí-las, visando a melhorar os processos de ensino e aprendizagem. Assim sendo, o projeto inicialmente proposto estava voltado à elucidação do efeito fotovoltaico para o Ensino Médio, como já mencionado. Contudo, a partir da inspiração promovida pelas mudanças das padronizações de algumas unidades de base do Sistema Internacional de Unidades (SI), o projeto ganhou novo percurso. A questão de pesquisa posta foi: **Como abordar as unidades de medida do sistema internacional de forma articulada a uma temática atual, estabelecendo relações entre as mesmas e destacando as recentes mudanças na padronização delas?**

Uma sequência didática abordando essas unidades foi elaborada, articulada ao Tema Contemporâneo Transversal Educação Ambiental, particularmente a questão da poluição. Para tanto, rememorando a mudança de eixo no ensino de Física, constava nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) do final da década de 1990,

Espera-se que o ensino de Física contribua para a formação de uma cultura efetiva, que permita ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais, situando e dimensionando a interação do ser humano com a natureza como parte da própria natureza em transformação (BRASIL, 1998, p. 22).

Essa prescrição é mantida na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) sobre o ensino de Ciências da Natureza, sendo salientado que

Aprender Ciências da Natureza vai além do aprendizado de seus conteúdos conceituais. Nessa perspectiva, a BNCC da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias – por meio de um olhar articulado da Biologia, da Física e da Química – define competências e habilidades que permitem a ampliação e a sistematização das aprendizagens essenciais desenvolvidas no Ensino Fundamental no que se refere: aos conhecimentos conceituais da área; à contextualização social, cultural, ambiental e histórica desses conhecimentos; aos processos e práticas de investigação e às linguagens das Ciências da Natureza (BRASIL, 2018, p. 547).

Em consonância com as recomendações federais, no Currículo Paulista foram construídos organizadores curriculares para nortear o trabalho docente, cujo escopo está na formação do estudante. Desta forma,

A partir das habilidades do itinerário formativo de CNT, foram relacionadas as habilidades da formação geral básica que deverão ser aprofundadas e ampliadas para que o estudante tenha uma visão de mundo ampla e heterogênea e seja capaz de tomar decisões individuais e coletivas, considerando conhecimentos científicos e apresentando argumentação embasada, de modo a intervir de forma consciente na escola, no trabalho e na vida (SÃO PAULO, 2020, p. 220).

Em suma, verifica-se pelos documentos oficiais citados que, para atingir os objetivos e metas estabelecidos, é necessário superar a prática tradicional, concebendo que o aluno deixe de ser um agente passivo, o qual segue o raciocínio do professor, para ser o agente da própria estrutura do pensamento. No entanto, a profissão de professor ficou mais difícil, pois, além de conhecer os conteúdos de Física, o docente precisa conhecer os conteúdos de Didática das Ciências, de modo a poder planejar e implementar propostas para o ensino de conhecimentos científicos, além de avaliar se houve a aprendizagem desses (CARVALHO, 2018). Enfim, se faz necessário melhorar os cursos de licenciatura, aperfeiçoando a formação inicial do professor, dando acesso a metodologias as quais possibilitem ao discente apreender um conhecimento científico sólido, tornando-o apto a enfrentar os desafios da escola, do trabalho e da vida.

Sendo assim, a forma de ensinar Física passou a ser mais dinâmica e centrada no estudante, a fim de tornar a Física, apresentada em sala de aula, um dos agentes responsáveis pela atuação e participação dos indivíduos numa sociedade científica e tecnológica. Nesta perspectiva, é essencial ao professor incentivar a argumentação, uma vez que

Não se faz Física sem argumentar sobre os fenômenos, sobre as interpretações dos “fatos científicos”, pois é necessário apresentar um ponto de vista com justificativas para transformar fatos e dados em evidências. Isso é bastante importante para o ensino de Física, pois temos como consequência o entendimento de que as observações e os experimentos não são a rocha sobre a qual as ciências estão construídas: essa rocha é a atividade racional de geração de interpretações de argumentos com base nos dados obtidos. (CARVALHO, 2018, p. 47)

Nessa perspectiva, o papel da matemática na constituição do conhecimento na Física, não é exclusivamente como uma ferramenta, mas como estruturante do raciocínio. Logo, é necessário considerá-la no processo de ensino e aprendizagem desta Ciência, visto que

O fato de conceber-se a Matemática como instrumento da Física, além da coerência com a tradição empírico-realista, recebe reforço da própria ideia espontânea que se tem da linguagem. Dizemos também que a Matemática é a linguagem da Física! E aqui, linguagem parece exprimir o meio como os produtos da Física são apresentados/comunicados, pois, em geral, a linguagem

está associada com os códigos que empregamos na comunicação. Na linguagem matemática, símbolos, gráficos, equações, retas círculos, ângulos, entre outros os códigos, diferentemente do que ocorre na linguagem falada, onde tem-se palavras e sentenças (PIETROCOLA, 2002, p. 97).

Assim, nota-se a importância da matemática não somente como linguagem, mas como veículo estruturador do pensamento científico para integrar os modelos físicos.

Pensando em uma metodologia com investigação, as atividades da sequência didática foram divididas de modo a abordar as sete unidades de base do SI, um sistema prático, coerente e mundialmente aceito nas relações internacionais, no ensino e nas pesquisas científicas (SBM/SBF, 2019). Ele foi criado em 1960 na XI Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), possui sete unidades de medidas de base que são: o metro, o segundo, o quilograma, o ampere, o kelvin, o mol e a candela. O aprimoramento de novas medições foi essencial para o desenvolvimento da sociedade que atualmente exige padrões de medida cada vez mais precisos. Logo, observa-se a importância de um detalhamento maior desse assunto no Ensino Médio.

Apesar disso, de forma geral, os livros de Física aprovados no Programa Nacional do Livro Didático³ (PNLD) de 2018 negligenciam a importância desse assunto. O autor desse trabalho analisou os livros de Física aprovados na edição referida do PNLD, considerando o primeiro volume de cada coleção, usualmente indicado para o primeiro ano do ensino médio. Duas das doze obras aprovadas contemplam adequadamente os itens selecionados como critério de análise, a saber: se há um capítulo ou seção específica abordando o SI; se as ilustrações estão articuladas com o discurso textual; se há a proposta de atividades experimentais e, ainda, a quantidade de exercícios propostos. Quanto à sugestão de experimentos, os quais são essenciais para a compreensão da importância da precisão e da padronização das medidas, está presente em sete das obras. Quatro livros não apresentam exercícios e, nos demais, os exercícios (em torno de uma dezena) contemplam conversão de unidades, incerteza nas medidas e Algarismos significativos. Quatro obras não apresentam ilustrações coerentes, aparecendo de forma escassa nas demais.

Particularmente, foi realizado um levantamento sobre a presença da unidade candela nos exemplares do terceiro volume dessas mesmas obras. Apenas uma delas (GASPAR, 2016b) faz referência à unidade no Manual do Professor, nos comentários e orientações do Capítulo 6

³ O programa Nacional do Livro Didático foi criado em 1985, mediante o Decreto-Lei nº 91.542, de responsabilidade do Ministério da Educação (MEC) e gerenciado pelo Fundo Nacional de Desenvolvimento para a Educação (FNDE). Em 1996 o MEC, preocupado com a qualidade dos livros, passou a avaliá-los de acordo com critérios estabelecidos. A partir de 1999 foram adicionados critérios de natureza metodológica, e, desde então, os livros passaram a ser submetidos a um trabalho de análise e avaliação pedagógica (ALBUQUERQUE e FERREIRA, 2019).

do terceiro volume, o qual aborda potência elétrica, associação de resistores e resistividade. No início desse capítulo, o autor apresenta dois modelos de lâmpadas incandescentes, destacando a importância histórica dessa invenção. No Manual do Professor, o autor cita a vela como medida da iluminação que as lâmpadas produzem e comenta sobre a candela, como a unidade de medida de intensidade luminosa no SI. Associa, também, a ilustração de uma lâmpada incandescente brilhante a uma ideia genial, amplamente difundida.

Enfim, essa carência de atividades contextualizadas e a negligência dada ao assunto nos livros didáticos foram as motivações iniciais para a elaboração dessa sequência.

Além dos livros didáticos, os principais periódicos da área, com abordagens sobre o Sistema Internacional de Unidades, foram fonte de buscas intensas. Esse material bibliográfico composto por artigos nacionais e internacionais foi elencado abaixo, por meio de uma breve síntese. Contudo, é válido salientar que não foi detectada grande diversidade de trabalhos que tivessem o enfoque almejado.

Primeiramente, levando em conta a existência de inúmeras justificativas práticas e pedagógicas, segundo as quais os sistemas de unidades são mais adequados ou inadequados para a verificação e análise de inferências, Hsu e Hsu (2012) discutiram e revisaram as unidades básicas do SI, incluindo definições para cada uma das sete em termos de uma única unidade. Considerando o sistema de unidades naturais (aquele que iguala as constantes universais a 1), classificaram a dependência das constantes universais em relação às unidades. Os autores concluem que as unidades naturais encerram um significado físico profundo, não constituindo uma mera conveniência de cálculo; além disso, as classificadas como independentes das unidades são verdadeiramente fundamentais, no sentido de terem valores que manifestam características inerentes do universo.

Já Knotts, Mohr e Phillips (2017) explicam o novo SI e as justificativas das mudanças, propondo um programa de estudos para uma transposição didática que privilegie os fenômenos que subsidiam as novas definições como o Efeito Hall Quântico, Efeito Josephson, desdobramento hiperfino e medidas de temperatura, de recuo de átomos e de espaçamento em redes cristalinas. Eles também sugerem que os professores do Ensino Médio tenham uma compreensão mais profunda da história das unidades e da determinação das constantes físicas.

Por outro viés, Dincer e Osmanoglu (2018) investigaram o conhecimento e as dificuldades dos futuros professores de ciências (73 participantes, 55 mulheres e 18 homens de uma universidade turca, no ano acadêmico 2016-2017) em relação às conversões de unidades métricas de comprimento, área, volume e massa; utilizando um teste padronizado. Os pesquisadores acreditam que esse baixo desempenho é preocupante, especialmente porque

prefixos como o giga e o nano são frequentemente usados nos aportes tecnológicos atuais. Giunta (2019) expõe implicações da revisão das unidades de base do SI para o ensino de Química, considerando aspectos relativos a incertezas experimentais.

Alves e Granjero (2018) catalogaram Recursos Educacionais Abertos (REA), realizando o levantamento de todos os recursos educacionais identificados no Banco de Objetos Educacionais (BIOE), a partir da pesquisa dos termos metrologia, medição e unidade de medida, além do levantamento de materiais no site do INMETRO. Os autores identificaram recursos digitais disponíveis para uso imediato, salientando a importância de bancos e plataformas digitais que contêm materiais educacionais exclusivos para a disseminação de informações científicas e para aprimorar as categorias de classificação desses materiais.

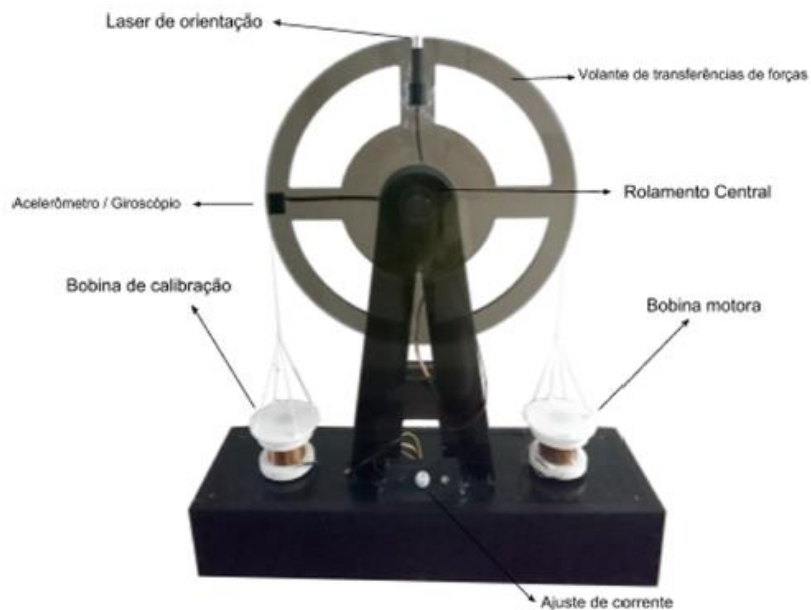
No âmbito nacional, Godoi e Figueirôa (2008) propõem um plano de ensino interdisciplinar de cinco aulas, como contraponto à abordagem pautada na memorização e na conversão de unidades corriqueiramente presente nas escolas. As autoras destacam que o SI resultou de um processo histórico de negociação de significados e contextualizam a adoção do sistema métrico decimal no país, subsidiadas na literatura pertinente, com ênfase para a rejeição aos novos padrões, evidenciada no episódio da Revolta do Quebra-Quilos ocorrida em Pernambuco, em 1874, a qual adiaría a implementação do sistema no Brasil do Segundo Reinado. Dentre as atividades, recomendam a realização de um levantamento pelos estudantes de padrões de medida não convencionais utilizados no cotidiano, particularmente para a venda do pão francês que, naquela época, deixou de ser vendido por unidades para o ser por kilogramas. Indicam, ainda, visitas virtuais dirigidas aos sites dos museus do INMETRO e do IPEM (Instituto de Pesos e Medidas do Estado de São Paulo).

Souza et al (2012) exploraram a origem e a importância das medidas de grandezas no Ensino de Física para o Ensino Médio e as habilidades preconizadas no PCN para esse nível. Os autores articulam a análise conjunta de videoaulas e simulações a aulas experimentais, implementadas junto a uma turma de primeiro ano de uma escola pública de Ouro Preto-MG. Brito (2015) usou a mesma perspectiva de trabalhos anteriores para explorar a importância da medição na história da humanidade e a relação das unidades com outras usadas no cotidiano dos alunos, junto a uma turma de primeiro ano de uma escola pública de Boqueirão-PB. Corrêa (2015) detalhou como o conhecimento do Sistema Métrico Decimal foi difundido no Pará e como este foi introduzido nos currículos naquele momento.

Damaceno et al (2018) desenvolveram, para fins didáticos (Figura 1), o experimento denominado Balança de Watt utilizado-o para padronizar a unidade de massa. Essa balança funciona com o equilíbrio de duas forças, a peso e a força magnética, que - provocando a

interação de um campo magnético ignorado, com um circuito formado por uma bobina deslocando-se com velocidade transversal ao sentido do campo - gera a tensão induzida, pela Lei de Indução de Faraday. Uma vez conhecidas as características geométricas da bobina, o campo magnético pode ser obtido no seu produto. Fazendo circular uma corrente elétrica, surge na bobina uma força magnética. Se for acoplada nesta bobina uma certa massa, é possível regular a corrente elétrica até a força magnética equilibrar-se com o peso da massa.

Figura 01 - Balança de Watt construída para fins didáticos



Fonte: Damasceno et al (2018).

A montagem dessa balança para uso em sala de aula é consideravelmente difícil, uma vez que a usinagem das peças e o enrolamento das bobinas demandam equipamentos profissionais, indisponíveis nas escolas. Além disso, a montagem eletrônica e a calibragem da balança exigem conhecimentos e habilidades destacadas pelos autores, não é uma montagem simples.

Em relação aos documentos oficiais que regem e direcionam a educação no Brasil, nos PCN (BRASIL, 1998) têm-se nos parâmetros de matemática do Ensino Fundamental o bloco Grandezas e Medidas que, além de sua importância no currículo de matemática, possibilita a conexão com outras áreas, como as ciências naturais e a geografia. No Ensino Médio, não há um bloco específico para Grandezas e Medidas, contudo há competências e habilidades que exploram a temática em Física, Química e Matemática (Geometria), como: utilizar corretamente instrumentos de medição e de desenho (Matemática), observar, estimar ordens de

grandeza, compreender o conceito de medir, fazer hipóteses, testar (Física) e compreender dados quantitativos, estimativa e medidas, compreender relações proporcionais presentes na Química (BRASIL, 1998).

Na BNCC do Ensino Fundamental, há a unidade temática Grandezas e Medidas que propõe o estudo das medidas e as relações entre elas, além de favorecer a integração da Matemática com as outras áreas do conhecimento, como Ciências e Geografia. No Ensino Médio não há uma unidade temática específica de Grandezas e Medidas na Matemática, porém, nas competências específicas das áreas de Matemática e suas Tecnologias e Ciências da Natureza e suas Tecnologias há habilidades que contemplam o tema. Destarte, comparando o que foi apresentado nos PCNs e na BNCC, sobre Grandezas e Medidas, verifica-se que são similares, pois apresentam o tema na mesma perspectiva, propondo um estudo das medidas e as relações entre elas.

No Currículo Paulista de Matemática, no Ensino Fundamental (SÃO PAULO, 2019), há a mesma unidade temática Grandezas e Medidas propondo o estudo das medidas e das relações entre elas, favorecendo a integração da matemática com outras áreas do conhecimento, inclusive com habilidades e objetos do conhecimento idênticos à BNCC. No Ensino Médio (SÃO PAULO, 2020), encontra-se as mesmas competências e habilidades presentes na BNCC, contudo, verifica-se a separação por unidades temáticas e os referidos objetos do conhecimento, no qual, Geometria e Medidas explora as relações métricas, a notação científica, Algarismos significativos e duvidosos, grandezas determinadas pela razão ou pelo produto de outras, a conversão entre unidades compostas e as unidades de medidas e suas conversões no SI. Na área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, na unidade temática Matéria e Energia, são propostas relações entre algumas unidades de medidas, bem como o estudo das grandezas escalares e vetoriais.

Enfim, pensando em um trabalho para explorar as unidades de base do SI, assim como, a importância de uma padronização de medidas com alto grau de precisão, foi elaborada a sequência didática baseada na Teoria das Situações Didáticas (TSD) de Guy Brousseau, uma abordagem metodológica que sistematiza as interações entre discentes, docentes e conhecimentos, intencionadas em situações de sala de aula. Além disso, confere um papel ativo aos alunos na busca pelo saber, com atividades investigativas, utilizando-se de boas questões e boas respostas, considerando o erro como parte importante desse processo. A TSD preza pela construção da aprendizagem vinculada a um problema, preferencialmente associado à realidade do aluno, de modo que esse o identifique e priorize como um problema a ser resolvido.

Interligado a essa metodologia, optou-se pelo uso de Temas Contemporâneos Transversais (TCTs), da BNCC, segundo os quais uma contextualização do que é ensinado e relevante para o desenvolvimento do estudante como cidadão é necessária, contribuindo para a sua atuação na sociedade (BRASIL, 2019). Nesta perspectiva, o TCT Educação Ambiental é abordado juntamente com os problemas de padronização de medidas.

Finalizando esse capítulo, o trabalho está segmentado da seguinte maneira: nas considerações teóricas (Capítulo 2) há uma descrição do SI, por meio de uma abordagem histórica, juntamente com as definições das unidades de base e, também a TSD; no Capítulo 3, Metodologia, consta o tipo de pesquisa e uma descrição minuciosa das etapas da sequência didática. Nos resultados apresentados no capítulo seguinte, evidencia-se as conquistas alcançadas com a aplicação da sequência didática. Por fim, nas considerações finais explana-se sobre os pontos de vista, tomando como base os resultados e os objetivos.

No apêndice A encontra-se excertos da análise de como os livros de Física do PNL D de 2018 abordam o SI, que é parte de um trabalho apresentado no XI Encontro Mineiro sobre Investigação na Escola (ROTONDO e COIMBRA, 2020). Na mesma perspectiva, consta no Apêndice B uma análise de como os mesmos livros de Física apresentam a unidade de medida kelvin, assim como o termômetro a gás e a extrapolação de retas, as quais foram importantes para estabelecer a escala de temperatura absoluta e o zero absoluto. No Apêndice C situa-se o produto educacional, de título: *Quantificação e o Novo Sistema Internacional de Unidades: pensando em algumas faces da poluição*, que apresenta o SI com um breve histórico, as regras oficiais de nomes e símbolos e também as atividades da sequência didática tratada neste trabalho. Há, ainda, o Anexo A com o termo de consentimento livre e esclarecido para a pesquisa.

CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

Neste capítulo será apresentado um breve histórico do SI, assim como uma descrição das unidades de base e as derivadas. Ainda será discorrido sobre a Teoria das Situações Didáticas e os Conceitos Unificadores.

1.1 SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

1.1.1 Um breve histórico

A história da medição acompanha a da humanidade, desde as delimitações de territórios, às quantificações de colheita de alimentos ou simplesmente para saber épocas específicas de plantio. Conforme afirma Moura Filho (2008, p. 46),

Não havia porque medir com precisão glebas de terra se não existisse um vizinho disputando o campo ou um senhor a exigir trabalho sobre aquele pedaço, embora não se possa precisar quando o agricultor, ao dizer (ou pensar) “Hoje colhi mais do que ontem”, tenha ficado curioso em saber “quanto mais?” Ou, ao perceber o inverno chegando mais cedo, teria pensado “Será que o que colhi até agora vai aguentar até o fim desse inverno?” Mediu-se, de início, o que se tinha à volta, o que interessava diretamente a cada um, no seu ambiente mais imediato.

Nesta perspectiva, é interessante ressaltar que as medidas surgiram em diferentes povos. Contudo, conforme a complexidade das relações sociais aumentava, irrompiam novos objetos de medições e aumentava a necessidade de precisão nas medidas.

A primeira etapa do desenvolvimento da metrologia⁴ era baseada no antropomorfismo, no qual as unidades básicas das medidas eram partes do corpo humano (KULA, 1980). Assim, as unidades eram baseadas no corpo humano como, por exemplo, o pé, a jarda, a braça, o palmo e a polegada – a equivalência em centímetros dessas unidades encontram-se no Quadro 01. Em contrapartida, esses sistemas de medidas, além de serem imprecisos, não tinham correspondências entre si, visto que as medidas variavam de um corpo para outro, além disso, havia a dificuldade da criação de submúltiplos.

Já na Idade Média, principalmente no sistema feudal, foi o período com a maior diversidade metrológica, pois cada feudo estabelecia suas próprias medidas e padrões, os quais eram produzidos com materiais nobres para não serem falsificados. Com a expansão do

⁴ Metrologia é a ciência que estuda as medições e suas aplicações.

comércio, as unidades de medida tinham que ser mais precisas e, também, mais uniformes. Todavia, a ausência de padrão para elas gerava problemas, pois cada região utilizava um tipo diferente de unidade de medida que, muitas vezes, era subjetivo e pouco confiável.

Tabela 1 - Unidades de medidas baseadas no corpo humano e sua equivalência com a unidade centímetro.

Unidade	Equivalência em centímetro
Pé	30,48
Jarda	91,44
Braça	220
Palmo	22,86
Polegada	2,54
Passo	82

Fonte: Adaptado de Guimarães (2017).

Assim, no final do Século XVIII, com a Revolução Francesa, a necessidade de mudança envolveu toda a Europa, uma vez que

No início da Revolução Francesa, em 1790, um decreto da Assembleia Constituinte que assumiu o poder com a queda da monarquia exigiu da Academia de Ciências da França a criação de padrões únicos de massa e comprimento. Esses padrões originaram o sistema métrico, oficializado na França em 1799 (GASPAR, 2005, p. 17)

Isso repercutiu na ciência, as unidades de medida baseadas na anatomia da realeza foram extintas, sendo substituídas pelo sistema métrico decimal, que foi criado em 20 de maio de 1875, em Paris, por meio da Convenção do Metro, assinada por 17 países, inclusive pelo Brasil. Assim, “a aplicação de um sistema métrico significava a aplicação de novas unidades, novos sistemas de múltiplos e submúltiplos, nova nomenclatura e, também, a unificação dos métodos de medição, tão vitais para o comércio dos grãos” (KULA, 1980, p. 90).

O sistema métrico foi, sem dúvida, um grande passo rumo à unificação das unidades de medida, sendo, desta forma, uma grande conquista para uma linguagem universal. Entretanto, houve resistência da população em aceitar esse novo sistema, pois o mesmo era abstrato e baseado em propriedades físicas que eram incompreensíveis para a sociedade à época (COSTA-FÉLIX e BERNARDES, 2017). Enfim, com a necessidade de universalizar o sistema métrico, um grupo de países estabeleceu um Tratado Diplomático, em 1875, a Convenção do Metro, com o objetivo de estabelecer uma autoridade internacional no campo da metrologia. Assim, criou-se três instituições para conduzir as atividades, sendo uma delas o Bureau Internacional

de Pesos e Medidas (Bureau International des Poids et Mesures – BIPM) sob a autoridade da Conferência Internacional de Pesos e Medidas (Conference Generale des Poids et Mesures – CGPM), mediante supervisão do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (Comité International des Poids et Mesures – CIPM).

O tratado foi assinado em 20 de maio de 1875, por 17 países, incluindo o Brasil e os Estados Unidos, definindo a forma pela qual as atividades do IBPM deveriam ser financiadas e administradas. Na Convenção do Metro ficou determinada a construção de novas materializações para o metro e para o quilograma, utilizando e desenvolvendo novas tecnologias baseadas em novos desenvolvimentos científicos, os quais passariam a ser os padrões internacionais de massa e de comprimento. Essas novas unidades de medida demorariam décadas para serem estabelecidas, inclusive, até hoje, os ingleses costumam a render-se às unidades francesas. Isso se deve ao fato de que aderir a uma unidade alheia significa preterir esta à própria cultura.

As novas unidades foram implantadas à custa de muitas desavenças e conflitos pelo mundo. Inclusive, no Brasil, a obrigatoriedade do quilo causou revolta, um movimento que ficaria registrado como a “Revolta dos quebra-quilos” iniciou-se na Paraíba e espalhou-se pelos estados de Pernambuco, Alagoas e Rio Grande do Norte. Em 1874,

A Revolta ocorreu devido a forma como o sistema foi implantado, pois, a população vivia em uma época de crise econômica e social e não compreendia o novo sistema métrico e decimal e suas vantagens. Diante do hábito e costume com o sistema de medida anterior, a população tinha dificuldades em aceitar o novo sistema. Como não conseguia conferir as quantidades nem os preços, a população acreditava estar sendo enganada (GIARDINETTO, GOMES e FARIA, 2012).

Então, o povo rebelou-se invadindo os mercados e a Câmara Municipal, destruíram os novos padrões e os arquivos contábeis do governo. Desta forma, a adoção do Sistema Métrico não ocorreu de forma simples e pacífica, motivando fortes resistências junto à população, mas foi um passo importante rumo à padronização do sistema de medidas.

No início, o Sistema Métrico englobava três unidades básicas: o metro, o quilograma e o segundo. Contudo, ainda havia a necessidade de uma diversidade maior de unidades de medida padronizadas. Assim, em 1954, na 10ª CGPM, o ampere, o kelvin e a candela foram incluídos como unidades de base. Em 1960, ainda perduravam vários sistemas de medidas no mundo. Assim, na 11ª CGPM,

O SI, que recebeu este nome em 1960, teve como propósito de sua criação a necessidade de um sistema prático mundialmente aceito nas relações

internacionais, no ensino e no trabalho científico, sendo, naturalmente, um sistema que evolui de forma contínua para refletir as melhores práticas de medição que são aperfeiçoadas com o decorrer do tempo (INMETRO, 2012, p. 8).

Desde sua criação, as unidades de base ficaram sujeitas a uma intermitente e continuada evolução nas suas definições, o que é feito para atender aos crescentes e cada vez mais exigentes requisitos metrológicos, os quais acompanham o desenvolvimento científico e tecnológico (COSTA-FÉLIX e BERNARDES, 2017)

Em 1983, a primeira definição em termos de uma constante física fundamental foi adotada. O metro passou a ser determinado em função da velocidade da luz, ou melhor, como o comprimento do caminho percorrido pela luz no vácuo em um determinado intervalo de tempo (LANDIM, 2018).

Por fim, em 2018, na 26^a CGPM decidiu-se que haveria a redefinição do quilograma, do ampere, do kelvin e do mol, a partir das constantes físicas fundamentais, a constante de Planck (h), a carga elétrica elementar (e), a constante de Boltzmann (k) e a constante de Avogadro (N_A), respectivamente. Para tanto, os valores das constantes físicas fundamentais foram fixados em valores exatos, isentos de incertezas, e estão contidos no Quadro 02. Desta forma, o SI evoluiu, de forma gradual, de modo a satisfazer as necessidades da ciência e da indústria.

Quadro 01 - unidades de base e suas definições em termos de constantes físicas fundamentais.

Unidade de base	Constante física fundamental
Metro	A velocidade da luz no vácuo ($c = 299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$)
Kilograma	A constante de Planck ($h = 6,626\,070\,15 \times 10^{-34}\text{ J s}$)
Segundo	A frequência do desdobramento hiperfino do átomo de césio 133, em repouso e à temperatura de 0 K, $9\,192\,631\,770\text{ Hz}$.
Ampere	A carga elétrica elementar ($e = 1,602\,176\,634 \times 10^{-19}\text{ C}$)
Kelvin	A constante de Boltzmann ($k = 1,380\,649 \times 10^{-23}\text{ J.K}^{-1}$)
Mol	A constante de Avogadro ($N_A = 6,022\,140\,76 \times 10^{23}\text{ mol}^{-1}$)
Candela	A eficácia luminosa da radiação monocromática de frequência $540 \times 10^{12}\text{ Hz}$, K_{cd} é igual a 683 lm W^{-1} .

Fonte: SBM/SBF (2019).

Assim, de maneira semelhante ao que foi feito em 1983, com a utilização da velocidade da luz, as redefinições que ocorreram em 2019 deixaram todas as unidades de base do SI com definições baseadas em constantes físicas fundamentais.

1.1.2 As unidades de base do Sistema Internacional de Unidades

O SI possui sete unidades de base escolhidas por razões históricas, praticidade, exatidão e reprodutividade, considerando a evolução desde o Sistema Métrico até o SI para as grandezas comprimento, tempo, massa, corrente elétrica, temperatura termodinâmica, quantidade de substância e intensidade luminosa.

1.1.2.1 Segundo, a unidade de tempo

Se for considerada a velocidade média orbital da Terra em torno do Sol igual a 29,78 km/s, como verificado por Pietrocola (2016), tem-se que a cada um segundo a Terra desloca-se 29,78 km. Logo, uma diferença de centésimos de segundos implica num deslocamento de centenas de metros do planeta em sua órbita e uma variação angular da posição aparente de uma estrela em relação às estrelas fixas (OLIVEIRA FILHO e SARAIVA, 2014). Um ano trópico ou tropical é definido como o tempo que o Sol, em seu movimento aparente no céu, leva para sobrepor o ponto vernal⁵ por duas vezes consecutivas. Isso ocorre a cada 365 dias, 5 horas, 48 minutos e 46 segundos, ou 365,2422 dias. De um ano para o outro, essa diferença não é significativa, mas, ao longo dos anos, uma imprecisão nas medidas de tempo acarretou falhas no calendário. O calendário Juliano, baseado no calendário egípcio já havia introduzido desde 46 a.C o ano bissexto, a fim de considerar essa diferença que à época acreditava-se ser um quarto de dia. Em 1582, o Papa Gregório XIII estabeleceu uma reforma no calendário Juliano, já que a diferença não era exatamente a considerada, conforme aponta Milone et al (2018, p.14)

Apesar de todos os ajustes efetuados na Roma Antiga, o ano juliano tinha em média 365,25 dias (ou 365 dias e 6 horas), sendo ligeiramente diferente do ano solar. A correção referente aos anos bissextos a cada quatro anos não foi suficiente. Ao longo de muitos anos, a diferença tornava-se cada vez maior, acrescentando um dia extra a cada intervalo de 128 anos, aproximadamente.

Os principais pontos da reforma referida consistiam em:

- (i) suprimiu 10 dias acumulados, para que o início de cada estação ocorresse na época certa;
- (ii) eliminou a ocorrência de anos bissextos durante três anos seculares para cada período de 400 anos, de modo que o ano 1600 foi bissexto, os anos 1700, 1800 e 1900 não o foram, 2000 foi bissexto, 2100 não

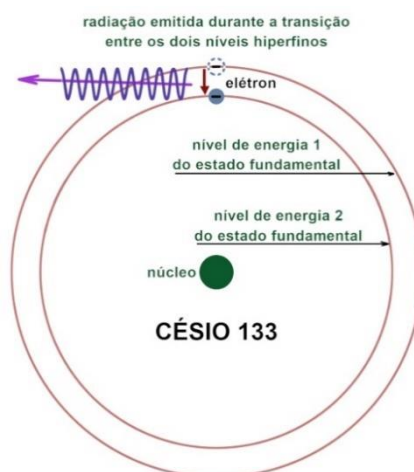
⁵ Ponto vernal é ponto de intersecção entre a eclíptica e o equador celeste, determinando o equinócio de primavera (outono) para o hemisfério geográfico norte (sul) da Terra.

- o será e assim sucessivamente (somente os anos seculares divisíveis por 400 são bissextos);
- (iii) a contagem dos dias do mês passaria a ser caracterizada por números cardinais (1, 2, 3, ..., 31) e não mais pela ordenação de kalendae, nonas e idus (MILONE et al, 2018, p. 14).

Por fim, no calendário Gregoriano, hoje há como o valor mais acurado cerca de 365,2425 dias, o que implica, ainda, na necessidade de lidar com um erro da ordem de 3 dias em 10000 anos ou 1 dia a cada 3300 anos (TARSIA, 1995).

Na primeira definição, o segundo era a fração $1/86400$ do dia solar médio. No entanto, essa não satisfazia a precisão demandada, uma vez que há irregularidades na rotação da Terra. A 11ª CGPM, em 1960, adotou uma definição fornecida pela União Astronômica Internacional baseada no ano tropical de 1900, sendo “o segundo é a fração $1/31.556.925,974\ 7$ do ano trópico para 0 de janeiro de 1900 às 12 horas do tempo das efemérides⁶” (COSTA-FÉLIX e BERNARDES, 2017, p. 56). No entanto, a 13ª CGPM, em 1967/68, em busca de uma definição mais precisa, substituiu a definição para “o segundo é a duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133” (INMETRO, 2012, p. 25). Essa transição está representada na Figura 02. Em 1997, o CIPM especificou que essa definição refere-se a um átomo de césio em repouso, a uma temperatura de 0 K, ou seja, sem perturbação pela radiação de corpo negro.

Figura 02 - Diagrama com a radiação emitida durante a transição entre os dois níveis hiperfinos.



Fonte: IPEMSP, 2019.

A frequência de transição hiperfina do estado fundamental do átomo de césio é exatamente igual a: 9192631770 Hz. Invertendo a mesma, temos a expressão para o segundo:

⁶ Segundo o autor, 0 de janeiro corresponde ao dia 31 de dezembro de 1899.

$$1 \text{ s} = 1 \text{ Hz}^{-1} = \frac{9192631770}{\Delta\nu_{\text{Cs}}} \quad (1)$$

1.1.2.2 Metro, a unidade de comprimento

Em 1889, na 1ª CGPM, o metro foi definido com base no protótipo internacional de liga metálica de platina com 10% de irídio (Figura 03), como um décimo milionésimo da extensão do quadrante do meridiano que passa por Paris. Introduzir uma medida baseada no planeta e não na anatomia da realeza foi um importante passo para a universalização das medições baseadas na razão e, também, implicou num aumento expressivo da precisão nas medidas. Historicamente,

Para viabilizar os trabalhos de criação do metro foram realizadas duas expedições para medir o meridiano 45° iniciadas em 1792 e finalizadas somente em 1799. Uma expedição seguiu pelo Norte (Paris – Dunquerque) com Jean-Joseph Delambre e a outra pelo sul (Paris – Barcelona/Espanha) com Pierre-François-André Méchain, com o objetivo de calcular a medida do polo norte ao equador e deste feito, calcular a medida exata do mundo (CORRÊA, 2015, p.108).

Figura 03 - Protótipo internacional do metro estabelecido na 1ª CGPM.



Fonte: Davis (2018).

Na 7ª CGPM, em 1927, a definição foi reformulada como

A unidade de comprimento é o metro, definido pela distância, a 0°, entre os eixos dos dois traços médios gravados sobre a barra da liga de platina-irídio depositado no Bureau Internacional de Pesos e Medidas, estando essa régua submetida à pressão atmosférica normal e apoiada sobre dois rolos de, pelo menos, 1 centímetro de diâmetro, situados simetricamente num mesmo plano horizontal e à distância de 571 mm um do outro (COSTA-FÉLIX e BERNARDES, 2017, p. 53)

Com a necessidade de uma unidade mais precisa e universal, na 11ª CGPM a definição do metro foi alterada para uma baseada no comprimento de onda de uma radiação do criptônio 86, explicitamente como “o metro é o comprimento igual a 1.650.763,73 comprimentos de onda no vácuo da radiação correspondente à transição entre os níveis $2p_{10}$ e $5d_5$ do átomo de criptônio 86” (COSTA-FELIX, 2017, p. 53). Na 17ª CGPM, em 1983, essa definição foi substituída pela atual: “o metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de $1/299792458$ de segundo” (INMETRO, 2012, p. 25).

Fixando a velocidade da luz no vácuo em exatamente: $c = 299.792.458$ metros por segundo e considerando a definição dada pela Eq. (1), a expressão exata para o metro é

$$1 \text{ m} = \left(\frac{c}{299792458} \right) s = 30,663319 \dots \frac{c}{\Delta\nu_{CS}} \quad (2)$$

1.1.2.3 Kilograma, a unidade de massa

A definição do quilograma manteve-se a mesma de 1889, na 1ª CGPM, até 2019, sendo igual à massa do protótipo internacional do quilograma, um cilindro de liga metálica de platina-irídio (Figura 04), armazenado em um cofre no Birô Internacional de Pesos e Medidas (BIPM), localizado na França.

Figura 04 - Protótipo internacional do quilograma.



Fonte: BIPM.

Na 26ª CGPM, em 2018, foi decidido que a definição do quilograma seria estabelecida com a utilização de uma constante fundamental. Em maio de 2019, fixando-se o valor numérico da constante de Planck, h , exatamente igual a $6,626\,070\,15 \times 10^{-34}$, $\text{m}^2 \text{kg s}^{-1}$, quando expresso

em unidades do SI (SBM/SBF, 2019, p. 05), o mesmo deve ser invertido e articulado às definições de metro Eq. (2) e segundo Eq. (1), de modo a obter uma expressão para o quilograma em termos das constantes h , $\Delta\nu_{Cs}$ e c :

$$1 \text{ kg} = \left(\frac{h}{6,62607015 \times 10^{-34}} \right) m^{-2} s = 1,475521 \dots \times 10^{40} \frac{h \Delta\nu_{Cs}}{c^2} \quad (3)$$

Essa mudança assegura a estabilidade de longo prazo à unidade de massa do SI. Sua realização pode ser feita pelo método da balança de Kibble ou balança de watt, fundamentada no equilíbrio entre a força da gravidade compensada por uma força eletromagnética, com medições utilizando fenômenos quânticos, relacionando o quilograma à constante de Planck ou também pelo método da determinação da constante de Avogadro, a qual relaciona a massa macroscópica com a massa de um átomo, chamado de “experiência de Avogadro” (SBM/SBF, 2019).

1.1.2.4 Mol, a unidade de quantidade de substância

Na 14^a CGPM, em 1971, adotou-se a seguinte definição:

- I. O mol é a quantidade de substância de um sistema que contém tantas entidades elementares quantos átomos existem em 0,012 quilograma de carbono 12; seu símbolo é “mol”.
- II. Quando se utiliza o mol, as entidades elementares devem ser especificadas, podendo ser átomos, moléculas, íons, elétrons, assim como outras partículas ou agrupamentos especificados de tais partículas (INMETRO, 2012, p. 27).

A massa molar do carbono 12 é assumida igual a 12 gramas por mol. Em 1980, o CIPM especificou que nesta definição se faz referência aos átomos não-ligados de carbono 12, em repouso e no seu estado fundamental (INMETRO, 2012). Na 26^a CGPM, em 2018 decidiu-se que o mol seria definido com a utilização da constante de Avogadro (N_A).

O mol continuará a ser a unidade de quantidade de substância de uma entidade elementar especificada, que pode ser um átomo, molécula, íon, elétron, qualquer outra partícula ou um grupo especificado de tais partículas, mas seu valor será estabelecido fixando-se o valor numérico da Constante de Avogadro (N_A) exatamente igual a $6,022\,140\,76 \times 10^{23}$ quando expresso em unidades do SI, mol^{-1} (SBM/SBF, 2019, p. 07).

Fixando-se o valor de $N_A = 6,02214076 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, obtem-se

$$1 \text{ mol} = \frac{6,02214076 \times 10^{23}}{N_A} \quad (4)$$

Logo, “o mol é igual a quantidade de substância de um sistema que contém $6,02214076 \times 10^{23}$ entidades elementares especificadas” (LANDIM, 2018, p. 6).

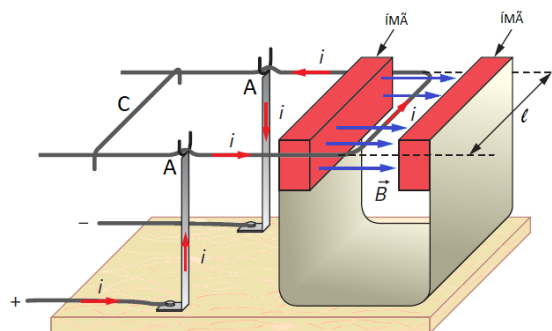
1.1.2.5 Ampere, a unidade de corrente elétrica

Na 9ª CGPM, em 1948, o ampere foi adotado como a unidade de corrente elétrica, com a seguinte definição:

O ampere é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, se mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e situados à distância de 1 metro entre si, no vácuo, produz entre estes condutores uma força igual a 2×10^{-7} newton por metro de comprimento (INMETRO, 2012, p. 25).

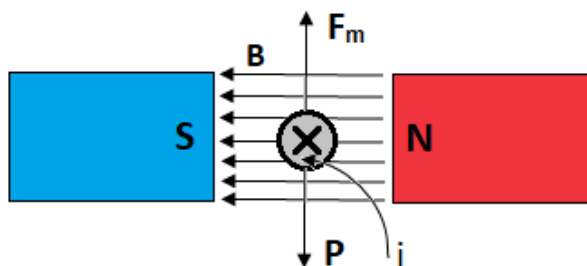
Disso resulta que a constante magnética μ_0 , também conhecida como a permeabilidade do vácuo, é exatamente igual a $4\pi \times 10^{-7}$ H/m. A constante magnética μ_0 pode ser obtida experimentalmente por meio de uma Balança de Ampère ou Balança de Corrente (Figura 05), um dispositivo que possibilita detectar e medir variações nas forças magnéticas que atuam em um condutor elétrico quando este é submetido à passagem de corrente elétrica, conforme esquema representado na Figura 06. Seu princípio de funcionamento baseia-se em campos magnéticos produzidos por correntes elétricas que circulam por dois condutores elétricos paralelos, nos quais, dependendo do sentido da corrente elétrica, a força magnética poderá estar no mesmo sentido da força peso ou no sentido oposto.

Figura 05 - Representação de uma balança de Ampère.



Fonte: adaptado de Gaspar (2016)

Figura 06 - Esquema de forças magnética e gravitacional sobre o pedaço de um fio.



Fonte: O autor (2020).

Uma balança conectada ao pedaço de fio pode ser utilizada para medir a força magnética em função da corrente elétrica. Se a força magnética apontar para baixo, o equilíbrio será obtido quando o valor dessa força somado ao peso do fio for igual à força vertical para cima exercida pela balança.

Na 26ª CGPM, em 2018 decidiu-se que a definição do ampere seria baseada na carga elétrica elementar, como:

O ampere (A), continuará a ser a unidade de intensidade de corrente elétrica, mas seu valor será estabelecido fixando-se o valor numérico da carga elementar e , exatamente igual a $1,602\,176\,634 \times 10^{-19}$, quando se expressa a unidade em coulombs (C), igual a A.s, onde o segundo é definido em função de $\Delta\nu_{Cs}$ (SBM/SBF, 2019, p. 06)⁷

Fixando-se o valor da carga elétrica elementar (e) em $1,602176634 \times 10^{-19}$ A.s, a unidade ampere é:

$$1\text{ A} = \left(\frac{e}{1,602176634 \times 10^{-19}} \right) \text{s}^{-1} = 6,789687 \dots \times 10^8 \Delta\nu_{Cs} \cdot e \quad (5)$$

Logo, o ampere é a corrente elétrica correspondente ao fluxo de $1/(1,602176634 \times 10^{-19})$ cargas elementares por segundo.

1.1.2.6 Kelvin, a unidade de temperatura termodinâmica

⁷ Disponível em:

http://metrologia.org.br/wpsite/wp-content/uploads/2019/07/Cartilha_O_novo_SI_29.06.2029.pdf.

Acesso em 02 abr. 2020.

A unidade de temperatura termodinâmica foi definida na 10ª CGPM, em 1954. O ponto triplo da água foi estabelecido como ponto fixo fundamental, atribuindo-lhe, por definição, a temperatura de 273,16 K (INMETRO, 2012). Somente na 13ª CGPM, em 1967, foi adotado o nome kelvin, cujo símbolo é o K (em vez de “grau kelvin”, símbolo °K), de modo que: “O kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica do ponto triplo da água” (INMETRO, 2012, p. 26).

Em 2005, o CIPM refinou essa definição de temperatura, especificando que esta se refere à água com a composição isotópica definida exatamente pelas relações das seguintes quantidades de substância: 0,00015576 mol de ^2H por mol de ^1H , 0,0003799 mol de ^{17}O por mol de ^{16}O e 0,0020052 mol de ^{18}O por mol de ^{16}O (INMETRO, 2012, p. 26). Na 26ª CGPM, em 2018, decidiu-se que a definição do kelvin dependeria da constante de Boltzmann:

O kelvin, símbolo K, continuará a ser a unidade de temperatura termodinâmica, mas seu valor será estabelecido fixando-se o valor numérico da constante de Boltzmann exatamente igual a $1,380649 \times 10^{-23}$ quando expresso em unidades do SI, $\text{m}^2 \text{kg s}^{-2} \text{K}^{-1}$, que é igual a (J K^{-1}) (SMB/SBF, 2019, p. 06).

Fixando-se o valor da constante de Boltzmann igual a $k = 1,380649 \times 10^{-23} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} \text{ K}^{-1}$ e considerando as expressões anteriores para kg (Eq. 3), m (Eq. 2) e s (Eq. 1), obtém-se uma expressão exata para a unidade kelvin:

$$1 \text{ K} = \left(\frac{1,380649}{k} \right) 10^{-23} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \text{ s}^{-2} = 2,266665 \dots \frac{\Delta v_{cs} h}{k} \quad (6)$$

Logo, “um kelvin é igual a mudança da temperatura termodinâmica que resulta em uma mudança da energia térmica kT de $1,380649 \times 10^{-23} \text{ J}$ ” (LANDIM, 2018, p. 5). Nos livros didáticos aprovados no PNLD do ano de 2018, nenhuma das doze obras apresenta a definição da unidade kelvin no SI.

Vale ressaltar ainda que o termômetro a gás, mesmo tendo representado um grande salto conceitual e qualitativo no século XIX, o que possibilitou a Lord Kelvin estabelecer a escala absoluta, é contemplado em apenas três obras, as quais apresentam e explicam o princípio de funcionamento de um termômetro a gás. Da mesma maneira, a extrapolação de retas, também foi um passo importante para estabelecer o zero absoluto. Contudo, apenas sete das obras abordam esse tópico.

1.1.2.7 Candela, a unidade de intensidade luminosa

A primeira tentativa de padronizar a intensidade luminosa ocorreu em 1909, por meio de um acordo entre Estados Unidos, França e Reino Unido. Nesse acordo, a vela internacional foi estabelecida a partir de uma lâmpada incandescente de filamento de carvão. Em 1948, com base nos estudos de Max Planck, a vela internacional foi substituída pela vela nova, que se baseava na luminância de um radiador de Planck (corpo negro) à temperatura de solidificação da platina (INMETRO, 2012). A 9ª CGPM ratificou a alteração dessa denominação para candela, símbolo cd.

Em 1967, na 13ª CGPM a definição da candela foi alterada para a intensidade luminosa, na direção perpendicular de uma superfície de área $1/600000$ metros quadrados de um corpo negro a temperatura de solidificação da platina sob pressão de 101525 N/m^2 . Contudo, devido à divergência de resultados da definição em experimentos de reprodução, na 16ª CGPM, em 1979, adotou-se uma nova definição: como a intensidade luminosa, numa dada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$, cuja intensidade radiante nessa direção é de $1/683 \text{ W/sr}$. (INMETRO, 2012). Essa é a definição da unidade candela até o presente momento.

Fixando-se o valor da eficácia luminosa de uma radiação monocromática de frequência de $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$, $K_{cd} = 683 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-3} \text{ cd sr}$ e substituindo-se as unidades kg (Eq. 3), m (Eq. 2), s e sr = 1, obtém-se uma expressão exata para a unidade candela:

$$cd = \left(\frac{K_{cd}}{683}\right) kg m^2 s^{-3} sr^{-1} = 2,614830 \dots \times 10^{10} (\Delta\nu_{cd})^2 h K_{cd} \quad (7)$$

1.1.3 As unidades derivadas do Sistema Internacional de Unidades

As unidades derivadas são obtidas a partir das relações algébricas das unidades fundamentais, como pode ser observado alguns exemplos no Quadro 03. Essas unidades são usadas para definir as grandezas derivadas e são importantes para garantir que cada grandeza física tenha uma unidade de medida específica.

Quadro 02 - Algumas unidades derivadas do Sistema Internacional de Unidades.

Grandeza	Unidade derivada no SI	Símbolo da unidade
----------	------------------------	--------------------

Velocidade		$\frac{m}{s}$
Aceleração		$\frac{m}{s^2}$
Frequência	hertz	$Hz = \frac{1}{s}$
Força	newton	$N = \frac{kg \cdot m}{s^2}$
Energia	joule	$J = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$
Potência	watt	$W = \frac{J}{s}$
Diferença de potencial elétrico	volt	$V = \frac{W}{A}$
Resistência elétrica	ohm	$\Omega = \frac{V}{A}$
Fluxo luminoso	lúmen	lm

Fonte: modificado de INMETRO (2012)

No Quadro 03, observa-se as grandezas diferença de potencial elétrico e resistência elétrica as quais, em 1998, o CIPM recomendou a utilização do efeito Josephson para a obtenção da unidade de diferença de potencial elétrico (volt) e do efeito Hall quântico para a unidade de resistência elétrica (ohm), a fim de serem representadas por meio de constantes físicas fundamentais, a constante de Planck e a carga elétrica elementar (LANDIM, 2017).

Desse modo, observa-se que

A voltagem Hall é dada por $V_H = wE_y = wvB$, sendo w a largura da folha. A resistência Hall, por sua vez, é definida como $R_H = V_H/I_x$. Se todos os elétrons tem carga e e velocidade v , então o valor da corrente será $I_x = dwev$, onde d é a densidade superficial de elétrons. Em conclusão, temos que a resistência Hall é dada por $R_H = B/de$ (NOVAES e STUDART, 2016, p. 69).

1.2 TEORIA DAS SITUAÇÕES DIDÁTICAS

Segundo Brousseau (1996 apud TEIXEIRA e PASSOS, 2013), Comenius definia didática como “a arte de ensinar”, sendo um método único e suficiente para todas as matérias, consistindo em um método natural, válido tanto nas artes como nas línguas, concernindo em variações insignificantes, não necessitando, portanto, de métodos especializados.

Opondo-se ao pensamento de Comenius, Brousseau define Didática como

Uma relação específica entre conteúdos de ensino, a maneira como os alunos adquirem conhecimentos e os métodos. Em vista disso, ele desenvolveu uma teoria para compreender as relações que acontecem entre os alunos, o professor e o saber em sala de aula e, ao mesmo tempo, propôs situações que foram experimentadas e analisadas “cientificamente” (BROUSSEU, 1986, apud TEIXEIRA e PASSOS, 2013, p. 157).

Por conseguinte, Brousseau elaborou a TSD que possibilita ao professor provocar rupturas em relação ao conhecimento cotidiano que o aluno traz previamente para a sala de aula, fazendo com que esses transcendam o fato, a intuição, o empírico (BRUM e SILVA, 2015).

Segundo Pinto (2000), na perspectiva epistemológica, a TSD é um direcionamento para a matemática da noção de obstáculo. De acordo com Bachelard (1996, p. 23) os professores de ciências

Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana.

Nesta perspectiva, sobre a noção de obstáculo epistemológico, Bachelard (1996) afirma que aparece no âmago do próprio ato de conhecer que aparecem - por uma espécie de imperativo funcional, lentidões e conflitos - podendo ser a causa de inércia e de regressão em busca do conhecimento. Para ele, a noção de obstáculo epistemológico pode ser estudada no desenvolvimento histórico do pensamento científico e na prática da educação. Neste âmbito, vale salientar que “o obstáculo aparece no momento da constituição do conhecimento sob a forma de um “contrapensamento”, posteriormente, como “parada do pensamento”, isto é, como uma resistência ou inércia do pensamento ao pensamento” (JAPIASSU, 1986, P. 36).

Além disso, a concepção de Bachelard sobre o progresso da ciência ocorre por discontinuidades ou rupturas. A ruptura é um não, é uma negação a um passado de erros e uma de suas preocupações epistemológicas é investigar a fonte destas cisões (SANTOS, 1991, apud ANDRADE; ZYLBERSZTAJN; FERRARI, 2000).

Brousseau reafirma essa ideia de Bachelard quando evidencia que os obstáculos didáticos originam-se por alguma ação educativa, didática ou do sistema educativo, ou seja, uma ação do professor que possibilita um conceito errado como consequência das relações escolhidas para serem trabalhadas com um determinado conceito (BRUM e SILVA, 2015).

Contudo, é importante ressaltar a necessidade do professor identificar os obstáculos, para, posteriormente, preparar sequências que propiciem a superação destes.

É para um obstáculo deste tipo que uma sequência pode ser direcionada. Mas isso requer uma condição: que o mestre, dependendo dos elementos que ele dispõe relativo ao nível da turma e dos alunos, considere realista o “salto conceitual” demandado. Porque, substancialmente diria Bachelard, “um obstáculo continua a ser um obstáculo” e não pode ser ultrapassado “na força”, a menos que pareça já enfraquecido, “rachado”, e que o objetivo da sequência seja acelerar e sistematizar uma evolução percebida (ASTOLFI, 1990, p. 169).

Brousseau (2008) afirma que a noção de obstáculo epistemológico tem sua fundação em Bachelard, porém, este explica que esse tipo de obstáculo era inexistente na matemática. Contudo, a modelagem das situações levou aquele a pensar o contrário, para tanto propôs uma definição mais adequada:

Um obstáculo é um conhecimento no sentido que lhe demos de forma regular de considerar um conjunto de situações. Tal conhecimento dá resultados corretos ou vantagens observáveis em um determinado contexto, mas revela-se falso ou totalmente inadequado em um contexto novo ou mais amplo (BROUSSEAU, 2008, p. 49).

Assim, a TSD desenvolvida por Guy Brousseau tem como propósito criar situações que abordem um obstáculo conhecido, em relação a um conhecimento matemático específico, o qual cria a necessidade dos alunos desenvolverem ou construírem novos conhecimentos matemáticos (JESSEN e WINSLØW, 2017). Ademais, é um método capaz de projetar um conjunto de condições que faz o estudante utilizar um objeto como meio para obter um determinado resultado. Essas condições, também denominadas situações, são modeladas por um ou mais sistemas os quais determinam um conhecimento ou um saber,

Uma situação é caracterizada em uma instituição por um conjunto de relações e de papéis recíprocos de um ou vários sujeitos (aluno, professor, etc) com um meio, visando à transformação deste meio segundo um projeto. O meio é constituído de objetos (físicos, culturais, sociais, humanos) com os quais o sujeito interage em uma situação (BROUSSEAU, 2010, p. 2, tradução nossa)

Dessarte, Brousseau definiu Didática como uma relação específica entre conteúdos de ensino, a maneira como os alunos adquirem conhecimentos e os métodos (TEIXEIRA e PASSOS, 2013). Por esse motivo, a teoria tem uma abordagem sistêmica, na qual o professor, o aluno e a situação interagem simultaneamente entre si, com o objetivo de compreender as relações que ocorrem entre as partes envolvidas.

Desse modo, o modelo utilizado na metodologia da sequencia didática elaborada e aplicada relacionada às grandezas e às unidades de base do SI foi a TSD. A importância de escolher um modelo é que ele

Favorece a articulação de atividades de ensino e aprendizagem, pois permite ao pesquisador/professor compreender a complexidade do que precisa ensinar e fazer os recortes da realidade para desenvolver um progresso de estudo direcionado (Laurens, 2012 apud NUNES; NUNES, 2019, p. 153).

Além disso, as situações que modelam a construção das sequências contemplam os itens elencados por Rickenmann (1998 apud Nunes e Nunes, 2019), o qual enfatiza que o modelo de uma sequência deve contemplar um tema, um objetivo bem definido para atividade cujo cerne é o saber a ensinar, as variáveis didáticas, o Milieu (a ser definido posteriormente), as instruções e a avaliação.

Dessa maneira, na TSD, os professores e os alunos são protagonistas no processo de ensino e aprendizagem, bem como o milieu em que a situação didática se faz presente. O propósito é criar situações que abordem um obstáculo conhecido em relação a um conhecimento, criando a necessidade de desenvolver ou construir novos conhecimentos, por meio da interação entre professor e alunos mediadas pelo saber nas situações de ensino, conforme o Esquema 1.

Esquema 1- Relação entre professor, aluno e saber.



Fonte: Adaptado de Almouloud (2007).

Fica, então, evidente que o papel do professor é fundamental, pois ele é responsável por criar situações que propiciem aos alunos aprender, uma vez que,

A concepção moderna do ensino solicita, pois, ao professor que provoque no aluno as adaptações desejadas, através de uma escolha judiciosa dos problemas que lhes propõe. Estes problemas, escolhidos de forma que o aluno possa aceitá-los, devem levá-lo a agir, a falar, a refletir, a evoluir por si próprio (BROUSSEAU, 1996, P. 49)

Nesse contexto, o milieu é parte importante do processo, pois é o meio com o qual o aluno interage para obter novos conhecimentos. Consiste no problema, nos conhecimentos prévios dos alunos e nos artefatos como papel, caneta, régua, calculadora, etc. Assim, segundo o autor, “o aluno aprende adaptando-se a um milieu que gera contradições, dificuldades e desequilíbrios, e não como sociedade humana. Este conhecimento, o resultado da adaptação do aluno, manifesta-se por novas respostas que proporcionam evidências de aprendizagem” (BROUSSEAU, 2002, p. 30, tradução nossa). Para Almouloud (2014), o milieu deve ser munido de intenções didáticas, caso contrário, é insuficiente para permitir a construção de conhecimentos para o aprendiz. Para tanto, o professor deve criar e organizar um milieu no qual serão desenvolvidas as situações suscetíveis de provocar essa aprendizagem.

Além disso, quando os alunos estão engajados no problema e exploram o milieu sem a interferência do professor, tem-se uma situação adidática. Quando o professor interage explícita e intencionalmente com os alunos com o objetivo de promover uma aprendizagem específica, tem-se uma situação didática. Azevedo assevera que:

A classificação das situações em didática e adidática não traz juízo de valor. Pode-se dizer que ambas as situações são importantes já que têm funções diferentes. A alternância de situações didáticas e adidáticas pode ajudar a atingir um número maior de alunos de uma classe, uma vez que não se consegue envolver todos os alunos o tempo todo (AZEVEDO, 2008, p. 40).

Desta forma, uma situação adidática faz-se quando o aluno é apresentado a uma situação, interage com o milieu, sem que o professor dê nenhum direcionamento, e adquire conhecimento. Assim,

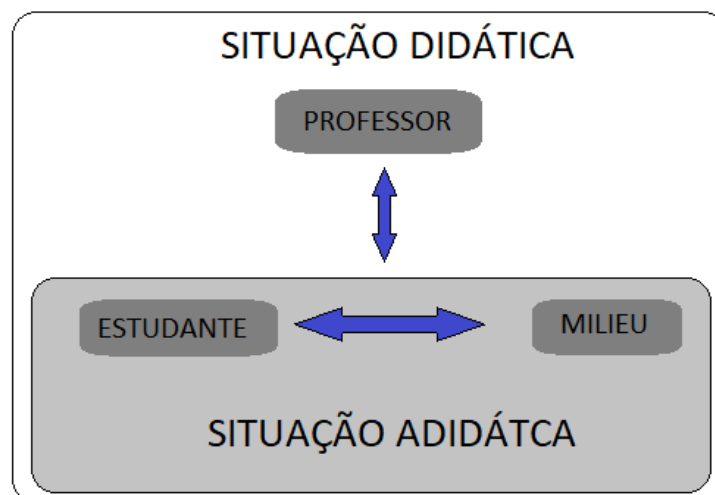
A situação adidática, como parte essencial da situação didática, é uma situação na qual a intenção de ensinar não é revelada ao aprendiz, mas foi imaginada, planejada e construída pelo professor para proporcionar a estas condições favoráveis para a apropriação do novo saber que deseja ensinar (ALMOULOU, 2014, p. 33).

Contudo, é importante que o professor crie uma situação que permita ao estudante resolvê-la, sendo que “esta situação ou problema escolhido pelo professor é uma parte essencial

do processo situação em que o professor procura devolver no aluno em uma situação adidática, o que proporciona uma interação mais independente e mais frutífera possível” (BROUSSEAU, 2002, p. 31, tradução nossa). Portanto, há uma situação adidática quando os alunos não dependem diretamente da interação do professor. Todavia, é importante ressaltar que uma situação adidática não implica em um professor ausente ou inativo, uma vez que o autoestudo espontâneo não é uma situação adidática, mas uma situação não-didática (JESSEN e WINSLØW, 2017).

Já numa situação que envolva um jogo, no qual são dadas as regras para os estudantes interagirem com determinado problema, esta é uma situação didática, que também podem ser entendida como “aquelas em que o professor interage explicitamente com os alunos, a fim de promover a aprendizagem de algo específico” (JESSEN e WINSLØW, 2017, p. 33). Enfim, situações adidáticas e didáticas têm funções diferentes, porém, ambas são importantes na construção do conhecimento. A alternância de situações didáticas e adidáticas pode ajudar a atingir um número maior de alunos de uma turma, pois é difícil abarcar plenamente os discentes durante todo o tempo no decorrer da aula. (AZEVEDO, 2008).

Esquema 2 - Situação didática como dupla interpretação.



Fonte: adaptado de Jessen e Winsløw (2017).

A Figura 07 mostra um esquema que articula a situação didática como um jogo duplo: o dos alunos com o milieu (situação adidática) e o dos professores com a situação prática (JESSEN e WINSLØW, 2017). Além disso, representa que situações adidáticas não implicam na ausência ou na inatividade do docente.

1.2.1 As fases da teoria das situações didáticas

A TSD constitui-se de um modelo para analisar o processo de ensino e aprendizagem, bem como para elaborar Sequências Didáticas. Esse modelo teórico “decompõe-se em quatro tipos de situações distintas, que potencializam um processo de investigação em sala de aula, nas quais o saber tem funções diferentes e o aprendiz não estabelece a mesma relação com este (NUNES; NUNES, 2019, p. 163). Nestas situações interligadas, podem-se observar cinco fases: devolução, ação, formulação, validação e institucionalização.

A primeira fase é a devolução, ponto de partida, momento em que o professor apresenta o problema e explica as regras para resolvê-lo. Nesta, é importante ter certeza de que os alunos entenderam as regras e são capazes de envolverem-se nas atividades pretendidas (JESSEN e WINSLØW, 2017). O professor deve propor um problema de interesse dos alunos, ou seja, que atinja a maioria, pois senão comprometerá o restante da situação didática.

Já a segunda é a fase da ação, em que os alunos participam de forma autônoma sobre o problema e o conhecimento, bem como manifestam-se por decisões e ações sobre o milieu. Azevedo (2008, p. 41) assevera que,

Numa situação de ação, o conhecimento do aluno se manifesta por decisões e ações regulares e eficazes sobre o meio. O aluno não precisa identificar, explicitar ou explicar o conhecimento; ele exprime suas escolhas e suas decisões sem qualquer código linguístico, pelas ações sobre o meio.

Nesta fase, os alunos vão elaborar hipóteses, portanto, o milieu tem que ser rico para apoiar o desenvolvimento de alguns conhecimentos pessoais dos alunos sobre o problema que eles estão envolvidos a resolver (JESSEN e WINSLØW, 2017). Uma situação de ação, para Almouloud,

Deve permitir ao aluno julgar o resultado de sua ação e ajustá-lo, se necessário, sem a intervenção do mestre, graças à retroação do *milieu*. Assim, o aluno pode melhorar ou abandonar seu modelo para criar um outro; a situação provoca assim uma aprendizagem por adaptação (2007, p. 37).

Assim, nesta fase é essencial ao aluno manifestar suas escolhas e decisões sobre o milieu, conferindo-lhes um papel ativo em busca do conhecimento.

Na terceira fase, a formulação, os alunos vão apresentar o que fizeram na fase anterior, ou seja, as hipóteses e os procedimentos adotados. Sendo assim, “a formulação de um conhecimento corresponderia a uma capacidade do sujeito de retomá-lo (reconhecê-lo, identificá-lo, decompô-lo e reconstruí-lo em um sistema linguístico)” (BROUSSEAU, 1997, p.

7, tradução nossa). O objetivo da formulação é a troca de informações, a comunicação linguística organizada e compreensível. A segunda e a terceira fase podem ser consideradas adidáticas, mas nem sempre. Em muitas escolas brasileiras, em função de anos de ensino centrado na narrativa do professor, os estudantes precisam de incentivo adicional para se engajarem na resolução da situação proposta. Nesse caso, uma estratégia eficaz é recolocar as tarefas com outras palavras.

A quarta fase é a validação, em que os alunos vão testar suas estratégias ou hipóteses contra o meio, ou seja, eles irão verificar se as estratégias utilizadas são viáveis ou se precisam de outra(s) estratégia(s). Segundo Brousseau, “É aquela cuja solução exige que os agentes estabeleçam juntos a validade do conhecimento característico dessa situação” (2010, p. 3). É ressaltar que

Pode acontecer um momento importante que é o de “prova”, usado aqui como momento de provar algo, não como avaliação formal. Neste momento, o emissor é agora um propositor, é o que propõe o conhecimento, e defende sua ideia, e o receptor é um opositor, que de certo modo questiona o emissor para que “prove” a validade de seu conhecimento (AZEVEDO, 2008, p. 42).

Por fim, a quinta e última fase é a da institucionalização, em que o conhecimento pessoal é articulado ao conhecimento institucional. Nesta, o professor reúne as ideias e resume os pontos principais das estratégias exploradas pelos estudantes nas fases anteriores. Nesse ínterim, segundo Brousseau, “o levar em conta oficial pelo aluno do objeto do conhecimento e pelo mestre da aprendizagem do aluno é um fenômeno social muito importante do processo didático: esse duplo reconhecimento é o objeto da institucionalização” (1997, p. 8, tradução nossa). O professor assume, então, posição de destaque, pois

O papel do professor inclui, além de organizar a aprendizagem, verificar o que os alunos fizeram ou não, o que eles aprenderam ou ainda precisam aprender. Deste modo, há uma retomada das ações e formulações realizadas que são incluídas no repertório dos alunos para serem usadas posteriormente. O conhecimento produzido durante uma sequência de atividades é discutido e resgatado de modo que o aluno perceba tratar-se de um saber aceito pela comunidade social e científica representada pelo professor (AZEVEDO, 2008, p. 42)

Por fim, na institucionalização, o docente organiza a aprendizagem e avalia as produções dos alunos identificando o que foi aprendido e o que precisa ser retomado, a fim de ampliar o conhecimento construído. Contudo, essa fase deve ser realizada no momento correto, pois

Se feita muito cedo, a institucionalização interrompe a construção do significado impedindo uma aprendizagem adequada e produzindo dificuldades para o professor e os alunos; quando é feita após o momento adequado, ela reforça interpretações inexatas, atrasa a aprendizagem, dificulta as aplicações (ALMOULOUD, 2007, p. 40).

Vale ressaltar que esta última fase tanto pode ocorrer na mesma aula, como pode demandar um tempo maior, de algumas aulas. Afinal, independente do tempo utilizado, o importante é que institucionalização do saber se torne oficial e os alunos incorporem-no em seus esquemas mentais, disponível para utilização em resoluções de problemas (ALMOULOUD, 2007).

1.2.2 A Teoria das Situações Didáticas na literatura

A TSD é utilizada como metodologia tanto para o ensino de Matemática como para o de Ciências, isso pode ser verificado em alguns artigos publicados nos principais periódicos nacionais e internacionais.

Silva et al (2019) retratam uma experiência em sala de aula elaborada de acordo com a TSD sobre o Efeito Mpemba ou paradoxo Mpemba, que consiste no fato de, sob certas condições, a água quente congelar mais rapidamente que a água fria. Assim, abordando conceitos de Física, Química e Matemática, apresentaram explicação para o efeito, pautado nas observações dos resultados experimentais e incentivando a pesquisa. Mediante as fases de ação, formulação, validação e institucionalização citadas anteriormente, os alunos conseguiram, em sua maioria, observar o efeito Mpemba, criaram e testaram suas hipóteses e chegaram às conclusões. Na fase da institucionalização, que ocorreu na mesma aula da fase de validação, o professor foi responsável pela coleta dos dados dos alunos e pela mediação, abordando os conceitos discutidos pelos estudantes e outros não levantados, mas que fizeram parte dos objetivos da aprendizagem.

Oliveira, Alves e Silva (2019) investigaram as relações recorrentes bi e tridimensionais do modelo de Fibonacci, realizando uma transposição didática dessas relações matemáticas através de uma proposta de atividades com enfoque na TSD, cujas etapas de resolução das questões são categorizadas em ação, formulação, validação e formulação, obedecendo os paradigmas da TSD. Desta forma, propuseram atividades a fim de oportunizar o entendimento das relações recorrentes bi e tridimensionais do modelo de Fibonacci. Também fizeram uma predição das etapas de ação, formulação e validação no momento da resolução de cada questão. Na institucionalização, o intuito é formalizar o conteúdo estudado e, assim, ampliar o repertório

de conhecimento sobre as relações matemáticas oriundas da investigação do modelo de Fibonacci e perceber um processo evolutivo deste modelo.

Azevedo (2008) usando a TSD, com o objetivo de observar a sala de aula e verificar se as situações e os contratos didáticos mostram a possibilidade de uma sequência didática tornar-se parte do saber escolar, por ter sido aceita pelos alunos. Para tanto, focou nos conteúdos de partículas elementares e de dualidade onda-partícula, motivada pela atualização do currículo por meio da Física Moderna e Contemporânea. De acordo com a autora, se o aluno apropria-se do problema, a aprendizagem dos conceitos e a construção do conhecimento acontecem na busca de sua solução, assim como, se o aluno aceita sua parte de responsabilidade na aprendizagem, esta acontece.

1.3 CONCEITOS UNIFICADORES

Os conceitos unificadores sistematizados por Angotti (1991), utilizados como guias para o ensino de Ciências da Natureza, não são modelos nem teorias, mas têm uma relação com ambos. Para Auth (2002, p. 91),

A ideia de utilizar tais conceitos está direcionada a evidenciar aspectos sobre como a Ciência progride – sem cair numa forma linear de proceder (visão única) –, bem como compreender como alguns conceitos chegam a se constituir potenciais para pensar grandes categorias, que podem ser utilizadas para melhor entender a atividade científica.

Logo, é uma alternativa para romper com o currículo fragmentado que se estabelece nas escolas. Para Angotti (1991, p. 103), os conceitos unificadores “podem dirigir a busca e conquista de ganhos culturais mais voltados para as totalidades, sem descaracterizar as necessárias fragmentações”. Sendo assim, eles facilitam os elos e as conexões entre as áreas do conhecimento, uma vez que é sustentado pelo ensino das Ciências da Natureza através de temas, no sentido freiriano.

Angotti (1991) propôs quatro conceitos unificadores, sendo dois de primeira ordem, transformações e regularidades, e dois de segunda ordem, energia e escala. Esses conceitos constituem-se como âncoras para o que é mais universal e geral, partilhado entre os conhecimentos das ciências da natureza e das tecnologias (JOSÉ et al, 2014).

O conceito unificador transformação é o mais simples e amplo, assim como é o mais usual nas investigações científicas. Pode ser utilizado das séries iniciais até o ensino superior, uma vez que é adequado a diferentes estratégias. Esse conceito unificador “engloba as

transformações que ocorrem com a matéria (incluindo energia), tanto no espaço, como no tempo” (AUTH, 2002, p. 92).

Mesmo não sendo possível explicar de forma precisa o que é energia, sabe-se como ela se comporta, inclusive, como pode ser quantificada e classificada em diversas formas ou tipos específicos. No ensino médio espera-se que os alunos compreendam as seguintes formas de energia: mecânica (cinética e potencial), térmica, elétrica, luminosa, sonora, química e nuclear. Ainda tem-se a perspectiva de que os alunos aprendam as transformações de energia cuja transformação pode ocorrer em uma usina hidrelétrica:

No caso da usina hidrelétrica existe uma barragem que armazena a água, a uma certa altura em relação à turbina. Devido à atração gravitacional da Terra sobre a água, podemos dizer que o sistema Terra-água armazena uma forma de energia que denominamos energia potencial gravitacional. Isto significa que esta energia pode potencialmente ser transformada em energia cinética quando, através de tubos, a água atinja a turbina (GREF, 2001, p. 107).

Já o conceito unificador regularidades está associado à noção de conservação, amplamente utilizada pela Física. Tenta equilibrar a diversidade de fenômenos e as similaridades, ou seja, coisas em comum, de forma a simplificar as suas descrições, mas não se reduzir à superficialidade (AUTH, 2002). Assim, regularidades constituem a contrapartida das transformações no conhecimento, principalmente no âmbito científico (ANGOTTI, 1991). Assim, pode-se destacar que pelo “princípio geral de conservação da energia, esta pode ser transformada de uma forma em outra, mas não pode ser criada nem destruída; a energia total é sempre constante” (LUZ, ÁLVARES E GUIMARÃES, 2016, p. 197).

Também, de acordo com Nussenzeig (2002), nota-se que a uniformidade do tempo implica na conservação de energia, pois se não há forças externas dependentes do tempo atuando sobre o sistema, este será simétrico para uma translação temporal, o que equivale a repetir a experiência em outro horário, tomando as mesmas condições iniciais em instantes diferentes e, em decorrência disso têm-se que a conservação da energia total obtida como consequência da simetria por translação temporal do sistema.

Outrossim, o conceito unificador energia é o mais abstrato, abrangente e complexo, uma vez que, energia é um conceito polissêmico, não palpável e, é acompanhado de linguagem matemática. Além disso, a energia muda sua forma conforme suas transformações ocorrem. Desse modo, Angotti (1991, p. 115) refere-se a energia como:

Um “sutil camaleão” do conhecimento científico. Transforma-se espacial e temporalmente, na dinâmica mutável dos objetos, fenômenos e sistemas,

conserva-se na totalização das distintas formas e degrada-se porque uma de suas formas – o calor – é menos elástica ou reversível do que as outras.

Assim, esse conceito favorece a relação com outras áreas, como verifica-se ao trabalhar o tema “produção de energia elétrica”, visto que podem ser abordado os aspectos sociais, geográficos, ecológicos e físicos.

Ademais, o conceito de energia é importante para a padronização com as constantes universais, uma vez que a constante de Boltzmann é relacionada à energia de um objeto a sua temperatura, assim como, a constante de Planck define o tamanho do quanta, entendidos como pacotes de energia trocados pela matéria. Também na frequência de transição hiperfina de césio-133, a energia do elétron mais externo pode ser controlada por radiação de microondas, o qual faz com que esse elétron salte entre dois estados de baixa energia bem espaçados. Além do mais, como as unidades derivadas são definidas a partir das unidades de base, há a dependência dessas com as constantes universais, podendo ser verificada na definição do volt, que é realizada por meio do efeito Josephson, que é dependente das constantes de Planck e carga elétrica elementar.

O conceito unificador escala enquadra os outros conceitos nas mais distintas dimensões, que quando normatizadas, corresponde a existência de escalas (AUTH, 2002). Nesse conceito prevalece o quantitativo, aliado ao qualitativo. Sobre a necessidade do trabalho com quantidades para aprendizagem em ciências da natureza, Angotti (1991, p. 142) afirma que “não se trata de aborrecer alunos com “cálculos e continhas intermináveis”, mas de lutar com eles para adquirirem a capacidade de estimar, dimensionar com relativa precisão”.

Dincer e Osmanoglu (2018) investigaram o conhecimento e as dificuldades dos futuros professores de ciências quanto às conversões de unidades métricas e obtiveram um resultado preocupante, principalmente na utilização dos prefixos giga e nano, pois quando foi solicitado aos professores para converter gigâmetro em nanômetro a porcentagem das respostas corretas foi de 5,5%. Assim, fica evidente, neste estudo, a carência da noção de escalas.

Como exemplo de conversões de unidades, atômicas em astronômicas, pode-se fazer uma estimativa sobre a seguinte questão: se todas as moléculas de DNA do genoma humano fossem estendidas e reunidas numa única linha, qual seria o comprimento desta? Para tanto, deve-se considerar que o genoma humano tenha 6 bilhões de pares de bases. Se cada par de base tem $3,4\text{Å} = 3,4\text{Å} = 3,4 \times 10^{-10}m$. Logo, para 6 bilhões de pares de base tem-se: $6 \times 10^9 \times 3,4 \times 10^{-10} m \approx 2 m$. Como há aproximadamente 10 trilhões de células no corpo humano, terá: $1 \times 10^{13} \times 2 m = 2 \times 10^{13}m = 20 \text{ bilhões de km}$.

Quanto à unidade metro, esta é utilizada para medidas de comprimentos, logo, constata-se os valores de comprimentos de onda da luz visível na faixa de nanômetros (10^{-9} m). Também observa-se os valores da distância da estrela mais próxima da Terra, com exceção do Sol, a Alfa Centauri, de aproximadamente 41 trilhões de quilômetros, na ordem de terametro (10^{12} m). Assim, a unidade metro é utilizada em diversas ordens de grandezas além das descritas, em diversas situações do cotidiano.

A grandeza energia pode ser expressa nas unidades joule (J), caloria (cal), elétron-volt (eV) e quilowatt-hora (kWh). No cotidiano é comum o uso dessas unidades para representar a energia dos alimentos, observa-se isso em 20 g de um achocolatado, encontrado frequentemente nos mercados, o qual possui 75 kcal ou 315 kJ. Essa grandeza, também poderia ser apresentada como $1,96 \times 10^{23}$ eV ou também 0,085 kWh.

Por fim, os conceitos unificadores são de suma importância para a elaboração da sequência didática apresentada neste trabalho, principalmente o conceito unificador escala, pois trabalha a noção de quantidade, associando a capacidade de estimar com uma relativa precisão, relacionada a valores e a atitudes, na resolução de problemas reais, como será apresentado, posteriormente, no próximo capítulo.

METODOLOGIA

O estudo aqui apresentado trata-se do relato da elaboração e validação de uma sequência didática que contempla atividades experimentais, estudos dirigidos de textos, exposições dialogadas, exibição e análise de vídeos e documentário. Essa sequência didática foi aplicada após uma sondagem na qual foi possível verificar que os alunos não tinham as noções de medidas consideradas satisfatórias para a série em que se enquadravam. As atividades foram executadas no primeiro semestre de 2019 a uma turma de 23 estudantes, ambos os gêneros, com faixa etária entre 17 e 18 anos, do período matutino, do terceiro ano do Ensino Médio de uma escola pública do município de Franca/SP. Ainda foi feito um teste de uma das situações didáticas, em outra turma, de 40 estudantes, ambos os gêneros, com faixa etária entre 16 e 17 anos. Essa segunda aplicação foi executada com o objetivo de confirmar os resultados, visto que, no sexto encontro da primeira aplicação referida houve um pequeno número de participantes.

Diante do exposto, é importante ressaltar que o objetivo desse estudo é trabalhar as unidades de base do SI estruturadas de acordo com as cinco fases da Teoria das Situações Didáticas (devolução, ação, formulação, validação e institucionalização) propostas por Brousseau, as quais figuram também como unidades de análise. A análise da pesquisa é de abordagem qualitativa, considerando que

O material obtido nessas pesquisas é rico em descrição de pessoas, situações, acontecimentos; inclui transcrições de entrevistas e de depoimentos, fotografias, desenhos e extratos de vários tipos de documentos. Citações são frequentemente usadas para subsidiar uma afirmação ou esclarecer um ponto de vista. Todos os dados da realidade são considerados importantes. O pesquisador deve, assim, atentar para o maior número possível de elementos presentes na situação estudada, pois um aspecto supostamente trivial pode ser essencial para a melhor compreensão do problema que está sendo estudado. (LUDKE e ANDRÉ, 1986, p. 12)

O estudo está subsidiado por dois instrumentos de registro: as observações, por meio da filmagem das aulas, bem como a análise documental da produção escrita dos alunos. Tais escolhas se justificam, respectivamente, pois a filmagem possibilita um registro que permite a investigação a posteriori permitindo explorar mais elementos da situação estudada. O segundo instrumento citado é o registro escrito do roteiro, entregue a cada grupo e recolhido no final da aula, nele constam as respostas das atividades realizadas. A produção desses dados está subsidiada em evidências e, de acordo com Thomas e Pring (2007, p. 9),

Há muitos tipos de evidência disponíveis aos profissionais, para dar sustentação a ideias e proposições que surgem como parte de seu trabalho: da observação, de documentos, das palavras de outros, da razão ou da reflexão, da pesquisa de um tipo ou de outro.

Também segundo os autores, as evidências podem assumir formas distintas e serem valorizadas de diversos modos, dependendo da área da pesquisa. Assim, um pesquisador na área da educação busca evidências diferentes daquelas que um historiador destacaria. Thomas e Pring (2007, p. 13) estabelecem critérios para avaliar as evidências, os quais foram explicitados no Quadro 04 e estão relacionados entre si.

Quadro 03 - Critérios para avaliar as evidências.

Critério	Possibilitado por
1. Relevância	Estabelecer que a informação constitui informação em favor (ou contra) alguma posição
2. Suficiência	Corroborar com outros exemplos do mesmo tipo de evidências ou de outros tipos de evidências
3. Veracidade	Estabelecer que o processo de coleta de evidências tenha sido livre de distorções e, até onde for possível, não-contaminado por interesses estabelecidos

Fonte: Thomas e Pring (2007)

Considerando a sequência didática proposta, espera-se que os alunos reconheçam a poluição como um dos maiores problemas enfrentados no século 21, porém, aguçando sua capacidade de se posicionar de forma crítica e, associando a educação ambiental aos conceitos físicos relacionados à noção de escala, a uma boa percepção de espaço e de tempo. No primeiro encontro, buscou-se identificar evidências relacionadas à realização de medidas precisas com a balança, utilizar o método negociado e os dados obtidos para estabelecer estratégias de resolução das atividades, pré-requisito para desenvolverem as atividades do segundo encontro, estas referentes à medida de massa de plástico de uma embalagem de absorvente higiênico. Esse planejamento está subsidiado no segundo critério do Quadro 4, a “suficiência”, na medida em que se fez necessário contextualizar exemplos diversos, a fim de aplicar conhecimentos mais pontuais. No terceiro encontro, a relevância no percurso educativo deu-se pela construção da noção de escala por meio de estimativas com relativa precisão. Já no quarto encontro, objetivou-se encontrar indícios de que os estudantes compreendessem que há uma balança adequada a cada faixa de massa e associar a calibração de balanças com a linearidade dos gráficos de corrente elétrica versus massa. Além disso, foi feita uma engenharia reversa em relação à balança, no qual o professor abriu a “caixa preta” e pontuou com os alunos as partes que a compunham, assim como suas funções, possibilitando análises de “relevância” nos

comentários durante a dialogação e a “suficiência” nas relações com o que foi apresentado sobre os tipos de balanças.

Já no quinto encontro buscou-se analisar dados para identificar a linearidade das escalas a partir de representações gráficas, realizando o critério da “suficiência”. Por fim, no sexto encontro, procurou-se constatar a compreensão dos alunos e das alunas quanto à relação do foco da lâmpada com a intensidade e quanto à sobreposição de cores. Além disso, vale ressaltar que a “veracidade” é repetidamente consolidada durante as fases de institucionalização, o que terá maior enfoque no Capítulo 4 mediante os resultados.

Deste modo, Thomas e Pring (2007) estabeleceram três critérios para avaliar as evidências, sendo que, estes estão relacionados entre si. Ademais, para constituir evidência, a informação deve passar por essa série de testes.

O professor tem um papel fundamental em uma pesquisa educacional, dado que

No contexto da pesquisa direcionada ao aprimoramento da prática educativa, os professores devem ser envolvidos na priorização de seus objetivos educativos em uma dada situação, na definição do que se deve contar como evidências relevantes do grau no qual estão sendo realizados e na interpretação da importância prática para eles. Em outras palavras, a pesquisa educacional, envolverá os professores em sua construção e execução, e não simplesmente na aplicação de suas conclusões (ELLIOTT, 2007, p. 190).

Como o próprio professor será o observador, encaixa-se nesse perfil de como participante que, de acordo com Ludke e André (1986, p. 29), tem um papel:

Em que a identidade do pesquisador e os objetivos do estudo são revelados ao grupo pesquisado desde o início. Nessa posição, o pesquisador pode ter acesso a uma gama variada de informações, até mesmo confidenciais, pedindo cooperação ao grupo. Contudo, terá em geral que aceitar o controle do grupo sobre o que será ou não tornado público pela pesquisa.

Além disso, em uma pesquisa de metodologia qualitativa, em alguns casos, os dados de pesquisa podem ser empíricos e combinados em síntese narrativa (GOUGH, 2007).

Visto que o estudo envolve sete variáveis, as quais englobam as sete unidades de base do SI, foi escolhido, na execução deste trabalho, o enfoque na TSD, porque sequências comandadas pela exploração de uma situação, tem como atributo que

As situações atreladas as sequências dessa categoria podem estar relacionadas a um grande número de conceitos, mas que não são abordados na íntegra, e sim, de forma parcial. Tais situações podem ser retomadas em momentos oportunos, de acordo com objetivos futuros do professor em aprofundar, sistematizar, institucionalizar, etc. Os conceitos em jogo, ou seja, não se trata de uma introdução geral de diferentes aspectos de uma noção (ASTOLF, 1990 apud NUNES; NUNES, 2019 p. 157).

Além disso, esse enfoque se adequa bem à problemática da poluição e à experimentação investigativa.

Neste domínio, a sequência didática foi organizada em seis encontros de duas horas/aula (50 min) cada uma, conforme o quadro 05, que mostra a distribuição das aulas na sequência didática.

Quadro 04 - Distribuição das atividades na sequência didática.

Encontro	Atividade	Duração
01	Problematização: leitura e discussão de três textos sobre plástico nos oceanos	1 h/aula
01	Padronização das medidas de massa e de comprimento (parte I)	1 h/aula
02	Padronização das medidas de massa e de comprimento (parte II)	2 h/aula
03	Padronização das medidas de tempo	2 h/aula
04	Engenharia reversa da balança e padronização das medidas de corrente elétrica	2 h/aula
05	Padronização das medidas de temperatura e as diferentes escalas	2 h/aula
06	Poluição luminosa e padronização da determinação da intensidade luminosa	2 h/aula

Fonte: o autor (2020).

O primeiro encontro foi destinado à problematização do tema poluição, este consistiu-se em leitura e discussão de textos sobre o problema da presença do plástico nos oceanos. A escolha dessa temática deve-se ao fato de o lixo e a poluição serem um dos maiores problemas enfrentados no Século XXI. Isso ocorre em decorrência da imensa quantidade de lixo produzido, portanto se a humanidade quiser mudar o rumo da história no planeta Terra é vital repensar os hábitos cotidianos; dentre eles o uso de plásticos de uso único, que é totalmente dispensável.

Ainda no primeiro encontro, abordou-se a padronização de massa e de comprimento, por meio de uma atividade envolvendo folhas de papéis A4 de diferentes densidades. Na fase da devolução, foram apresentadas aos alunos, três pilhas de folhas de papéis A4 brancas com diferentes densidades. Após os discentes observarem as folhas, foram estimulados a refletirem sobre a seguinte questão: qual a diferença entre elas? Todos os grupos fizeram seus registros e promoveram uma breve discussão.

Assim, a situação problema foi proposta mediante a questão geradora: como é possível medir a massa de uma folha de papel? Desta maneira, na fase da ação, os estudantes, em pequenos grupos, montaram suas estratégias ou esquemas para medir a massa de uma única folha de papel e, na fase seguinte, a formulação, os grupos as apresentaram. Já na validação, os grupos fizeram os testes utilizando uma balança digital comercial de cozinha. Por fim, na fase da institucionalização, o professor resumiu os pontos principais e finalizou com a resolução do

problema utilizando os conhecimentos construídos durante as fases e os conhecimentos científicos. As fases da TSD para o primeiro encontro são sintetizadas no Quadro 05.

Quadro 05 - As fases da TSD na primeira etapa do primeiro encontro.

Fases	Papel do professor	Papel do aluno	Milieu	Situação
Devolução	Apresentar o problema da medida da massa de uma folha de papel	Escutar a proposta apresentada	Folhas de papel de diferentes densidades	Didática
Ação	Observar	Elaborar hipóteses para resolução do problema		Adidática
Formulação	Coordenar as discussões e recolocar o problema, se necessário	Apresentar as hipóteses e os procedimentos adotados		Adidática
Validação	Escutar e avaliar, se necessário	Verificar a viabilidade das estratégias utilizadas ou se precisam de outras estratégias	Folhas de papel de diferentes densidades e balança	Adidática
Institucionalização	Reúne as ideias, resume os pontos principais das estratégias e sistematiza o conhecimento escolar	Escutar e refletir		Didática

Fonte: o autor (2020).

No segundo encontro, promoveu-se a continuidade da padronização da massa e do comprimento por meio do contexto do lixo plástico. No primeiro momento, fase da devolução, apresentou-se aos alunos um pacote de absorvente higiênico e a situação problema, proposta mediante a seguinte questão geradora: qual a massa de plástico contida em um pacote de absorvente higiênico?

Na fase da ação, tendo em vista a questão proposta, os alunos, em pequenos grupos, montaram estratégias ou esquemas para a medição solicitada, apresentando, nas fases seguintes, a formulação e a validação, suas estratégias e hipóteses, as quais foram testadas utilizando o *milieu*, uma balança digital de cozinha.

Na fase da institucionalização, o professor reuniu as ideias e os resultados dos grupos, associando a determinação da massa de plástico a dois procedimentos: a medida direta de uma quantidade maior de cada parte plástica e depois a contabilização delas para o conjunto, e, finalizando com a exibição do segundo episódio do documentário *Precisão: a medida de todas as coisas – massa e mol*⁸, cuja imagem de capa é mostrada na Figura 07. Nesse momento, discutiu-se a importância de padronizar medidas, o protótipo Le Grand K e sua atual

⁸ O vídeo pode ser acessado do endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=O11YjZYJV6U&t=5s>. Acessado em 10 abr de 2020.

deterioração; e a relação entre massa e mol, tradicionalmente delegada à disciplina de Química nos anos anteriores do ensino médio.

Figura 07 - Documentário “Precisão a medida de todas as coisas – massa e mol”.



Precisão A Medida de Todas as Coisas EP02 Massa e Mol

Fonte: Precisão a medida de todas as coisas Episódio 02 massa e mol (2014).

Em seguida, no Quadro 06 são apresentadas as fases da TSD para as atividades propostas no segundo encontro.

Quadro 06 - As fases da TSD na segunda etapa do segundo encontro.

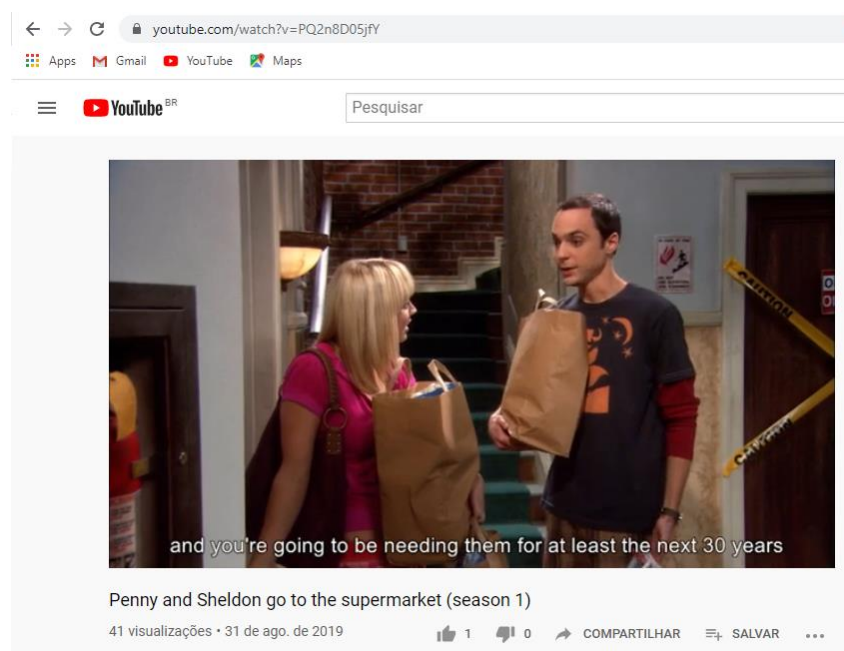
Fases	Papel do professor	Papel do aluno	Milieu	Situação
Devolução	Apresentar o problema da medida da massa de um pacote de absorvente	Escutar a proposta apresentada	Pacote de absorvente higiênico	Didática
Ação	Observar	Elaborar hipóteses		Adidática
Formulação	Coordenar as discussões, recolocando a questão	Apresentar as hipóteses e os procedimentos adotados		Adidática
Validação	Escutar e avaliar, se necessário	Verificar a viabilidade das estratégias utilizadas ou se precisam de outras estratégias	Pacote de absorvente higiênico e balança	Adidática
Institucionalização	Reúne as ideias, resume os pontos principais e articula as definições usuais.	Escutar e refletir		Didática

Fonte: o autor (2020)

Já o terceiro encontro, iniciou-se com o estudo dirigido de um texto sobre medidas de tempo ao longo da história e, posteriormente, na fase da devolução, os alunos e as alunas assistiram um trecho da série *The Big Bang Theory* (quarto episódio da primeira temporada), o qual, de forma bem humorada, discutiu a periodicidade da menstruação ao longo da vida fértil

e a estimativa da quantidade total de absorventes higiênicos. Uma imagem impressa da tela do youtube referente ao episódio é apresentada na Figura 08. Logo após, foram colocadas as questões geradoras: qual a quantidade de plástico, proveniente de absorventes higiênicos, descartada por uma mulher (sexo biológico) durante sua vida fértil (período que dura aproximadamente 30 anos)? Qual a quantidade de plástico, proveniente de absorventes higiênicos, descartada pela população feminina (sexo biológico) em idade fértil residentes no município de Franca-SP, no período de um ano? Vale ressaltar que as questões geradoras foram propostas no sentido de transcender o empírico, explorando a questão do conceito unificador escala. Sobre a necessidade do trabalho com quantidades para aprendizagem em Ciências da Natureza, Angotti (1991, p. 142) afirma que “não se trata de aborrecer alunos com “cálculos e continhas intermináveis”, mas de lutar com eles para adquirirem a capacidade de estimar, dimensionar com relativa precisão”.

Figura 08 - Série The Big Bang Theory, quarto episódio da primeira temporada.

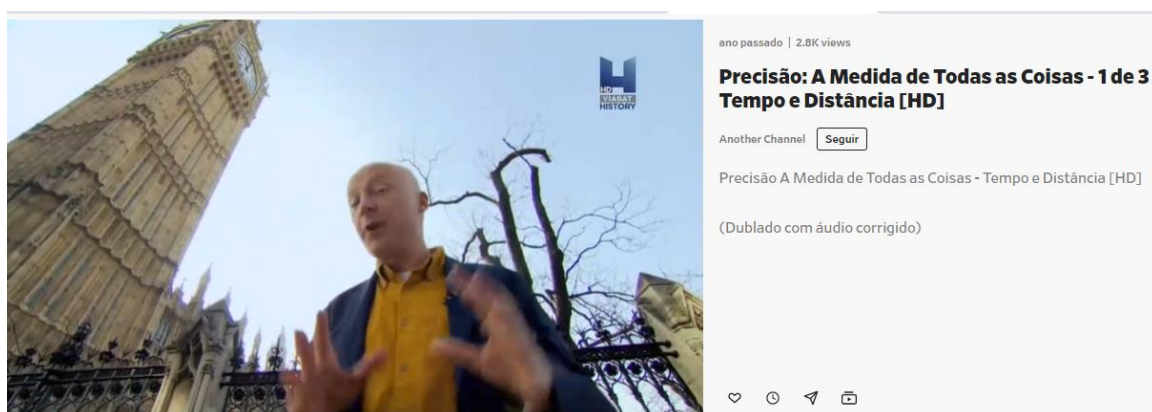


Fonte: The Big Bang Theory (2019)

Na fase da ação, os alunos e as alunas, em pequenos grupos, montaram suas estratégias. Na fase seguinte, a formulação, os grupos apresentaram-nas. Já na validação, utilizando o *milieu*, os grupos testaram suas estratégias para a resolução do problema, utilizando uma calculadora e os dados do IBGE do ano de 2010 da população do sexo feminino no município de Franca/SP.

Por fim, na fase da institucionalização, o professor sintetizou os pontos principais, discutiu as ideias e os resultados, finalizou com a discussão do documentário, cuja impressão da tela inicial consta na Figura 09, *Precisão: a medida de todas as coisas – tempo e distância*⁹. Neste documentário foram analisadas detalhadamente as unidades metro e sua determinação em relação às dimensões da Terra, e o segundo, elencando contribuições históricas relevantes para a consolidação das medidas e definições.

Figura 09 - Documentário “Precisão a medida de todas as coisas – tempo e distância”.



Fonte: PRECISÃO A medida de todas as coisas -1 de 3- Tempo e Distância (2018)

Em seguida, no Quadro 07, são apresentadas as fases da TSD para as atividades propostas no terceiro encontro.

Quadro 07 - Fases da TDS no terceiro encontro.

Fases	Papel do professor	Papel do aluno	Milieu	Situação
Devolução	Apresentar o problema da quantidade de plástico descartado pela população de mulheres no município de Franca-SP.	Escutar a proposta apresentada	Papel e calculadora	Didática
Ação	Observar	Elaborar hipóteses		Adidática
Formulação	Coordenar as discussões	Apresentar as hipóteses e os procedimentos adotados		Adidática
Validação	Escutar e avaliar, se necessário	Verificar se as estratégias utilizadas são viáveis ou se	Papel e calculadora	Adidática

⁹ O vídeo pode ser acessado no endereço: <https://www.dailymotion.com/video/x6vvc9>. Acessado em 10 abr 2020.

		precisam de outra estratégia		
Institucionalização	Reúne as ideias, resume os pontos principais e articula com o conhecimento formal escolar.	Escutar e refletir		Didática

Fonte: o autor (2020).

O quarto encontro contemplou a padronização da corrente elétrica. Para tanto, uma balança digital comercial de cozinha foi desmontada a fim de oportunizar a visualização de suas partes e componentes. O professor apresentou a ponte de Wheatstone explicando seu funcionamento considerando a associação de resistores, conteúdo usualmente explorado nesse ano do ensino médio e que a turma havia estudado no bimestre anterior. Ainda nessa aula, abordou-se também sensores de carga, extensômetros e tipos de gráficos, juntamente com suas propriedades. Na fase da devolução, a questão geradora foi: como é feita a calibração de uma balança?

Figura 10 - Extensômetro da balança digital de cozinha.



Fonte: o autor (2020)

Nas fases seguintes, ação e formulação, os alunos e as alunas, em trios, formularam e testaram estratégias para a resolução da questão geradora. Logo após, os grupos construíram os gráficos, utilizando calculadora e papel milimetrado.

Por fim, nas fases de validação e da institucionalização, o professor solicitou a comparação visual dos resultados, solicitando que um grupo descrevesse o gráfico de outro. Destacou as curvas e as características dos gráficos plotados por eles, ressaltando a relação

linear entre a tensão elétrica e a massa, utilizada para a calibração de uma balança. Para uma maior explanação, no Quadro 08 são apresentadas as fases da TSD nas atividades propostas no quarto encontro.

Quadro 08 - Fases da TSD no quarto encontro.

	Papel do professor	Papel do aluno	Milieu	Situação
Devolução	Apresentar o problema da calibração de balanças	Escutar a proposta	Balança, notebook e projetor	Didática
Ação	Observar	Elaborar hipóteses		Adidática
Formulação	Coordenar as discussões	Apresentar as hipóteses e os procedimentos adotados		Adidática
Validação	Escutar e avaliar, se necessário	Realizar a comparação visual dos gráficos produzidos pelos diferentes grupos	Calculadora e folha de papel milimetrado	Adidática
Institucionalização	Reunir as ideias e articular ao conhecimento formal escolar	Escutar e refletir		Didática

Fonte: o autor (2020).

O quinto encontro abordou a padronização de temperatura, o objetivo era mostrar a dependência linear da variação da temperatura, de forma análoga à discussão do encontro anterior. A fim de motivar a discussão temática proposta, foi realizada a leitura dirigida de um texto sobre temperatura e as escalas termométricas. Na fase da devolução foi apresentada a questão geradora: como são definidas as escalas de temperatura?

Nas fases seguintes, ação e formulação, os alunos e as alunas, em trios, montaram e apresentaram suas estratégias, trabalhando, na validação, conjuntamente na resolução gráfica do problema proposto, utilizando uma calculadora e folhas de papel milimetrado. Já na institucionalização, como no encontro anterior, o professor reuniu as ideias e os resultados, explicitando a importância da relação linear entre as grandezas. Encerrou com a análise de trechos do documentário *Zero Absoluto - A conquista do frio*¹⁰, cuja impressão da tela inicial é visualizada na Figura 11. Por meio dessa análise, foi possível discutir as informações históricas da determinação de pontos de fusão cada vez menores.

¹⁰ O vídeo pode ser acessado no endereço: <https://www.youtube.com/watch?v=jtLklcHVHic>. Acessado em 10 abr 2020.

Figura 11 - Documentário “Zero absoluto: a conquista do frio”.



BBC Zero Absoluto A Conquista do Frio Episódio 1

Fonte: BBC Zero Absoluto A Conquista do Frio (2012)

No Quadro 9 são apresentadas as fases da TSD nas atividades propostas no quinto encontro.

Quadro 9 - Fases da TSD para o quinto encontro.

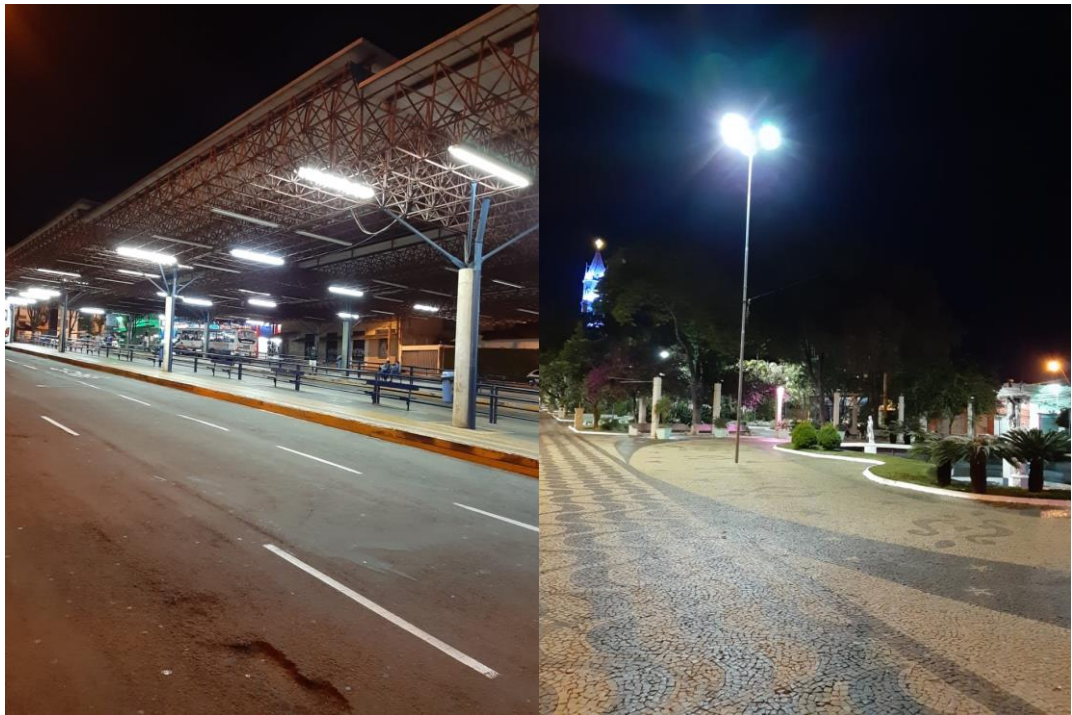
	Papel do professor	Papel do aluno	Milieu	Situação
Devolução	Apresentar o problema da definição de uma escala termométrica	Escutar a proposta	Calculadora e folha de papel milimetrado	Didática
Ação	Observar	Elaborar hipóteses		Adidática
Formulação	Coordenar as discussões	Apresentar as hipóteses e os procedimentos adotados		Adidática
Validação	Escutar e avaliar, se necessário	Comparação entre os gráficos construídos pelos diferentes grupos e associação com os do encontro anterior.	Calculadora e folha de papel milimetrado	Adidática
Institucionalização	Reúne as ideias, resume os pontos principais e articula ao conhecimento formal escolar	Escutar e refletir		Didática

Fonte: o autor (2020).

O sexto encontro abarcou a padronização da intensidade luminosa. Para a execução, a aula foi dividida em duas etapas. A primeira iniciou-se com a leitura e discussão de dois textos sobre poluição luminosa e seus impactos ambientais. Em seguida, na segunda etapa, fase da

devolução, a situação-problema é proposta a partir da seguinte questão geradora: por que utilizamos iluminações diferentes e disposições/altura diferentes em cada ocasião? Essa problemática foi fomentada a partir de imagens reais de iluminação de alguns pontos da cidade de Franca/SP, a praça central e o terminal de ônibus (Figura 12).

Figura 12 - Algumas localidades de Franca/SP.



Fonte: o autor (2019).

Na fase da ação, os alunos e as alunas, em trios, montaram suas estratégias ou esquemas para resolver o problema proposto e, na fase seguinte, a formulação, os grupos construíram suas hipóteses. Já na validação, exploraram experimentalmente os seus argumentos relacionando a intensidade da luz à distância, isso foi executado a partir de testes utilizando um refletor de LED (Diodo emissor de luz, do inglês, *Light-emitting diode*), conforme mostra a Figura 13, e o anteparo (no caso a parede).

Figura 13 - Refletor de LED.



Fonte: o autor (2020).

Por fim, na fase da institucionalização, o professor reuniu as principais ideias e finalizou com a discussão da adequação da intensidade às necessidades de iluminação. Uma síntese das etapas discriminadas, relacionando as ações do professor e dos discentes, assim como o tipo de situação é apresentada no Quadro 10.

Quadro 10 - As fases da TSD na primeira etapa do sexto encontro.

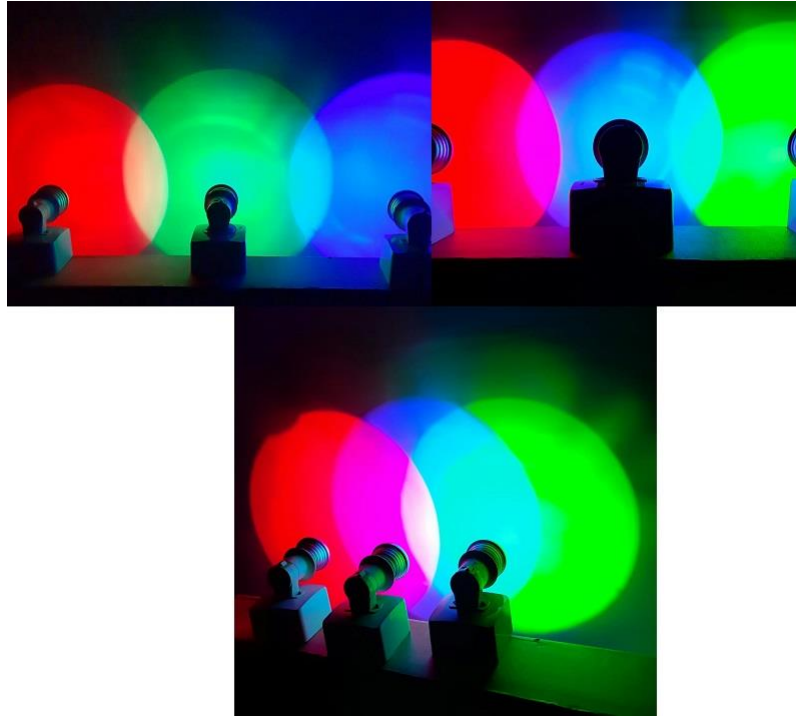
	Papel do professor	Papel do aluno	Milieu	Situação
Devolução	Apresentar o problema e as imagens dos diferentes tipos de iluminação	Escutar a proposta	Computador e projetor de imagens	Didática
Ação	Observar	Elaborar hipóteses		Adidática
Formulação	Coordenar as discussões	Apresentar as hipóteses e os procedimentos adotados		Adidática
Validação	Escutar e avaliar, se necessário	Verificar empiricamente a viabilidade das estratégias	Refletor de LED	Adidática
Institucionalização	Reúne as ideias, resume os pontos principais e articula ao conteúdo formal	Escutar e refletir		Didática

Fonte: o autor (2020).

Na segunda etapa, fase da devolução, em uma sala escura foram projetados num anteparo três focos de luz, um vermelho, um verde e um azul. Em seguida, os alunos foram

interpelados quanto ao que aconteceria se fossem sobrepostas duas ou três cores. Abaixo, a Figura 15 mostra uma foto da realização do experimento.

Figura 14 - Experimento com feixes monocromáticos.



Fonte: o autor (2020).

Na fase da ação e formulação, os estudantes esboçaram e apresentaram suas hipóteses sobre o que iria ocorrer em cada sobreposição, respectivamente. Utilizando o conjunto de três lâmpadas dicróicas de LED (Figura 14).

Figura 15 - Lâmpada de LED.



Fonte: o do autor (2020).

Assim, com a realização das sobreposições, as hipóteses foram testadas correspondendo à fase de validação. O professor analisou as especificações da embalagem das lâmpadas, na fase da institucionalização, destacando que o olho não é um bom detector para intensidade luminosa, pois essa detecção é dependente da cor da radiação. No final foi feita uma leitura sobre a unidade candela e encerrando o último encontro com uma reflexão quanto ao que poderia ser feito para amenizar os efeitos da poluição luminosa. Essa etapa foi sintetizada no quadro 11.

Quadro 11 - Fases da TSD na segunda etapa do sexto encontro.

	Papel do professor	Papel do aluno	Milieu	Situação
Devolução	Apresentar o problema e os três feixes de luz projetados em um anteparo	Escutar a proposta	Lâmpadas RGB de LED	Didática
Ação	Observar	Elaborar hipóteses		Adidática
Formulação	Coordenar as discussões	Apresentar as hipóteses e os procedimentos adotados		Adidática
Validação	Escutar e avaliar, se necessário	Verificar empírica direta	Lâmpadas RGB de LED	Adidática
Institucionalização	Reúne as ideias, resume os pontos principais das estratégias apresentadas	Escutar e refletir		Didática

Fonte: o autor (2020).

Esta atividade foi complementada no roteiro do produto educacional (APÊNDICE C) com a adição de uma atividade sobre comparação de lâmpadas fluorescentes com lâmpadas de LED, nos quesitos fluxo luminoso, eficiência luminosa e potência. A atividade também aborda um defrontamento quanto à economia de energia, para investigar qual tipo de lâmpada é mais vantajosa neste quesito.

Na sequência, no próximo capítulo, serão apresentados os resultados evidenciados na aplicação da sequência didática.

RESULTADOS

Por meio das situações didáticas e adidáticas foi possível perceber a adesão, o comprometimento e o empenho dos discentes diante dos problemas apresentados, em um processo de ensino e aprendizagem dinâmico, o qual considera o conhecimento prévio e a proposição de soluções criativas pelos alunos e alunas nesse processo.

No primeiro encontro, foi proposta a problematização em relação ao montante de plástico nos oceanos. Isso foi implementado pela leitura de textos sobre o tema (páginas 23 e 24 do Apêndice C). Durante as discussões, os alunos comentaram sobre o uso de artigos e recipientes plásticos, como a sacola plástica e o canudo; artefatos julgados por eles como desnecessários. Além disso, mencionaram que, alhures, o uso de canudos plásticos é proibido, inclusive, o não cumprimento é passível de multa. Nesse contexto, a questão do canudo de plástico foi alvo de uma discussão mais ampla, com levantamento sobre algumas soluções, como o uso de canudos que sofrem uma degradação rápida na natureza ou biodegradáveis, inclusive apontaram a não utilização desse objeto. Neste momento, uma aluna propôs: caso a pessoa tiver a necessidade do uso de um canudo, então ela poderá dispor de um canudo reutilizável. Ademais, os alunos e alunas citaram que as sacolas plásticas de supermercado foram proibidas, porém, por um curto intervalo de período de tempo, logo voltaram a ser utilizadas, tanto por estabelecimentos comerciais quanto pela população. Durante essa discussão, uma aluna comentou que algumas pessoas já tinham se adaptado às sacolas de tecido ou materiais mais resistentes, logo, não havia a necessidade de voltar à utilização das sacolas descartáveis.

Além disso, argumentaram sobre os dados de uma pesquisa presente em um dos textos (página 23 do Apêndice C), cujos dados mostravam que 80% do plástico que chega aos oceanos é proveniente de atividades terrestres, ou seja, a maior parte desse resíduo não é descartado localmente no litoral. Esse fato causou surpresa a muitos alunos, pois pressupunham que o plástico no oceano era proveniente exclusivamente das cidades litorâneas, e, sendo assim, eles, que se situam a cerca de 500 km do oceano, não colaborariam com o problema, o que não é verdade.

Ampliando um pouco mais essa temática, a leitura do Texto 2, na página 24 do Apêndice C, que discorria sobre a ingestão de plástico pelos animais marinhos, uma aluna salientou que estes, além de consumirem os objetos de plástico, podiam ter os resíduos de descarte incorporando aos seus corpos, como no caso do canudo engastalhado nas narinas de uma tartaruga, uma imagem que se tornou clássica na internet.

Já na atividade de medida de massa de uma unidade de folha de papel - quando perguntado sobre as diferenças e semelhanças das pilhas de papéis que estavam sobre a mesa do professor - os discentes responderam que tinham como semelhanças a cor, o estado físico, o material e o tamanho. Já sobre as diferenças, um grupo respondeu espessuras diferentes, outro grupo aventou volumes ligeiramente diferentes e os outros grupos ainda interpelaram alegando que apresentavam quantidades diferentes. Nesse momento, o professor não interpelou as respostas dos discentes.

Contudo, na atividade seguinte, cada grupo recebeu algumas unidades de folhas de cada tipo, sendo possível, então, verificar a veracidade das afirmações pressupostas. Para que a análise pudesse receber maior aval, cada grupo recebeu, também, uma balança. Munidos desses materiais, os discentes foram instigados por meio da seguinte interpelação: será possível medir a massa de uma unidade de folha de papel? Dos sete grupos, apenas um notou desde o início que, para obter uma medida confiável, era necessário medir a massa de várias folhas, sendo que a medida da massa de uma folha era feita dividindo o valor total obtido na balança pelo número de folhas. Outro grupo identificou que, para as folhas mais finas, era necessário colocar mais de uma unidade para conseguir realizar a medida, caso contrário, a balança oscilava. Sendo assim, alguns grupos perceberam que colocar uma folha de papel em cima da balança não era o suficiente para medir a sua massa, sendo necessário, portanto, colocar mais de uma unidade de folha para a balança conseguir medir com precisão.

A última parte desta atividade referia-se a um comparativo dos valores obtidos por cada grupo. Para tanto, o professor montou uma tabela na lousa com os resultados de cada grupo. O que pode ser verificado na fotografia da lousa, Figura 16.

Figura 16 - Imagem da lousa sintetizando os resultados dos grupos.



Grupo	folha 1	folha 2	folha 3
1	10	6	3
2	10	6	2
3	10	7	3
4	10	7	4
5	11	7	4
6	12	9	5
7	10	7	2

A partir dos dados expostos, os alunos chegaram à conclusão de que as medidas não foram idênticas, mesmo sendo folhas iguais. Tal observação gerou justificativas quanto ao método utilizado por cada grupo e, também, a precisão das balanças. Inclusive, a resposta de um dos grupos para esse entrave foi: *Não. Porque cada balança mostra sua massa e cada grupo fez de uma forma diferente. A balança não é precisa.*

No segundo encontro, cada grupo deveria propor um procedimento para a obtenção da massa de plástico contida em uma unidade de absorvente e, em seguida, testar o método proposto para aferir sua pertinência. Com a vivência do encontro anterior, os alunos e as alunas, em sua maioria, notaram que se medissem a massa de apenas uma unidade não obteriam um valor preciso, ou seja, a balança não conseguia fazer a leitura de apenas uma unidade. Contudo, em um dos grupos, quando indagados sobre qual a massa de uma unidade da embalagem de plástico que envolve o absorvente higiênico, um aluno respondeu que a massa era zero, pois foi o que a balança acusou quando ele colocou uma unidade para fazer a medida. Na fase da formulação, com o intermédio do professor, os discentes perceberam que era necessário colocar várias unidades de embalagens, conforme ilustrado no diálogo extraído da gravação da aula:

Professor: - Qual a massa de uma unidade?

Discente: - A massa de uma unidade é zero, não deu sinal na balança.

Professor: - E a massa das sete unidades?

Discente: - A massa das sete unidades deu sete gramas.

Professor: - Se a massa das sete unidades deu sete gramas, é possível descobrir a massa de uma unidade?

Discente: - Sim, podemos dividir as sete gramas por sete e dá uma grama cada unidade da embalagem.

Nesse trecho, é possível identificar que o raciocínio lógico confronta a medição direta, mesmo que o aluno verbalize o resultado visualizado na balança.

A descrição de outro grupo foi semelhante, *Pegamos um pacote de absorvente com 8 unidades. Retiramos do saquinho cada um; pesamos os 8 saquinhos de plástico que deu 4 g, então dividimos pela quantidade que colocamos na balança, ou seja, $4:8 = 0,5$ g cada saquinho. O saquinho que comporta os 8 absorventes, pra uma massa mais precisa, pegamos o nosso e outros 2 de nossos colegas dos outros grupos e colocamos na balança, fizemos o mesmo procedimento, 3 unidades deu resultado de 7 g e dividimos por 3 e deu 2,3 g cada um.*

Entretanto, vale salientar que alguns grupos tiveram dificuldade ao executar a fase da ação, no que diz respeito a pensar em uma maneira prática de medir a massa total de plástico de uma embalagem de absorvente higiênico, sendo que, a maior dificuldade era juntar as partes já medidas em um todo, sem realizar empiricamente. Neste caso, o professor precisou intervir,

na fase da formulação, instigando-os com perguntas até conseguirem um método eficiente e chegarem nos resultados destacados na Tabela 02.

Tabela 02 - Valores das massas das embalagens plásticas encontrado pelos grupos.

Grupo	Massa de uma unidade da embalagem interna	Massa de oito unidades da embalagem interna	Massa da embalagem externa
1	1,000	8,0	4,0
2	0,500	4,0	2,0
3	0,375	5,0	6,0
4	0,625	7,0	8/3
5	0,700	6,0	4,0
6	0,750	6,0	2,0
7	0,500	4,0	2,3

Fonte: o autor (2019)

No terceiro encontro, após assistir a um trecho do terceiro episódio da terceira temporada da série *The Big Bang Theory* (quarto episódio da primeira temporada), em que o personagem Sheldon questiona a personagem Penny porque ela não tem um estoque de absorvente higiênico já que ela menstrua todo mês, cada grupo deveria fazer uma estimativa da quantidade de absorvente higiênico utilizado por uma mulher (sexo biológico) durante sua vida fértil (período que dura aproximadamente 30 anos).

Nesta atividade, foi necessária a intervenção do professor, principalmente auxiliando na formulação da hipótese relativa à estimativa da quantidade de absorvente utilizada em cada mês, por cada mulher (sexo biológico). Não existe um valor pré-definido para essa quantidade, pois depende do fluxo do espécime em questão, por isso essa decisão precisa ser negociada com a sala toda ou será necessário um tempo adicional para justificar as discrepâncias nos resultados.

Na sequência, os grupos deveriam fazer uma estimativa da quantidade de plástico que uma mulher descarta durante um período fértil, durante um ano e durante a vida fértil (aproximadamente 30 anos, desconsiderando uma eventual gravidez). Os cálculos realizados da massa de plástico em um pacote de absorvente higiênico serviriam para subsidiar a resolução dos problemas propostos. Todavia, alunos e alunas tiveram dificuldade em relacionar os dados, da massa de plástico, calculada no encontro anterior, com esta atividade.

Ainda, com auxílio de uma tabela com os dados da população do sexo feminino no município de Franca/SP, por grupo de idade, do último censo do IBGE em 2010, os grupos deveriam fazer uma estimativa sobre a quantidade de plástico de absorvente descartada pela população de mulheres (sexo biológico), em idade fértil, residentes no município de Franca, no período de um ano. O professor explicou sobre a curva gaussiana e em conjunto, docente e discentes, concluíram que poderiam utilizar nos cálculos os dados referentes às faixas etárias

de 10 a 49 anos disponíveis na tabela. Para a obtenção da quantidade de plástico de absorvente descartado, quatro dos sete grupos não notaram imediatamente que já dispunham da quantidade de plástico descartado durante um ano (a primeira questão da segunda atividade), porém, isso não interferiu nos resultados.

Os grupos ficaram surpresos com as quantidades encontradas (aproximadamente 12 toneladas por ano), registros exemplificados na Figura 17.

Figura 17 - Cálculo da estimativa da quantidade de plástico.

12.943	102.919	
13.401	$\times 115,2$	$\approx 11,9 \text{ t} \cdot (1 \text{ ano})$
14.226	205838	
13.701	51.4595+	
25.245	10.2919++	
+ 23.403	10.2919+++	
102.919 mulheres	$11.856.268,8 \div 1000 = 11856,2688 \text{ Kg}$	(em 1 ano)

102.919 mulheres	
9,6 1 pacote	
39 ano período Fertil	
1 por mês, 39 meses	
11.856,268,8 Kg	
mil	
11.856 Ton	- 358 ton 30 anos

102.919	
$\times 115,2$	
11.856.268,8 g	$\div 1000 = 11856,2688 \text{ kg}$
$\approx 11,9 \text{ t} (1 \text{ ano})$	
358 t (30 anos)	

Fonte: o autor (2019).

Um grupo, entusiasmado, fez uma estimativa da quantidade de plástico de absorvente descartada pela população do Brasil e pela população mundial. Nessa conjuntura, destacou-se a riqueza do conceito unificador escalas, proposto por Angotti (1991), que diz respeito à construção da noção de quantidade, constatada pela capacidade de estimar com relativa precisão. Ainda, de acordo com Auth (2002, p. 98):

Sob a ótica do conceito de escalas, defende-se que as relações quantitativas, para além dos cálculos matemáticos, estejam associadas também à questão, mesmo não mensurável dos valores e atitudes. Neste caso, ao nível de consciência dos sujeitos, o que representa o funcionamento, por exemplo, de milhares de máquinas térmicas (motores a combustão) para o ambiente em que vivem.

Logo, quando os grupos chegaram à estimativa final, notaram que a massa de uma unidade de plástico da embalagem de absorvente, era um valor pequeno. Contudo, considerando toda a quantidade de plástico descartada pelo município, o valor era consideravelmente alto, o que, com certeza, prejudica o meio ambiente.

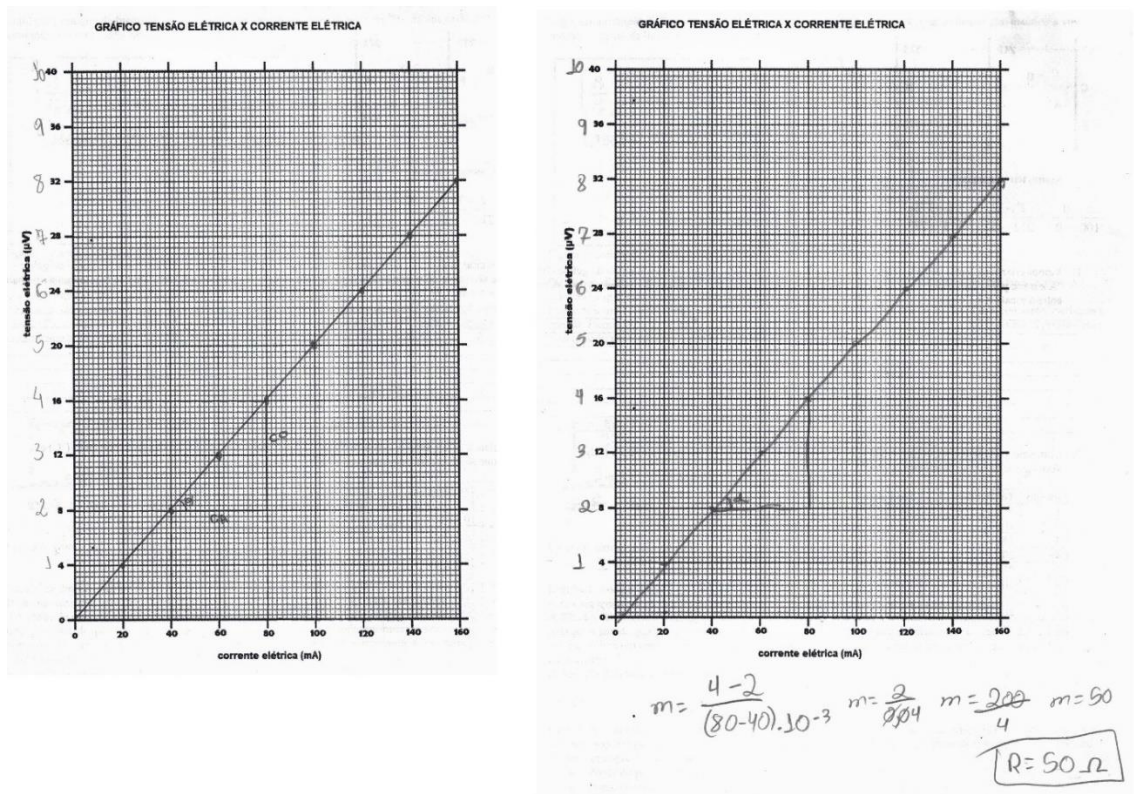
Por fim, na última parte do segundo encontro, relacionando com o problema apresentado no primeiro, no qual, parte dos plásticos descartados pela população, de alguma forma, chegam aos oceanos e prejudicam o habitat marinho, os estudantes foram questionados sobre o que pode ser feito para reduzir a quantidade de plástico, proveniente de absorventes higiênicos descartados. Os grupos apresentaram diversas soluções, dentre elas, a criação de materiais biodegradáveis, a criação de lixos próprios (descarte e coleta seletivos), a incineração do plástico e, também, o uso do coletor menstrual.

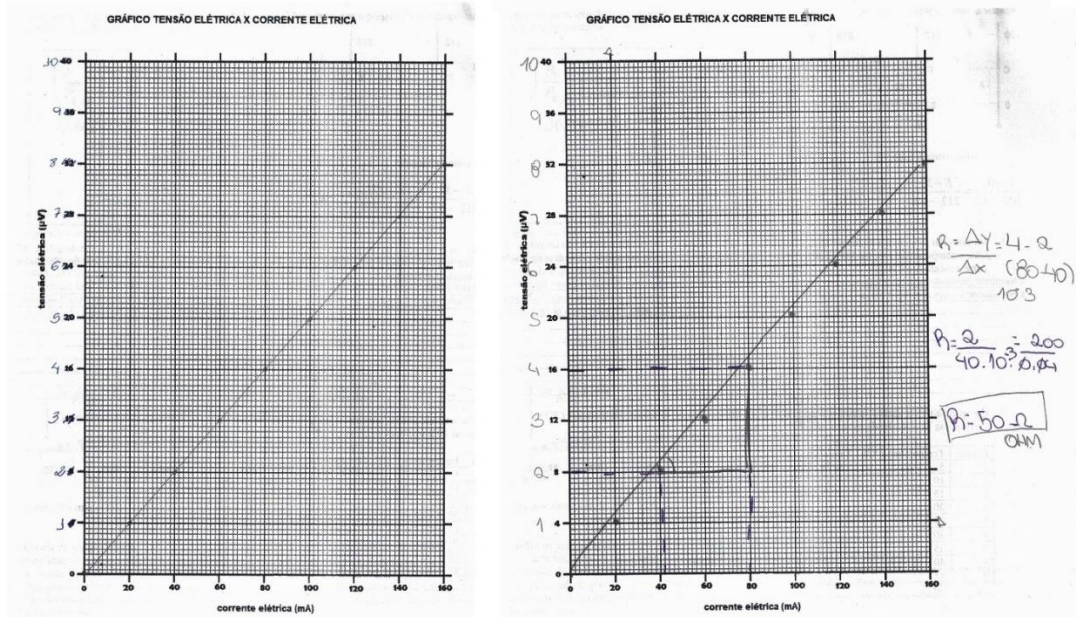
Já no quarto encontro, a aula iniciou-se com a questão: *podemos medir qualquer quantidade de massa com a mesma balança?* As respostas foram unânimes no sentido de que não é possível, sendo evidenciada na resposta de um aluno, *não conseguimos medir qualquer massa com uma balança! Quando fomos medir a massa de plástico de um absorvente, a balança não dava nada, então, não é possível.* A adesão evidenciada pelo grupo já era fruto das estratégias de questionamento. Porém, quando o professor questionou se seria possível medir uma grande quantidade de massa com a balança, um grupo não soube responder, já os demais responderam que também não é possível medir uma grande quantidade de massa, alegando que na embalagem tinha uma faixa de massa que era possível medir com ela. Na sequência, o professor apresentou, em slides, diferentes tipos de balança, as quais medem diferentes quantidades de massa, sendo, balanças de caminhões e vagões de trem, de toneladas, de pessoas, de supermercado e feira, de cozinha, de precisão de laboratório e balança de Ampère (ou balança de corrente). Após essa apresentação, o professor perguntou: *como a balança, que nós usamos no nosso experimento, mede a massa?* Ante ao silêncio geral previsto, o professor desmontou a balança e mostrou o sensor. Em seguida, apresentou com apoio de slides, o sensor *strain gage* e explicou o seu funcionamento, baseado em uma ponte de Wheatstone, e, também mostrou os tipos de gráficos com as suas características. Durante a explanação, um aluno indagou se o cálculo do coeficiente angular, em um gráfico linear, era similar ao que eles

estavam estudando em matemática, em geometria analítica. O mesmo aluno questionou se em um gráfico linear as grandezas sempre são diretamente proporcionais. O professor respondeu afirmativamente, logo exemplificou com uma tabela e um gráfico.

Na sequência, o professor perguntou: - Como era feita a calibração de uma balança? Para responder à questão, o professor solicitou aos grupos que, com os valores contidos em uma tabela, construissem um gráfico de tensão elétrica versus corrente elétrica, em um papel milimetrado. Conjuntamente com a sala toda, o cálculo do valor da resistência elétrica, através do coeficiente angular da reta, foi implementado. Em seguida, o professor explicou que para fazer a calibração de uma balança é necessário que a relação entre a tensão elétrica aplicada e a força que se submete a célula de carga seja linear. Os gráficos da Figura 18 são registros da implementação dos cálculos por quatro grupos de estudantes.

Figura 18 - Gráficos de tensão elétrica vs. corrente elétrica em papel milimetrado.



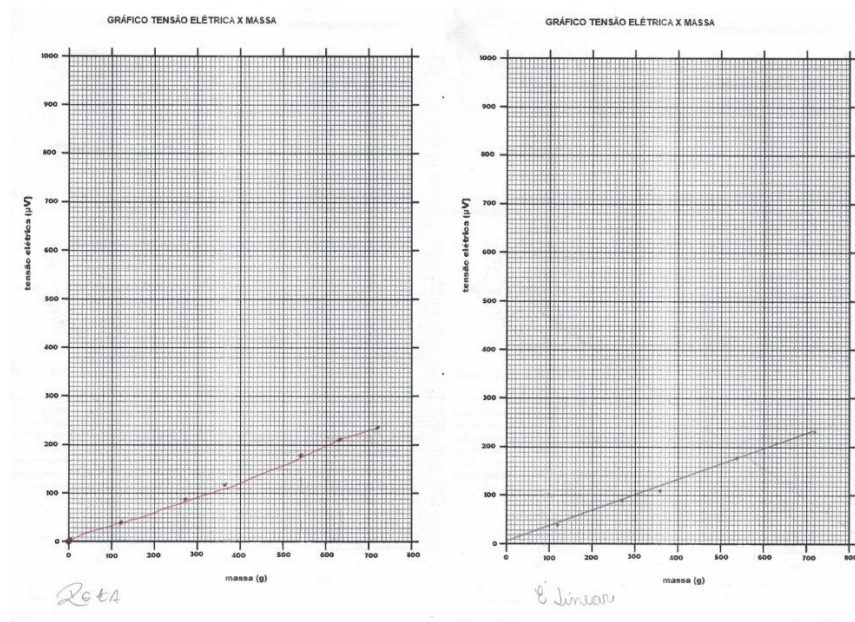


Fonte: o autor (2019)

Nessa etapa, a maior dificuldade encontrada pelos grupos foi estabelecer uma escala adequada para a construção do gráfico, e, assim, o professor precisou auxiliá-los.

Logo, a etapa seguinte foi, com os dados de uma tabela, construir, em uma papel milimetrado, um gráfico de tensão elétrica versus massa e verificar sua linearidade, conforme a Figura 19. Nesta atividade os alunos tiveram mais facilidade em executar, uma vez que na atividade anterior já tinham construído um gráfico no papel milimetrado.

Figura 19 - Gráficos de tensão elétrica vs. massa em papel milimetrado.

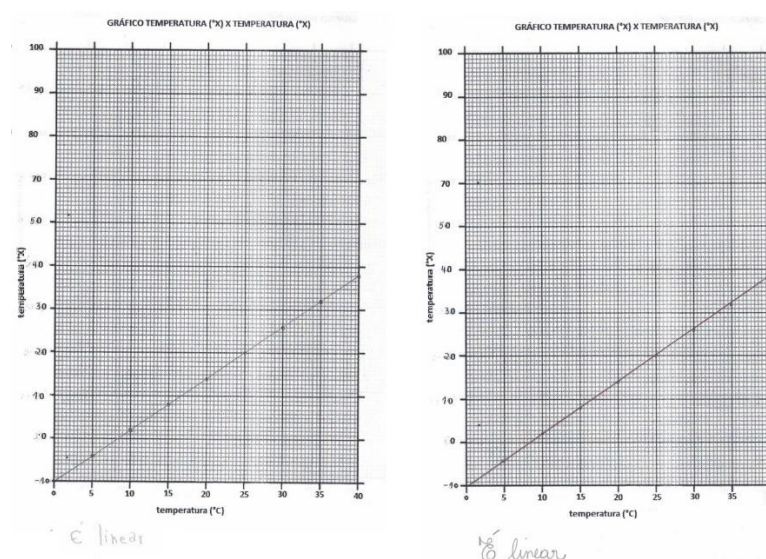


Fonte: o autor (2019)

O encontro seguinte, o quinto, foi iniciado pela leitura e discussão de um texto sobre temperatura, termômetro e escalas de temperatura, contido na página 43 do apêndice C. O professor levou um termômetro para mostrar e explicar o seu funcionamento. Nesse momento, um aluno perguntou se o termômetro funcionava com a dilatação do álcool. Então, o professor respondeu que sim, explicitando que a medida de temperatura é uma medida indireta, por comparação, ou seja, as indicações de temperatura são indicadas pela dilatação ou contração de um líquido que está em uma coluna, o capilar. Após essa introdução, foi lançada a questão geradora aos grupos: como é definida uma escala de temperatura? O texto já dava uma ideia sobre calibração de escalas de temperatura, pois falava da escolha de uma substância termométrica, que varia regularmente com a temperatura, logo, há uma dependência linear e o fator de conversão pode ser feito por meio do teorema de Tales. Neste caso, a matemática fez parte do processo de construção do conhecimento que - associada a fenômenos físicos e fatos históricos, por intermédio de símbolos, equações e gráficos - auxiliou na transcrição de sínteses verdadeiras (PIETROCOLA, 2002).

Na sequência, o professor pediu para os alunos e as alunas explorarem uma escala arbitrária, na qual tinham estabelecidos os pontos do vapor e do gelo e, também, determinar uma equação de conversão entre essa escala e a Celsius. Para tanto, eles tinham disponível, lápis, papel, calculadora e papel milimetrado. Nesse momento, alguns grupos encontraram dificuldade em chegar à equação de conversão, o professor precisou auxiliar na execução. Contudo, para construir o gráfico das duas escalas e verificar a linearidade, não houve adversidade.

Figura 20 - Gráficos de temperatura vs. temperatura em papel milimetrado.



Fonte: o autor (2019)

Para finalizar o encontro, foi exibido o documentário *Zero absoluto – a conquista do frio*, o qual expõe a importância do domínio da tecnologia dos processos de resfriamento para a sociedade, que transformou a forma de viver e trabalhar, através do uso, principalmente, de refrigeradores e condicionadores de ar. Essa conquista decorreu de uma disputa entre grandes grupos científicos.

O sexto encontro, abordando a padronização da intensidade luminosa, foi dividido em duas etapas. Na primeira etapa, quando foi apresentado aos alunos três imagens de iluminação de dois pontos da cidade de Franca, sendo eles: terminal de ônibus e praça central, com disposições/altura diferentes em cada caso. Diante dessas imagens, o docente perguntou sobre as diferenças entre as iluminações e todos os grupos responderam frases como *umas são mais fortes que as outras, as lâmpadas não são iguais e a cor e a quantidade de lâmpadas mudam*.

Na segunda e na terceira questão, quando perguntado o que aconteceria se houvesse afastamento ou a aproximação de um refletor de LED da parede, todos os grupos responderam no sentido que se afastarem o foco aumenta e a intensidade diminui, assim como, se houver a aproximação o foco diminui e a intensidade aumenta.

Na segunda etapa, foi projetado num anteparo de três feixes de luz, um vermelho, um verde e um azul, do mesmo tipo de lâmpada, com a mesma potência e na mesma distância da parede, e perguntado aos grupos qual cor teria maior intensidade. Todos os grupos responderam que era o feixe de luz vermelho. Neste momento, o professor explicou que o olho humano não é um bom detector de intensidade e mostrou que as especificações das lâmpadas eram iguais, portanto, tinham a mesma intensidade.

Na segunda questão, foi questionado sobre o que aconteceria se houvesse a sobreposição de dois ou três feixes de diferentes cores. Apenas um grupo acreditava que não ocorreria nada, os outros responderam que uma cor iria “misturar” à outra. Posteriormente, foram feitos testes de sobreposição de cores, na fase de validação. Os estudantes não indicaram os nomes das cores (magenta e ciano), provavelmente por desconhecer essas denominações. No momento da institucionalização, o docente destacou que essa composição cromática é diferente da de pigmento e que ela ocorre nas telas dos eletrônicos, como televisores, celulares, tablets e computadores.

Por fim, na finalização do último encontro, foi feita uma reflexão quanto às possíveis soluções para amenizar o problema da poluição luminosa, as respostas foram no sentido de repensar os hábitos, iluminando apenas o essencial, no tempo necessário.

Em relação aos critérios para avaliar as evidências (Quadro 4), foi possível identificar o critério de “relevância” nas atividades propostas já no primeiro encontro, quando um aluno

sugeriu que para obter uma medida confiável da massa de uma folha de papel era necessário colocar várias folhas de papel na balança e depois dividir o valor pelo número de folhas. No segundo encontro, observou-se o critério “suficiência”, quando alguns grupos perceberam que poderiam utilizar a mesma técnica da medida de massa de uma folha de papel para medir o plástico de uma embalagem de absorvente higiênico. No terceiro encontro, as evidências do primeiro critério foram percebidas na construção da noção de escala, destacando como os conceitos unificadores articulam-se para ampliar a compreensão do problema e, no quarto encontro, na dialogação fraterna como práxis, ao explicitar o funcionamento da balança. Já no quinto encontro foi possível perceber a “suficiência” nas representações gráficas. Para constatar a “veracidade” foram analisados materiais escritos pelos discentes, coletadas a cada encontro, assim como, análises dos vídeos das gravações das aulas, com o objetivo de garantir que as evidências tenham sido livres de distorções. Ademais, é importante ressaltar novamente a importância dos conceitos unificadores, principalmente o escala, que guiou a construção do conhecimento norteado pela realização de estimativas. Os números obtidos evidenciaram de forma mais contundente o problema da poluição dos oceanos por plástico, explicitando a urgência de soluções. Neste âmbito, como resultado, os grupos propuseram soluções pertinentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento da produção e da utilização dos plásticos nas últimas décadas impulsiona a distribuição de bens e insumos, ao mesmo passo que seu descarte inadequado tem causado grandes problemas ambientais. Por isso, a preocupação com essas questões vem aumentando significativamente, revelando mais sistematicamente problemas dessa natureza e, apesar disso, é difícil a implementação e adesão a medidas de enfrentamento (WATANABE-CARAMELO e STRIEDER, 2011).

De acordo com Vasconcelos (2019), o Brasil foi o quarto maior produtor de lixo plástico do mundo no ano de 2016, com 11,3 milhões de toneladas. Destes, 10,3 milhões de toneladas ou 91% do total, foi coletado pelo serviço de limpeza urbana e, apenas 1,28 % (cerca de 145 mil toneladas) foi encaminhado para a reciclagem. Esse é um dos menores índices do mundo e bem abaixo da média global, de 9 %.

Nesta conjuntura, ações voltadas à preservação e ao uso sustentável dos recursos naturais podem ser facilitadas se articuladas a uma educação voltada à formação de cidadãos capazes de se posicionarem diante de uma sociedade de riscos e incertezas (WATANABE-CARAMELO e STRIEDER, 2011). Semelhantes atitudes, enfatizadas por Jacobi (2005) podem ser proporcionadas pela educação ambiental, a qual deve promover uma atitude crítica, uma compreensão complexa e a politização da problemática ambiental.

Na escola básica brasileira, conteúdos ambientais estão tradicionalmente associados aos estudos de ecologia no cerne da disciplina Biologia. O processo comunicativo da divulgação científica tem tornado essas informações acessíveis em diferentes mídias. No entanto, ter acesso à informação não significa ter consciência crítica desta ou ser sensibilizado pela mesma, pois em si ela não contempla a dimensão do social humano, ou seja, de que os indivíduos estão inseridos em comunidades locais e na sociedade globalizada, diariamente confrontados com o desafio ético de lidar com o outro. Contudo, se a humanidade quiser mudar os rumos do planeta, necessita-se de cidadãos mais críticos, conscientes e aptos a resolver problemas e essa demanda é da escola como um todo, não da iniciativa de uma ou duas disciplinas específicas.

Todavia, uma educação ambiental bem estruturada “exige método, noção de escala, boa percepção das relações entre tempo e espaço, entendimento da conjuntura social, conhecimento sobre diferentes realidades regionais e, sobretudo, códigos de linguagem adaptados às faixas etárias dos alunos” (COMPIANI, 2001, p. 44).

Com a sequência didática foi possível atingir os objetivos estabelecidos, trabalhar as unidades de base do SI, partindo de situações-problema, fundamentado na TSD proposta por

Brousseau, fazendo uma interface com a educação ambiental, por meio do tema poluição. Assim, foi possível trabalhar os conceitos necessários para a compreensão das unidades de base do SI, contextualizados na contabilização da massa de plástico descartado numa situação específica e como se dá o aumento dessa se for considerado o tempo ou a população. Com essas discussões, pretendeu-se conscientizar os estudantes quanto ao descarte adequado de resíduos de plástico. Da mesma forma, no estudo da candela, a poluição luminosa foi alvo de reflexão e busca de soluções para esse revés, inclusive, quando ao estudar essa temática vários discentes expressaram não imaginar sequer que existisse esse tipo de problema, muito menos que o mesmo prejudica animais.

Os encontros relatados contemplaram o estudo dirigido de textos, abordando a utilização excessiva e sem planejamento de plástico, e como o descarte inapropriado desse material contamina os oceanos. Desse modo, a sequência proposta primou pela negociação de significados e de decisões, bem como as situações-problema objetivavam mobilizar as habilidades cognitivas necessárias a fazer estimativas, quantificar, generalizar procedimentos.

Essa proposta manteve um diálogo permanente com apontamentos da literatura específica, segundo os quais o conhecimento escolar deve estar vinculado com aspectos mais amplos, no qual compreender o mundo só é possível, se houver a transição de uma forma simples a outra mais complexa do conhecimento, a complexificação do conhecimento, que se refere a aspectos sociais e científicos.

Em relação às dificuldades encontradas na execução da sequência didática, vale destacar a importância de deixar os alunos chegarem às respostas sem a ingerência do docente. Contudo, os alunos estavam condicionados a seguirem uma comanda do professor, fator que funcionou como um entrave, sendo essa conduta avessa à prática proposta. Para saná-la, em alguns momentos, se fizeram necessárias as interferências, principalmente no início da sequência didática. Essas intervenções, na medida do possível, sempre ocorreram no sentido de recolocar as tarefas em outras palavras, exigindo uma vigilância permanente para resistir à tentação de dar as respostas.

Como sugestão de melhoria ou aperfeiçoamento da sequência didática, seria interessante inserir no primeiro encontro, o documentário *Oceanos de plástico* (2016), desenvolvido pela organização britânica Plastic Ocean Foundation, o qual mostra o impacto da presença de plástico nos oceanos e os danos causados à fauna e à flora, isso em meio ao objetivo de sugerir soluções para esse problema no mundo. Além disso, o documentário mostra a neblina de plástico, um tipo de poluição de difícil tratamento, formada por microplásticos, produto da quebra do material plástico flutuante nos oceanos, em decorrência da ação das ondas, do sal e

dos raios ultravioleta. Com esse documentário é possível aprofundar a problematização e, possivelmente, aumentar a participação dos alunos.

Reinventar a prática docente, estabelecendo conexões com elementos culturais, sociais e contextuais permitem espaços “entre” no ensino que inventam e disputam outras maneiras singulares de funcionar, permitindo, assim, desmistificar o “outro”, concorrendo para transcender a perspectiva individual rumo à coletiva.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, E. B. C.; FERREIRA, A. T. B. Programa Nacional do Livro didático (PNLD): mudanças nos livros de alfabetização e os usos desse recurso em sala de aula. **Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em educação**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 103, p. 250-270, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0104-40362019002701617>

ALMOULOUD, S. A. **Fundamentos da didática da matemática**. Curitiba: UFPR, 2014.

ALVES, L. S.; GRANJEIRO, J. M. Development of digital Open Educational Resource for metrology education. **Journal of Physics: Conference Series**, v. 1044, p. 1-6, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1044/1/012022>

ANDRADE, B. L.; ZYLBERSZTAJN, A.; FERRARI, N. As analogias e metáforas no ensino de ciências à luz da epistemologia de Gaston Bachelard. **Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 2, n. 2, p. 182-192, jul-dez, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21172000020207>

ANDRÉ, M. O que é um estudo de caso qualitativo em Educação? **Educação e Contemporaneidade**, Salvador, v. 22, n. 40, p. 95-103, jul./dez. 2013.

ANDRES, A. L. S. et al. **A origem e a importância das medidas no ensino de Física para o Ensino Médio: uma abordagem Pibidiana**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA, 3., 2012, Ponta Grossa.

ANGOTTI, J. A.P. **Fragmentos e totalidades no conhecimento científico e ensino de ciências**. 1991. Tese (Doutorado) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 1991. Doi: 10.11606/T.48.1991.tde-20052015-095531. Acesso em: 12 out. 2020.

ANGOTTI, J. A. P. Conceitos Unificadores e o Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**.v. 15, n.4. SP 1993.

ASTOLFI, J. P. **Quelques Logiques de Construction D'une Séquence D'apprentissage En Sciences: L'exemple de la géologie à l'école élémentaire**. ASTER, n. 13, pp. 157-186, 1991.

AUTH, M. A. **A formação de professores de ciências naturais na perspectiva temática e unificadora**. 2002. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

AZEVEDO, M. C. P S de. **Situações de ensino – aprendizagem**. Análise de uma sequência didática de física a partir da Teoria das Situações de Brousseau. 2008. 284 f. Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. São Paulo: Contraponto, 1996.

BBC Zero absoluto A conquista do frio Ep01. Douglas Barreto. Youtube. 14 ago. 2012. 59 min 02 s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=jtLklcHVHic>. Acesso em: 10 abr. 2020.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias. Brasília, 1998.

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

BRASIL. Ministério da Educação. **Temas Contemporâneos e Transversais na BNCC: contexto histórico e pressupostos pedagógicos**. (no prelo). 2019.

BRITO, F. M. Uma forma prática de trabalhar as unidades de medidas no cotidiano dos alunos do ensino médio. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL EDUCAÇÃO, CIDADANIA E EXCLUSÃO, IV, 2015, Rio de Janeiro.

BROUSSEAU, G. **Glossaire de quelques concept de la theorie dès situations didactiques enmathématiques**, 2010. Disponível em: < http://guy-brousseau.com/wp-content/uploads/2010/09/Glossaire_V5.pdf>. Acesso em: 22 junho de 2019.

BROUSSEAU, G. **La theorie des situações didactiques**, 1997. Disponível em: < <http://www.cfem.asso.fr/actualites/archives/Brousseau.pdf>>. Acesso em: 22 junho 2019.

BROUSSEAU, G. **Theory of didactical situations in mathematics**. New York: Kluwer academic publishers, 2002.

BROUSSEAU, G. **Introdução ao Estudo das Situações Didáticas: Conteúdos e Métodos de Ensino**. São Paulo: Ática, 2008.

BRUM, V. P.; SILVA, S. C. R. Obstáculos no Ensino de Matemática: O posicionamento de professores de Matemática sobre a fonte de obstáculos durante a apresentação do tema probabilidade. **Itinerarius Reflectionis**, v. 11, n. 1, p. 1-23, 2015. DOI: DOI: 10.5216/rir.v11i1.33356

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES (BIPM). The International Prototype. Disponível em: <https://www.bipm.org/en/bipm/mass/image-ipk.html>. Acesso em: 19 jun. 2020.

CARVALHO, A. M.P.; SASSERON, L. H. Ensino e aprendizagem de Física no Ensino Médio e a formação de professores. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p. 43-55, 12 dez. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0004>

COMPIANI, M. **Panorama da Educação Ambiental no Ensino Fundamental**. Secretaria de Educação Fundamental – Brasília: MEC ; SEF, 2001.

CORRÊA, P. C. Sistema Métrico Decimal no Pará. Amazônia: **Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v. 11, p. 105 – 113, jan-jun, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v11i22.2439>

COSTA-FÉLIX, R. P B., BERNARDES (org.). A. **Metrologia: volume 1: fundamentos**. Rio de Janeiro: Brasport, 2017.

DAMACENO, L. P. A nova definição do quilograma em termos da constante de Planck. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 3, 2019. DOI: : <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0284>

DAVIS, R. Uma história curta. *Nature Phys* 14, 868 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41567-018-0243-4>

DINCER, E. O.; OSMANOGLU, A. Dealing with Metric Unit Conversion: An Examination of Prospective Science Teachers' Knowledge of and Difficulties with Conversion. **Science Education International**, v. 29, n. 3, p. 174 – 182, 2018.

ELLIOTT, J. Tornando educativa a prática baseada em evidências. In: THOMAS, G.; PRING, R. (Org.). **Educação Baseada em Evidências: a utilização dos achados científicos para a qualificação da prática pedagógica**. Tradução de Roberto Cataldo Costa. Porto Alegre: Artmed, 2007.

GASPAR, A. **Física**. São Paulo: Ática, 2005.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**, 1: ensino médio. 3ª ed. São Paulo: Ática, 2016a.

GASPAR, A. **Compreendendo a Física**, 3: ensino médio. 3ª ed. São Paulo: Ática, 2016b.

GIARDINETTO, J. R. B.; GOMES, C.; FARIA, F. S. A Universalização do Sistema Métrico de Pesos e Medidas e o Episódio da Revolta do 'Quebra-Quilos' (1874 a 1875). In: PINHO, S. Z.; OLIVEIRA, J. B. B. (Org.). **As disciplinas escolares, os temas transversais e o processo de educação**, volume 4. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2012.

GIUNTA, C. J. What Chemistry Teachers Should Know about the Revised International System of Units (Système International). **Journal Of Chemical Education**, v. 96, p. 613-617, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00707>

GODOI, L. C. O.; FIGUEIRÔA, S. F. M. Dois pesos e duas medidas: uma proposta para discutir a natureza do sistema de unidades de medida na sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 523-545, dez, 2008. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2008v25n3p523>

GOUGH, D. Síntese e sistemática de pesquisa. In: THOMAS, G.; PRING, R. (Org.). **Educação Baseada em Evidências: a utilização dos achados científicos para a qualificação da prática pedagógica**. Tradução de Roberto Cataldo Costa. Porto Alegre: Artmed, 2007.

GRUPO DE REELABORAÇÃO DO ENSINO DE FÍSICA. **Física 1: Mecânica / GREF**. 7a ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

HSU, L.; HSU, J. P. The physical basis of natural units and truly fundamental constants. **The European Physical Journal Plus**, v. 127, n. 11, 2012. DOI: 10.1140/epjp/i2012-12011-5

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo demográfico de 2010. Disponível em:

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/franca/pesquisa/23/25888?detalhes=true>. Acesso em 19 de abril de 2019.

INMETRO. **Sistema Internacional de Unidades: SI**. Duque de Caxias, RJ: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012.

IPEMSP. Almanaque do IPEM-SP. 2019. Disponível em: <https://ipemsp.wordpress.com/2019/09/09/medindo-tempo-o-segundo/>. Acesso em: 31 de dez. 2020.

JACOBI, Pedro Roberto. Educação Ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo. **Revista Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 233-250, mai/ago, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1517-97022005000200007>.

JAPIASSU, H. F. **Introdução ao pensamento epistemológico**. 4. ed. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1986.

JESSEN, B. and WINSLØW, C. (2017). The theory of Didactical Situations. In Winsløw, C. (Ed.), *Practical Guide to Inquiry Based Mathematics Ed.*, pp. 29-42.

JOSÉ, W. D.; BRAGA, G. R.; NASCIMENTO, A. Q. B.; DE BASTOS, F. P. ENEM, Temas Estruturadores e Conceitos Unificadores no ensino de Física. Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências, v. 16, n. 3, set/dez, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21172014160308>

KNOTTS, S., MOHR, P. J.; PHILLIPS, W. D. An Introduction to the New SI. **The Physics Teacher**, v. 55, 2017. DOI: 10.1119/1.4972491

KULA, W. **Las medidas y los hombres**. Madrid: Siglo XXI. 1980.

LANDIM, R P; CARVALHO, H. R. O Novo SI e seu Impacto na Metrologia Elétrica no Brasil. **Controle&Instrumentação**, São Paulo, p. 59 - 65, 22 nov. 2018.

LUDKE, M., ANDRÉ, M. E. D. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

LUZ, A. M.R.; ÁLVARES, B. A.; GUIMARÃES, C. C. **Física: contexto e aplicações: ensino médio**. Volume 1. São Paulo: Editora Scipione, 2016.

MILONE, A. C; et al. **Introdução à astronomia e astrofísica**, INPE-7177/PUD-38. Divisão de Astrofísica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2018.

MOURA FILHO, H. P. O uso da informação quantitativa em História – Tópicos para discussão. **Locus: revista de História**, Juiz de Fora, v. 14, n. 1, p. 41-90, 2008.

NOVAES, M.; STUDART, N. **Mecânica Quântica Básica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

NUNES, R. S.; NUNES, J. M. V. Modelos constitutivos de sequências didáticas: enfoque na Teoria das Situações Didáticas. **Revista Exitus**, v. 9, n. 1, p. 148-174, jan/mar, 2019. <https://doi.org/10.24065/2237-9460.2019v9n1ID719>

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Mecânica**. 4ª edição, São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2002

OLIVEIRA, R. R.; ALVES, F. R. V.; SILVA, S. A. Uma proposta de atividades com enfoque na Teoria das Situações Didáticas: identidades bi e tridimensionais fibonaccianas. **Caminhos da Educação Matemática em Revista (Online)**, v.9, n. 3, 2019.

OLIVEIRA FILHO, K. S.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia e Astrofísica**, 2014. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/livro.pdf>. Acesso em: 01 de fevereiro de 2021.

PIETROCOLA, M. A Matemática como estruturante do conhecimento físico. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 19, n. 1: p. 89-109, ago. 2002.

PIETROCOLA, M. et al. **Física em contextos**, 1: ensino médio. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

PINTO, N. B. **O erro como estratégia didática: estudo do erro no ensino da matemática elementar**. Campinas, SP: Papyrus, 2000.

POMMER, W. M. **A Engenharia Didática em sala de aula: Elementos básicos e uma ilustração envolvendo as Equações Diofantinas Lineares**, 2013

PRECISÃO A medida de todas as coisas Ep02 massa e mol. Mascarado_docs. Youtube. 22 jul. 2014. 58 min 40 s. disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=O11YjZYJV6U&t=6s>. Acesso em: 30 jul. 2020.

PRECISÃO A medida de todas as coisas -1 de 3- Tempo e Distância. Dailymotion. 2018. 59 min 08 s. disponível em: <https://www.dailymotion.com/video/x6vvcp9>. Acesso em: 10 abr. 2020.

PINHO, S. Z.; OLIVEIRA, J. B. B. (org). **As Disciplinas Escolares, os Temas Transversais e o Processo de Educação**. V.4. São Paulo: Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2012. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luiz_Rufino2/publication/280444477_Educacao_Fisica_escolar_no_Ensino_Medio_a_questao_da_saude/links/55b4ebe208ae9289a08a5bbc/Educacao-Fisica-escolar-no-Ensino-Medio-a-questao-da-saude.pdf#page=137. Acesso em 31 dez 2020.

PINTO, N. B. **O erro como estratégia didática: estudo do erro no ensino da matemática elementar**. Campinas, SP: Papyrus, 2000.

ROTONDO, M. L.; COIMBRA, D. O Sistema Internacional de Unidades nos livros didáticos de Física do PNLD 2018. **Anais do XI Encontro Mineiro sobre Investigação na Escola – Online**. Uberlândia, 2020.

SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria da Educação. **Currículo Paulista: etapas da Educação Infantil e Ensino Fundamental** (Volume 1). São Paulo: SE, 2019.

SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria da Educação. **Currículo Paulista: etapa do Ensino Médio** (Volume 2). São Paulo: SE, 2020

SILVA, K. S. et al. A Teoria das Situações Didáticas como metodologia de ensino e aprendizagem de concepções científicas em Ciências e Matemática. **Caminhos da Educação Matemática em Revista (Online)**, v.9, n. 3, 2019.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE METROLOGIA. SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA. **O Novo Sistema Internacional de Unidades**. 2019. (Redação e adaptação: Luciana e Sá Alves e Gelson Rocha). Disponível em: http://metrologia.org.br/wpsite/wp-content/uploads/2019/07/Cartilha_O_novo_SI_29.06.2029.pdf. Acesso em 25 mar. 2020.

SOUZA, A. L. et al. A origem e a importância das medidas no ensino de Física para o Ensino Médio: uma abordagem Pibidiana. In: **Anais do III Simpósio Nacional de Ensino de Ciências e Tecnologia**, 2012, Ponta Grossa. Disponível em: <http://www.sinect.com.br/2012/download.php?id=2902&q=1> Acesso em 29 de setembro de 2020.

TARSIA, R. D. O calendário Gregoriano. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 17, nº1, p. 50-54, 1995.

TEIXEIRA, J. M.; PASSOS, C, C, M. Um pouco da teoria das situações didáticas (tsd) de Guy Brousseau. **Zetetiké – FE/Unicamp**, v. 21, n. 39, jan/jun 2013.

THE BIG BANG THEORY – Sheldon and Penny go supermarket (season 1). The Big Bang Theory Funny moments. YouTube. 31 ago. 2019. 2 min 37 s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=PQ2n8D05jfY&t=4s>. Acesso em: 30 jul. 2020.

THOMAS, G.; PRING, R. (Org.). **Educação Baseada em Evidências: a utilização dos achados científicos para a qualificação da prática pedagógica**. Tradução de Roberto Cataldo Costa. Porto Alegre: Artmed, 2007.

VASCONCELOS, Y. Criado há cerca de um século, o material polimérico que trouxe inúmeras facilidades à vida moderna tornou-se fonte de um enorme problema ambiental. **Revista Pesquisa Fapesp**, ano 20, n. 281. p. 18-24, julho 2019.

WATANABE-CARMELLO, G.; STRIEDER, R. B. Elementos para inserir as questões ambientais em aulas de física: da prática baseada em temas à complexificação do conhecimento. **Pesquisa em Educação Ambiental**, vol.6, n. 2, 2011.

ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA A PESQUISA

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO PARA PESQUISA NA ÁREA DE EDUCAÇÃO DESTINADO AOS RESPONSÁVEIS POR ALUNOS DA EDUCAÇÃO BÁSICA

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA – UBERLÂNDIA - MINAS
GERAIS

Título do Projeto: “*Estudo da forma como estudantes do ensino médio se organizam para a resolução de problemas em Física*”

Pesquisadora responsável: Profa. Dra. Débora Coimbra

e-mail: debora.coimbra@ufu.br / fones: (34) 99206-1481

1. Esta seção fornece informações acerca do estudo em que seu (sua) filho(a) estará participando:

Seu (sua) filho(a) está sendo convidado(a) a participar em uma pesquisa que visa analisar de que maneira os adolescentes se organizam para resolver problemas em Física, a partir da utilização de diversas estratégias didáticas diferentes (discussões entre os estudantes, realização de jogos e experimentos virtuais, resolução de problemas, utilização de *softwares* didáticos e leitura de textos de divulgação científica). Os resultados deste estudo poderão contribuir para que professores aprimorem suas atividades em sala de aula, colaborando para a aprendizagem dos estudantes.

Em caso de dúvida, você pode entrar em contato com o pesquisador responsável através do telefone e endereço eletrônico fornecidos nesse termo.

Os procedimentos de pesquisa, caso haja consentimento dos envolvidos, estarão ligados à:

- i. coleta e reprodução de tarefas realizadas nas aulas de Física;
- ii. filmagem das atividades realizadas nas salas de aula para posterior transcrição e análise dos processos de ensino e aprendizagem.

Na comunicação de resultados da pesquisa, os nomes do professor e dos alunos serão retirados de todos os trabalhos e substituídos por nomes fictícios. Os pesquisadores se comprometem, ainda, a utilizar os dados aqui coletados apenas para fins desta pesquisa ou de outras, com propósitos semelhantes e com os mesmos cuidados éticos na preservação da identidade dos envolvidos.

2. Esta seção descreve os direitos de seu (sua) filho(a) como participante desta pesquisa:

Você e seu (sua) filho(a) podem fazer perguntas sobre a pesquisa a qualquer momento e tais questões serão respondidas.

A participação é confidencial. Apenas os pesquisadores responsáveis terão acesso à sua identidade. No caso de haver publicações ou apresentações relacionadas à pesquisa, nenhuma informação que permita a identificação será revelada.

A participação de seu (sua) filho(a) é voluntária e a não participação na pesquisa (ou seja, não ser filmado e não utilização das tarefas escritas reproduzidas) não é passível de qualquer punição.

Este estudo envolverá gravação de vídeo. Apenas os pesquisadores terão acesso a estes registros. O material da pesquisa será arquivado no Banco de Dados do grupo de pesquisa e só poderá ser acessado por pesquisadores com interesses de pesquisa em questões de ensino e aprendizagem em ciências e que se comprometerem aos mesmos cuidados éticos aqui apresentados.

Este estudo não envolve qualquer risco à saúde mental ou física das pessoas e não irá interferir, senão positivamente, na qualidade do ensino e na atenção, a elas dispensada, em sala de aula.

É garantido ao participante da pesquisa ou ao seu representante legal o recebimento de indenização por danos morais e/ou materiais decorrentes direta ou indiretamente da participação nesta pesquisa.

3. Esta seção indica que você está dando seu consentimento para que seu (sua) filho(a) participe da pesquisa:**Responsável pelo(a) participante:**

A pesquisadora Prof. Débora Coimbra do PPGECM/UFU solicitou a minha participação neste estudo intitulado “*Estudo da forma como estudantes do ensino médio se organizam para a resolução de problemas em Física*”.

Eu concordo que meu(minha) filho(a) participe desta investigação, autorizo a utilização de trabalhos produzidos em aulas de Física e o registro em vídeo de atividades em sala de aula.

Estou ciente, ainda, de que os registros farão parte de um banco de dados que poderão ser utilizados em outras pesquisas do grupo do qual os pesquisadores fazem parte, para estudo e compreensão de processos de ensino e aprendizagem em ciências.

Eu li e compreendi as informações fornecidas. Eu entendi e concordo com as condições do estudo como descritas. Eu entendo que este documento foi redigido em duas vias idênticas e que receberei uma cópia assinada deste formulário de consentimento.

Eu, voluntariamente, aceito que meu(minha) filho(a) participe desta pesquisa. Portanto, concordo com tudo que está escrito acima e dou meu consentimento.

Uberlândia, _____ de abril de 2019.

Assinatura do(a) aluno(a):

Nome legível do responsável pelo(a) aluno(a):

Assinatura do responsável pelo(a) aluno(a):

Pesquisadora:

Uberlândia, 15 de abril de 2019.



Assinatura do Pesquisador

APÊNDICE A – O SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES NOS LIVROS DIDÁTICOS DO PNLD 2018 (PARTE DO TRABALHO APRESENTADO NO XI ENCONTRO MINEIRO SOBRE INVESTIGAÇÃO NA ESCOLA)

Todos os livros de Física aprovados no PNLD de 2018 estão relacionados e detalhados nos Quadros 1 a 12. Para as obras elencadas, a análise foi realizada considerando o primeiro volume de cada coleção, indicado para o primeiro ano do ensino médio. Além das informações bibliográficas, os Quadros sintetizam se há um capítulo ou seção específica abordando o SI explicitando como o tema é tratado, se as ilustrações estão articuladas com o discurso textual e, ainda, a quantidade de exercícios. Na abordagem do tema, verificamos como o tema é apresentado e desenvolvido e, também, se há a proposta de aula experimental. Já no item “ilustração” indicamos se a obra apresenta ilustrações e se essas são pertinentes. Por fim, no item denominado “exercícios”, elencamos a quantidade de exercícios propostos.

Quadro 01: análise do livro 1.

Nome do livro	Física
Autores	Guimarães, Piquera e Carron
Editora	Ática
Capítulo ou seção específicos	A obra contempla um capítulo específico para grandezas e sistemas de unidades (Capítulo 2), o qual inicia-se com um texto que aborda a importância das medições e das unidades. Posteriormente, apresenta um texto com uma breve história do SI, seguido de quadros, um quadro com as unidades de base do SI, com as grandezas e os símbolos, e, outro com algumas grandezas derivadas e as unidades de medidas. Aborda ainda, em texto, as medidas de comprimento, massa e tempo, incluindo um box sobre o relógio atômico. Propõe um experimento: As unidades no cotidiano.
Ilustrações	Há figuras representando as unidades baseadas em partes do corpo humano e uma figura do Protótipo Internacional do metro.
Exercícios	Há quatorze exercícios propostos, sobre medidas e o SI

Quadro 02: análise do livro 2.

Nome do livro	Compreendendo a Física
Autor	Alberto Gaspar
Editora	Ática
Capítulo ou seção específicos	A obra contempla um capítulo específico para grandezas (Capítulo 2), no qual apresenta um texto, muito curto, sobre grandezas e medidas, bem como o Sistema Internacional de Unidades. Traz também um quadro das unidades de base do SI, com as grandezas e os símbolos, e um quadro com algumas grandezas derivadas e as unidades de medidas. Há um texto complementar intitulado “Dois pesos e duas medidas” que retrata a criação do Sistema Métrico e a Revolução Francesa. Por fim, propõe uma atividade experimental sobre medidas indiretas de distância.
Ilustrações	Há uma ilustração do Protótipo Internacional do quilograma.
Exercícios	Há quatro exercícios relacionados a medidas e o SI.

Quadro 03: análise do livro 3

Nome do livro	Física: Contexto e aplicação
Autor	Antônio Máximo, Beatriz Alvarenga e Carla Guimarães
Editora	Editora Scipione

Capítulo ou seção específicos	Há uma seção no Capítulo 1 sobre a origem do Sistema Métrico Decimal, que aborda as unidades antes do sistema métrico (antropomorfismo) e o Sistema Métrico Decimal. Há um texto superficial abordando a importância da criação do SI, no entanto, não mencionam as unidades de base. Por fim, propõem duas atividades experimentais relacionadas a medidas de espessura de folhas de papéis e a medidas de volume.
Ilustrações	Há ilustrações sobre unidades originárias de partes do corpo humano (pé, jarda e polegada) e uma ilustração do Protótipo Internacional do metro.
Exercícios	Há oito exercícios propostos, porém, priorizando o Sistema Métrico.

Quadro 04: análise do livro 4

Nome do livro	Ser protagonista – Física
Autores	Ana Paula Souza Nani, Adriana Benetti Marques Válio, Ana Fukui, Bassam Ferdinian, Gladstone Alvarenga de Oliveira, Madson de Melo Molina e Venê
Editora	SM
Capítulo ou seção específicos	A obra contempla um capítulo específico sobre medidas (Capítulo 2), que inicia com um texto sobre a importância das medições, seguido de um texto sobre grandezas físicas e medidas, abordando instrumentos de medida. No final do capítulo, apresenta um texto breve sobre o SI, com quadros sobre as unidades de base e as unidades derivadas, incluindo um box sobre o protótipo internacional do quilograma. Há também uma atividade de análise de um texto histórico sobre a revolta dos quebra-quilos. Por fim, propõe um experimento para medir volumes de corpos com forma irregular.
Ilustrações	Há ilustrações de instrumentos de medidas (bêquer, balança, fita métrica, termômetro, hodômetro e cronômetro) e uma figura sobre o Protótipo Internacional do quilograma.
Exercícios	Há doze exercícios propostos.

Quadro 05: análise do livro 5

Nome do livro	Física para o Ensino Médio
Autores	Kazuhito e Fuke
Editora	Saraiva
Capítulo ou seção específicos	No Capítulo 1, a obra apresenta um texto sobre as unidades de medidas (tempo, comprimento e massa) e um texto breve, sobre o SI, com um quadro das unidades de base. Por fim, propõe um experimento “Escolhendo o instrumento adequado para medições”.
Ilustrações	Apresenta ilustrações dos Protótipos Internacionais do metro e do quilograma.
Exercícios	Há nove exercícios propostos.

Quadro 06: análise do livro 6

Nome do livro	Física
Autores	Gualter José Biscuola, Newton Villas Bôas e Ricardo Helou Doca
Editora	Saraiva
Capítulo ou seção específicos	No Capítulo 1, apresenta um texto sobre padrões de unidades de medida, no qual aborda o SI e mostra um quadro das unidades de base. Por fim, apresenta um texto sobre unidades primitivas (polegadas, braça)
Ilustrações	Apresenta figuras de um velocímetro de um automóvel, um televisor e um cano de PVC indicando a medida em polegadas.
Exercícios	Não há exercícios específicos.

Quadro 07: análise do livro 7

Nome do livro	Física: interação e tecnologia
Autores	Aurelio Gonçalves Filho e Carlos Toscano
Editora	Leya
Capítulo ou seção específicos	Não apresenta um capítulo ou seção específicos para o Sistema Internacional de Unidades.
Ilustrações	Não há.
Exercícios	Não há.

Quadro 08: análise do livro 8

Nome do livro	Física aula por aula
Autores	Benigno Barreto e Claudio Xavier
Editora	FTD
Capítulo ou seção específicos	No Capítulo 1 a obra apresenta um texto sucinto, sobre a história das medições, finalizando com o SI. Além disso, expõe quadros das grandezas de base e das grandezas derivadas.
Ilustrações	Apresenta ilustrações dos Protótipos Internacionais do metro e do quilograma.
Exercícios	Não há exercícios específicos.

Quadro 09: análise do livro 9

Nome do livro	Física
Autores	José Roberto Bonjorno, Clinton Marcio Ramos, Eduardo de Pinho Prado, Valter Bonjorno, Mariza Azzolini Bonjorno, Renata Casemiro e Regina de Fátima Souza Azenha Bonjorno
Editora	FTD
Capítulo ou seção específicos	No Capítulo 1 há uma seção intitulada “Sistema Internacional de Unidades”, no qual aborda, de forma superficial, o surgimento do Sistema Internacional de unidades. Apresenta um quadro com as unidades de base e um quadro com variações de algumas unidades de medidas. Há ainda um texto que retrata alguns sistemas de medidas, da antiguidade até o século XX, intitulado “Um peso e uma medida”. Por fim, propõe uma atividade experimental sobre medidas de tempo.
Ilustrações	Não há ilustrações.
Exercícios	Há sete exercícios, explorando a conversão de unidades de medidas.

Quadro 10: análise do livro 10

Nome do livro	Física
Autores	Maurício Pietrocola, Alexandre Pogibin, Renata de Andrade e Talita Raquel Romero
Editora	Editora do Brasil
Capítulo ou seção específicos	No Capítulo 2 há uma seção intitulada “produzindo medidas” que explora o conceito de medidas e as incertezas. Está contida nesta seção um box sobre o SI, abordando a história da sua criação, assim como quadros com as grandezas de base e derivadas, assim como suas unidades de medida. Há atividades experimentais propostas, sobre medidas e suas incertezas.
Ilustrações	Não há ilustrações.
Exercícios	Há oito exercícios sobre medidas, suas incertezas e Algarismos significativos.

Quadro 11: análise do livro 11

Nome do livro	Física – ciência e tecnologia
Autores	Carlos Magno A. Torres, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Antônio de Toledo Soares e Paulo Cesar Martins Penteadado
Editora	Moderna
Capítulo ou seção específicos	No Capítulo 2, apresenta um texto sobre o SI, abordando a sua criação, as unidades de base e as padronizações de comprimento, massa e tempo
Ilustrações	Apresenta ilustrações de instrumentos de medidas: fita métrica, balança e relógio solar
Exercícios	Apresenta seis exercícios sobre a conversão de unidades e incertezas em medidas.

Quadro 12: análise do livro 12

Nome do livro	Conexões com a Física
Autores	Glorinha Martini, Walter Spinelli, Hugo Carneiro Reis e Blaidi Sant’Anna
Editora	Moderna
Capítulo ou seção específicos	No Capítulo 1, apresenta um box com um quadro das unidades de base do SI
Ilustrações	Não há.
Exercícios	Não há.

APÊNDICE B – A UNIDADE DE MEDIDA KELVIN NOS LIVROS DIDÁTICOS DO PNLD 2018

Todos os livros de Física aprovados no PNLD de 2018 estão relacionados e detalhados nos Quadros 1 a 12. Para as obras elencadas, a análise foi realizada considerando o segundo volume de cada coleção, indicado para o segundo ano do ensino médio. Além das informações bibliográficas, os Quadros sintetizam se elencam a definição da unidade de medida de temperatura termodinâmica, o kelvin, se abordam o termômetro a gás e a extrapolação de retas, que foram essenciais para definição da escala de temperatura e do zero absoluto. Ainda foram analisados, quanto a apresentação das ilustrações.

Quadro 01: análise do livro 1.

Nome do livro	Física
Autores	Guimarães, Piquera e Carron
Editora	Ática
Definição da unidade Kelvin	Não apresenta
Termômetro a gás	Não menciona.
Extrapolação de retas	Há um texto sobre a escala kelvin, no qual apresenta as análises de William Thompsom sobre extrapolação das retas, variação de volume de um gás em relação à temperatura sob pressão constante
Figuras	Há figuras de gráficos V x T, inclusive da extrapolação das retas

Quadro 02: análise do livro 2.

Nome do livro	Compreendendo a Física
Autor	Alberto Gaspar
Editora	Ática
Kelvin	Não define a unidade kelvin, apenas faz referência que esta é a unidade padrão de temperatura no SI
Termômetro a gás	Há uma explicação sobre o termômetro de gás
Extrapolação de retas	Mostra o gráfico P x T e explica brevemente a extrapolação da reta
Figuras	Há figuras do termômetro de gás

Quadro 03: análise do livro 3

Nome do livro	Física: Contexto e aplicação
Autor	Antônio Máximo, Beatriz Alvarenga e Carla Guimarães
Editora	Editora Scipione
Definição da unidade Kelvin	Apenas menciona que o kelvin é a unidade padrão de temperatura no SI
Termômetro a gás	Apresenta uma breve explicação sobre os termômetros de gás
Extrapolação de retas	Aborda a extrapolação de retas, no gráfico P x T
Figuras	Apresenta figura do gráfico P x T, com extrapolação da reta. Também apresenta uma figura de termômetro de gás

Quadro 04: análise do livro 4

Nome do livro	Ser protagonista – Física
Autores	Ana Paula Souza Nani, Adriana Benetti Marques Válio, Ana Fukui, Bassam Ferdinian, Gladstone Alvarenga de Oliveira, Madson de Melo Molina e Venê
Editora	SM

Definição da unidade Kelvin	Apenas menciona que o kelvin é a unidade padrão de temperatura no SI
Termômetro de gás	Não apresenta
Extrapolação de retas	Aborda a extrapolção de retas, no gráfico P x T
Figuras	Apresenta figura do gráfico P x T, com extrapolção da reta

Quadro 05: análise do livro 5

Nome do livro	Física para o Ensino Médio
Autores	Kazuhito e Fuke
Editora	Saraiva
Definição da unidade Kelvin	Apenas explica como o Kelvin criou a escala, trabalhando com transformações de gases
Termômetro de gás	Não apresenta
Extrapolação de retas	Não apresenta
Figuras	Não apresenta

Quadro 06: análise do livro 6

Nome do livro	Física
Autores	Gualter José Biscuola, Newton Villas Bôas e Ricardo Helou Doca
Editora	Saraiva
Padronização da unidade Kelvin	Não apresenta
Termômetro a gás	Aborda no manual do professor
Extrapolação de retas	Aborda a extrapolção do gráfico P x T
Figuras	Há figura do gráfico P x T, indicando a extrapolção da reta

Quadro 07: análise do livro 7

Nome do livro	Física: interação e tecnologia
Autores	Aurelio Gonçalves Filho e Carlos Toscano
Editora	Leya
Padronização da unidade Kelvin	Aborda, brevemente, a escala Kelvin
Termômetro a gás	Apresenta um termômetro a gás e explica, sucintamente, seu funcionamento
Extrapolação de retas	Não apresenta
Figuras	Apresenta uma figura de um termômetro a gás

Quadro 08: análise do livro 8

Nome do livro	Física aula por aula
Autores	Benigno Barreto e Claudio Xavier
Editora	FTD
Padronização da unidade Kelvin	Há um texto mencionando, brevemente, a escala Kelvin.
Termômetro a gás	Não apresenta
Extrapolação de retas	Não apresenta
Figuras	Não apresenta

Quadro 9: análise do livro 9

Nome do livro	Física
Autores	José Roberto Bonjorno, Clinton Marcio Ramos, Eduardo de Pinho Prado, Valter Bonjorno, Mariza Azzolini Bonjorno, Renata Casemiro e Regina de Fátima Souza Azenha Bonjorno
Editora	FTD
Padronização da unidade Kelvin	Escreve sobre a criação da escala Kelvin, comentando que esta é a unidade de temperatura no SI
Termômetro a gás	Não apresenta
Extrapolação de retas	Apresenta a extrapolção da reta V x T
Figuras	Apresenta a figura do gráfico V x T, evidenciando a extrapolção da reta

Quadro 10: análise do livro 10

Nome do livro	Física
Autores	Maurício Pietrocola, Alexandre Pogibin, Renata de Andrade e Talita Raquel Romero
Editora	Editora do Brasil
Padronização da unidade Kelvin	Cita que a unidade de temperatura termodinâmica no SI é o Kelvin e faz um breve relato de como foi a sua padronização.
Termômetro a gás	Apenas cita que a padronização do kelvin é fruto de experimentos realizados com gases.
Extrapolação de retas	Não apresenta
Figuras	Não apresenta

Quadro 11: análise do livro 11

Nome do livro	Física – ciência e tecnologia
Autores	Carlos Magno A. Torres, Nicolau Gilberto Ferraro, Paulo Antônio de Toledo Soares e Paulo Cesar Martins Penteado
Editora	Moderna
Padronização da unidade Kelvin	Retrata a origem da escala Kelvin
Termômetro a gás	Não apresenta
Extrapolação de retas	Não apresenta
Figuras	Não apresenta

Quadro 12: análise do livro 12

Nome do livro	Conexões com a Física
Autores	Glorinha Martini, Walter Spinelli, Hugo Carneiro Reis e Blaidi Sant'Anna
Editora	Moderna
Padronização da unidade Kelvin	Aborda a escala kelvin e cita que esta é a unidade de temperatura no SI
Termômetro a gás	Não apresenta
Extrapolação de retas	Aborda a extrapolção do gráfico $V \times T$
Figuras	Há figuras do gráfico $V \times T$, indicando a extrapolção da reta

APÊNDICE C – PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional, de título: *Quantificação e o Novo Sistema Internacional de Unidades: pensando em algumas faces da poluição*, apresenta o SI com um breve histórico, as regras oficiais de nomes e símbolos e também as atividades da sequência didática tratada neste trabalho.

QUANTIFICAÇÃO E O NOVO SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES:

pensando em algumas faces da poluição



MÁRCIO LEANDRO ROTONDO
DÉBORA COIMBRA

*Título: Quantificação e o Novo Sistema Internacional de Unidades:
pensando algumas faces da poluição© Márcio Leandro Rotondo*

Edição de textos: Márcio Leandro Rotondo e Débora Coimbra

Revisão: Débora Coimbra

Diagramação e capa: Paulo Vítor Cardoso Toledo

Ilustrações: Eduardo de Moraes Ferracioli e Sérgio Kon

Imagem da capa: Sérgio Kon

**Uberlândia
2020**

Sumário

1. CAPÍTULO I: O Sistema Internacional de Unidades.....	9
1.1 Um breve histórico	9
1.2 O Sistema Internacional de Unidades.....	12
1.3 Grafia de nomes e símbolos das unidades de medidas: as regras oficiais	17
2 CAPÍTULO II: Atividades Didáticas para o Ensino Médio.....	21
2.1 Prelúdio.....	21
2.2 Atividades.....	23
2.2.1 Padronização de massa e comprimento.....	23
2.2.2 Padronização do tempo.....	31
2.2.3 Padronização da corrente elétrica	37
2.2.4 Padronização da temperatura termodinâmica	43
2.2.5 Padronização da Intensidade Luminosa.....	51
3 Referências	65

Apresentação

Motivar os estudantes a se engajarem em atividades escolares é um desafio recorrente para professores da Educação Básica. Esses profissionais acreditam persistentemente na importância do seu trabalho para a formação cidadã e para a construção de uma sociedade mais justa e consciente.

A necessidade de desenvolver técnicas de medição foram basilares para o desenvolvimento da sociedade ocidental, tal qual a conhecemos. Por sua vez, a criação de padrões foi demanda da mundialização da economia a partir do século XV e para a produção em escala industrial nos séculos seguintes. A globalização da economia seria inviável sem que houvesse acordo na esfera mundial.

Ao longo de sua experiência como estudantes, os autores puderam perceber que em Física e, muitas vezes, em outras disciplinas científicas, as unidades costumam ser comunicadas e servir como critério para redução de pontuação em avaliações. Ao mesmo tempo, dificilmente são foco de discussão em relação à história de sua criação e padronização. O conhecimento da história da definição do metro, por exemplo, além de um salto qualitativo na aprendizagem matemática poderia evitar divagações em relação à forma esférica do nosso planeta.

Escolhemos o problema da poluição como motivação para discutir as unidades fundamentais integrantes do Sistema Internacional de Unidades. A utilização excessiva e sem planejamento do plástico e o problema do seu descarte são abordados a fim de analisar a quantificação de massa, tempo e comprimento. Atividades experimentais utilizando balanças são articuladas ao funcionamento desse equipamento para entender as definições das unidades elétricas. A linearidade da proporção também é utilizada para estudar o funcionamento do termômetro.

Nessa perspectiva de contextualizar as unidades de medida em relação ao problema da poluição, a intensidade luminosa é tratada evidenciando que o olho humano não é um bom detector para a intensidade da radiação, já que as células da retina absorvem majoritariamente na faixa do azul. Situações cotidianas são quantificadas, como o descarte de absorventes higiênicos ou a escolha de lâmpadas para a utilização residencial.

Ao longo dos últimos dois anos, o autor Márcio Leandro Rotondo desenvolve seu mestrado junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal de Uberlândia sob minha orientação. Esse material sintetiza nossas reflexões e sua forma final é também resultado da implementação em sala de aula de escolas do município de Franca/SP. A abordagem dos conceitos primou sempre que possível por atividades experimentais e matemáticas, de modo equilibrado. Convidamos os professores a utilizar esse material, na íntegra ou parte das atividades, realizando as adaptações pertinentes.

Uberlândia, agosto de 2020

Debora Coimbra

INTRO DUÇÃO

Introdução

O Sistema Internacional de Unidades, o SI, criado em 1960, na XI Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM) é um conjunto de unidades de medidas oficiais para cada grandeza física. A padronização destas é essencial para a universalização, harmonizando, assim, as transações comerciais, as trocas de informações entre os cientistas e facilitando a confecção de peças e componentes para as indústrias.

Há sete unidades de base que compõem o Sistema Internacional de Unidades: metro (comprimento), segundo (tempo), quilograma (massa), ampere (corrente elétrica), kelvin (temperatura termodinâmica), mol (quantidade de substância) e candela (intensidade luminosa).



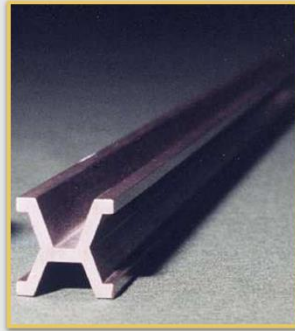
Fonte: BIPM.

FIGURA 01

Protótipo Internacional do Kilograma.

A definição do quilograma, unidade de base da grandeza massa, se manteve a mesma de 1889 a 2019, nesse período sendo baseada em um protótipo, a massa de um cilindro metálico armazenado em um cofre no Birô Internacional de Pesos e Medidas (BIPM), localizado próximo a Paris (SBM/SBF, 2019).

O metro também foi definido por um protótipo de liga metálica de platina-irídio, de 1889 a 1960. Esse protótipo ainda é conservado no BIPM nas mesmas condições que foram especificadas em 1899.



Fonte: Modificado de BIPM.

FIGURA 02

Protótipo Internacional do metro.

Contudo, em um mundo de alta tecnologia, a necessidade de medidas mais precisas tornou-se um desafio permanente, pois

Em nosso mundo de alta tecnologia, no qual o nanômetro há muito tempo se tornou comum, qualquer mudança de tamanho em um protótipo têm um impacto significativo na definição de uma unidade e, portanto, deve ser evitada. A menor variação na temperatura leva a uma mudança no comprimento do protótipo, e os resultados ficariam ainda piores caso o protótipo fosse danificado (SBM/SBF, 2019, p. 02).

A 26ª CGPM, instituiu que as sete unidades de base do Sistema Internacional de Unidades passassem a ser definidas através de constantes físicas e não mais de protótipos. Um objeto físico pode ser danificado pela manipulação humana ou mesmo pela ação do tempo. Além disso, a utilização de constantes invariáveis permite que a indústria e a ciência consigam evoluir na qualidade das medições, reduzindo, assim, os níveis de incerteza nas medidas. Vale ressaltar que essa maior precisão passou a valer a partir de 20 de maio de 2019.

Quadro 01 – As grandezas de base do Sistema Internacional de Unidades.

GRANDEZA DE BASE	UNIDADE DE BASE	SÍMBOLO	CONSTANTE FUNDAMENTAL
Comprimento	metro	m	Frequência hiperfina do átomo de Césio 133
Tempo	segundo	s	Velocidade da luz no vácuo
Massa	kilograma ¹	kg	Constante de Planck
Corrente elétrica	ampere	A	Carga elementar
Temperatura termodinâmica	kelvin	K	Constante de Boltzmann
Quantidade de substância	mol	mol	A constante de Avogadro
Intensidade luminosa	candela	cd	Eficácia luminosa de uma radiação visível definida kcd

Fonte: INMETRO (2012).

No que tange ao ensino de Física, as implicações dessas mudanças nas definições de algumas unidades de medida são consideravelmente mais abstratas, uma vez que os estudantes devem entender o significado geral das constantes físicas, sendo algumas de difícil compreensão, como, por exemplo, a constante de Planck. Neste contexto, esta sequência didática tem por objetivo descrever a importância da padronização de medidas, das unidades de base do Sistema Internacional de Unidades.

¹ Na unidade quilograma (kg), o grama (g) é uma palavra do gênero masculino. Quando escrever por extenso ou pronunciar, a concordância correta é: a massa da bola de basquete é seiscentos e cinquenta gramas.

CAPÍTULO TULO

01 O SISTEMA INTERNACIONAL
DE UNIDADES

1. CAPÍTULO I: O Sistema Internacional de Unidades

1.1 Um breve histórico

A história da medição acompanha a da humanidade, desde as medições de territórios, das quantificações de colheita de alimentos ou simplesmente para saber as épocas de plantios. Conforme afirma Filho (2008, p. 46),

Não havia porque medir com precisão glebas de terra se não existisse um vizinho disputando o campo ou um senhor a exigir trabalho sobre aquele pedaço, embora não se possa precisar quando o agricultor, ao dizer (ou pensar) “Hoje colhi mais do que ontem”, tenha ficado curioso em saber “quanto mais?” Ou, ao perceber o inverno chegando mais cedo, teria pensado “Será que o que colhi até agora vai aguentar até o fim desse inverno?” Mediu-se, de início, o que se tinha à volta, o que interessava diretamente a cada um, no seu ambiente mais imediato.

Nesta perspectiva, é interessante ressaltar que as medidas surgiram em diferentes povos. Contudo, conforme a complexidade das relações sociais aumentava, irrompiam novos objetos de medição e aumentava a necessidade de precisão nas medidas.

A primeira etapa do desenvolvimento da metrologia² era baseada no antropomorfismo, no qual as unidades básicas das medidas eram partes do corpo humano (KULA, 1980). Assim, as unidades eram baseadas no corpo humano como, por exemplo, o pé, a jarda, a braça, o palmo e a polegada. Em contrapartida, esses sistemas de medidas, além de serem imprecisos, não tinham correspondências entre si, visto que as medidas variavam de um corpo para outro. Além disso, havia a dificuldade da criação de submúltiplos.

² Metrologia é a ciência que estuda as medições e suas aplicações.

Quadro 02:

Unidades de medidas baseadas no corpo humano e sua equivalência com a unidade centímetro.

UNIDADE	EQUIVALÊNCIA EM CENTÍMETRO
Pé	30,48
Jarda	91,44
Braça	220
Palmo	22,86
Polegada	2,54
Passo	82

Fonte: Modificado de Guimarães (2017).

Já na Idade Média, principalmente no sistema feudal, foi o período com a maior diversidade metrológica, pois cada feudo estabelecia suas próprias medidas e padrões, os quais eram produzidos com materiais nobres para não serem falsificados. Com a expansão do comércio as unidades de medidas tinham que ser mais precisas e também mais uniformes, sendo assim, a ausência de padrão de unidade de medida gerava problemas, cada região utilizava um tipo diferente de unidade de medida que, muitas vezes, era subjetivo e pouco confiável.

No final do século XVIII, concomitante à Revolução Francesa, a necessidade de mudança envolveu toda a Europa. As unidades de medidas baseadas na anatomia da realeza foram extintas, sendo substituídas pelo sistema métrico decimal, criado em 20 de maio de 1875, em Paris. Assim, “a aplicação de um sistema métrico significava a aplicação de novas unidades, novos sistemas de múltiplos e submúltiplos, nova nomenclatura e também a unificação dos métodos de medição, tão vitais para o comércio dos grãos” (KULA, 1980, p. 90).

Nessa época se consagrou a expressão “dois pesos e duas medidas”. Para os poderosos, uma mesma mercadoria tinha peso maior quando eles a vendiam e menor quando a compravam. Por isso no início da Revolução Francesa, em 1790, um decreto da Assembleia Constituinte que assumiu o poder com a queda da monarquia exigiu da Academia de Ciências da França a criação de padrões únicos de massa e comprimento. Esses padrões originaram o sistema métrico, oficializado na França em 1799 (GASPAR, 2005, p. 17)

O sistema métrico foi, sem dúvida, um grande passo rumo à unificação das unidades de medidas, sendo uma grande conquista para uma linguagem universal. Entretanto, houve resistência da população em aceitar esse novo sistema, pois era um sistema de medidas abstrato, baseado em propriedades físicas que eram incompreensíveis para a sociedade (COSTA-FÉLIX, 2017).

Enfim, com a necessidade de universalizar o sistema métrico, um grupo de países estabeleceu um Tratado Diplomático, em 1875, a Convenção do Metro, com o objetivo de estabelecer uma autoridade internacional no campo da metrologia. Foram criadas três instituições para conduzir as atividades, sendo uma delas o Bureau Internacional de Pesos e Medidas (Bureau International des Poids et Mesures – BIPM) sob a autoridade da Conferência Internacional de Pesos e Medidas (Conference Generale des Poids et Mesure – CGPM) e mediante supervisão do Comitê Internacional de Pesos e Medidas (Comité International des Poids et Mesures – CIPM).

O tratado foi assinado em 20 de maio de 1875, por 17 países, incluindo o Brasil e os Estados Unidos, definindo a forma pela qual as atividades do IBPM deveriam ser financiadas e administradas. Foi também determinada a construção de novas materializações para o metro e para o quilograma, utilizando e desenvolvendo novas tecnologias baseadas em novos desenvolvimentos científicos, que passariam a ser os padrões internacionais de massa e de comprimento. Foram definidos os protótipos internacionais do metro e do quilograma, feitos com uma liga metálica de platina-irídio.

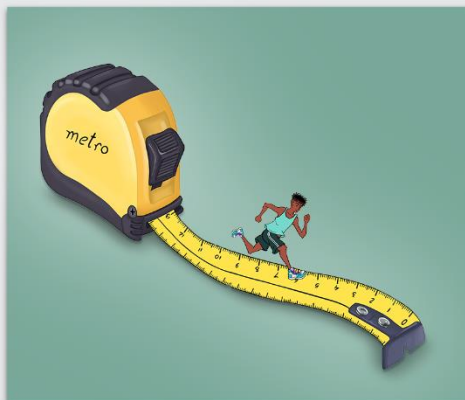
Em 1960 ainda havia vários sistemas de medidas no mundo. Na 11^ª Conferência Geral de Pesos e Medidas (CGPM), foi instituído o Sistema Internacional de Unidades – SI, que estabeleceu a cada grandeza somente uma unidade.

O SI, que recebeu este nome em 1960, teve como propósito de sua criação a necessidade de um sistema prático mundialmente aceito nas relações internacionais, no ensino e no trabalho científico, sendo, naturalmente, um sistema que evolui de forma contínua para refletir as melhores práticas de medição que são aperfeiçoadas com o decorrer do tempo (INMETRO, 2012, p. 8).

1.2 O Sistema Internacional de Unidades

O Sistema Internacional de Unidades possui sete unidades de base. A partir delas são definidas as unidades derivadas. Essas sete unidades foram escolhidas por razões históricas, considerando a evolução desde o Sistema Métrico até o Sistema Internacional para as grandezas comprimento, tempo, massa, corrente elétrica, temperatura termodinâmica, quantidade de substância e intensidade luminosa.

A grandeza comprimento remete à extensão linear de um objeto em uma determinada dimensão do espaço. Sua unidade no SI é o metro, definido “como o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de $1/299792458$ de segundo” (INMETRO, 2012, p. 25). A velocidade da luz no vácuo é fixada em 299792458 metros por segundo exatamente.

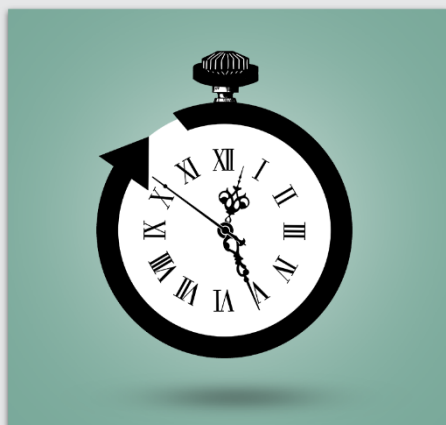


Crédito: Eduardo de Moraes Ferracioli.

FIGURA 03

Representação de uma trena, um dos instrumentos de medida da unidade metro.

A grandeza tempo está associada à transição atômica que ocorre entre os níveis F_3 e F_4 de energia do Césio-133 (metal alcalino que possui um único elétron na camada de valência), medida por um ressonador cuja frequência de ressonância é igual a 9,2 GHz. Sua unidade de medida no SI é o segundo, definido como a duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133” (INMETRO, 2012, p. 25). Concluindo que a frequência de transição hiperfina do estado fundamental do átomo de Césio é exatamente igual a 9.192.631.770 hertz.



Crédito: Eduardo de Moraes Ferracioli.

FIGURA 04

Representação de um cronômetro, um dos instrumentos de medida da unidade segundo.

Já a grandeza massa refere-se à medida da inércia do corpo, isto é, da resistência do corpo a modificação do seu estado de movimento (do vetor velocidade). Sua unidade de medida no SI é o quilograma, definido fixando-se o valor numérico da constante de Planck, h , exatamente igual a $6,62607015 \times 10^{-34}$ quando expresso em unidades do SI, $m^2 \cdot kg \cdot s^{-1}$, que é igual a joule segundo (J·s) (SBM/SBF, 2019, p. 05).

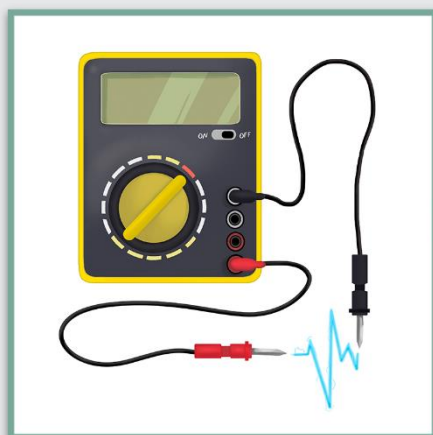


Crédito: Eduardo de Moraes Ferracioli.

FIGURA 05

Representação de uma balança, um dos instrumentos para a medida da unidade quilograma.

A grandeza corrente elétrica é associada ao fluxo de cargas elétricas resultante da diferença de potencial elétrico entre duas extremidades. Sua unidade no SI é o ampere, definido “fixando-se o valor numérico da carga elementar, e , exatamente igual a $1,602176634 \times 10^{-19}$, quando se expressa a unidade em coulombs (C), igual a A.s (ampere vezes segundo), em que o segundo é definido em função de $\Delta_{\nu Cs}$ ” (SBM/SBF, 2019, p. 06).

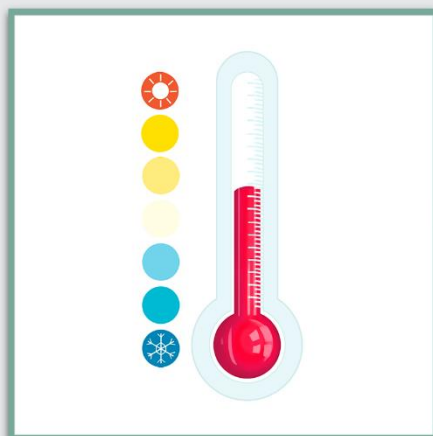


Crédito: Eduardo de Morais Ferracioli.

FIGURA 06

Representação de um multímetro

A temperatura termodinâmica representa a “medida do grau de agitação média das partículas que compõe uma substância. Essa agitação é a energia cinética média de translação que permite o movimento das partículas de um lugar para o outro” (Pietrocola, 2016, p. 97). A unidade de medida padrão no SI é o kelvin, e o seu valor é estabelecido fixando-se o valor numérico da constante de Boltzmann exatamente igual a $1,380649 \times 10^{-23}$ quando expresso em unidades do SI, $m^2.kg.s^{-2}.K^{-1}$, que é igual a $(J.K^{-1})$ (SBM/SBF, 2019).

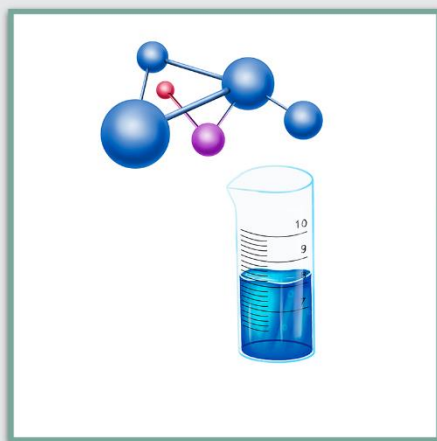


Crédito: Eduardo de Morais Ferracioli.

FIGURA 07

Representação de um termômetro de bulbo.

O mol é a unidade da grandeza física que mede a quantidade de substância, ou seja, o número de átomos ou de moléculas de uma determinada substância num volume padrão a condições dadas de pressão e temperatura. A massa de um mol de substância denomina-se massa molar, expressa em g/mol. Sua definição foi estabelecida fixando-se o valor numérico da Constante de Avogadro (N_A) exatamente igual a $6,02214076 \times 10^{23}$ quando expresso em unidades do SI, mol^{-1} (SBM/SBF, 2019).

**FIGURA 08**

Representação de substâncias químicas remetendo à unidade mol.

Crédito: Eduardo de Moraes Ferracioli.

Por fim, a grandeza intensidade luminosa está associada à quantidade de luz emitida por uma fonte em uma determinada direção. Sua unidade é a candela, definida como a intensidade luminosa, numa dada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} Hz, cuja intensidade radiante nessa direção é de $1/683$ W/sr. (INMETRO, 2012)

**FIGURA 09**

Representação de uma lâmpada emissora de luminosidade.

Crédito: Eduardo de Moraes Ferracioli.

Já as unidades derivadas são obtidas a partir das relações algébricas das unidades fundamentais, como pode-se observar alguns exemplos no Quadro 03.

Quadro 03 - Algumas unidades derivadas do Sistema Internacional de Unidades.

GRANDEZA	UNIDADE DERIVADA NO SI	SÍMBOLO	CONSTANTE FUNDAMENTAL
Velocidade		$\frac{m}{s}$	Grandeza relacionada à taxa de variação da posição de um móvel com o tempo em relação a um ponto de referência
Aceleração		$\frac{m}{s^2}$	Grandeza que indica como a velocidade de um corpo varia com relação ao tempo transcorrido
Frequência	hertz	$Hz = \frac{1}{s}$	Número de voltas efetuadas ou oscilações em uma unidade de tempo
Força	newton	$N = \frac{kg \cdot m}{s^2}$	Interação capaz de modificar a velocidade de um corpo ou deformá-lo.
Energia	joule	$J = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$	Da perspectiva da Mecânica, é uma grandeza associada a mudança de posição de um objeto, podendo estar relacionada à velocidade. ³
Potência	Watt	$W = \frac{J}{s}$	É a taxa com a qual uma força transfere energia.

Fonte: INMETRO (2012).

³ O conceito de energia é polissêmico e amplo, sendo difícil estabelecer uma definição simples e única. A definição apresentada é um ponto de partida.

1.3 Grafia de nomes e símbolos das unidades de medidas: as regras oficiais

A maneira como devem ser escritos os nomes e símbolos das unidades é estabelecida pelo Sistema Internacional de Unidades. As principais regras são apresentadas no Quadro 04:

Quadro 04 - Grafia oficial estabelecida pelo Sistema Internacional de Unidades.

REGRA	EXEMPLOS DE APLICAÇÃO
Quando escrito por extenso deve ter inicial minúscula, mesmo no caso de nome de pessoas. ⁴	segundo newton grau Celsius
Para símbolos usar letra minúscula. ⁵	m (metro) h (hora) s (segundo)
Plural das unidades: acréscimo da letra s, quando escrito por extenso. ⁶	metros horas newtons
Não se mistura unidade por extenso com símbolo.	metro/s (incorreto) m/s (correto) metro por segundo (correto)
Os símbolos nunca se flexionam no plural.	1 m (correto) 50 m (correto) 50 ms (incorreto)
Os símbolos das unidades são entidades matemáticas e não abreviações. Desta forma, não devem ser seguidos de ponto, exceto se estiverem localizados no final da frase.	m. (incorreto) s. (incorreto) m (correto) s (correto)
Não é permitida a utilização de abreviações para os símbolos e nomes das unidades.	seg (incorreto) s (correto) hr (incorreto) h (correto)

Fonte: INMETRO (2012).

⁴ O símbolo do litro pode ser expresso por L (maiúsculo) ou l (minúsculo).

⁵ Em caso de nomes deve ter a inicial maiúscula como, por exemplo, a unidade newton é representada pelo símbolo N.

⁶ As unidades que terminam com as letras x, z e s são invariáveis.

Além das normas apresentadas no Quadro 04, vale ressaltar que todas as unidades - tanto de base, quanto derivadas - admitem múltiplos ou submúltiplos.

Quadro 05 – Múltiplos e submúltiplos.

SÍMBOLO DO PREFIXO	NOME DO PREFIXO	VALOR
Y	yotta	10^{24}
Z	zetta	10^{21}
E	exa	10^{18}
P	peta	10^{15}
T	tera	10^{12}
G	giga	10^9
M	mega	10^6
k	quilo	10^3
h	hecto	10^2
da	deca	10^1
d	deci	10^{-1}
c	centi	10^{-2}
m	mili	10^{-3}
μ	micro	10^{-6}
n	nano	10^{-9}
p	pico	10^{-12}
f	femto	10^{-15}
a	atto	10^{-18}
Z	zepto	10^{-21}
y	yocto	10^{-24}

Fonte: INMETRO (2012).

Observação: o uso correto dos símbolos para hora, minuto e segundo ao escrever as medidas de tempo são:

CORRETO	INCORRETO
7 h 34 min 8 s	7:34h
	7h 34' 8"

CAPÍTULO TULO

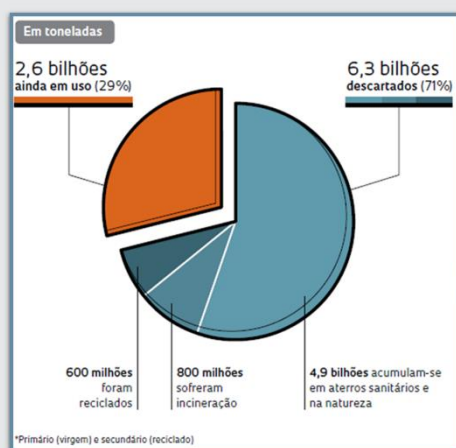
02 ATIVIDADES DIDÁTICAS
PARA O ENSINO MÉDIO

2 CAPÍTULO II: Atividades Didáticas para o Ensino Médio

2.1 Prelúdio

A inserção de novos produtos industrializados, como o plástico, trouxe praticidade ao cotidiano das pessoas, haja vista que embalagens descartáveis, peças e diversos outros artigos plásticos permitiram a segmentação de produtos em pacotes, contribuindo para o fácil manuseio e transporte. Em contrapartida, essa inovação, atrelada ao consumo exacerbado, aumentou demasiadamente a produção de lixo, logo a poluição do planeta tornou-se um dos maiores problemas enfrentados no século 21. Isso é potencializado pelo fato de que a quantidade de lixo é imensa, tornando-se um problema grave, na medida que destrói a natureza de forma frenética.

Embora o plástico tenha promovido inúmeras facilidades à vida e transformado o estilo de vida, a sua alta produção tornou-se fonte de um gigantesco problema ambiental, haja vista que mais de 6 bilhões de toneladas (71 %) é descartado enquanto pouco mais que a milésima parte dessa quantidade é reciclado ou adequadamente incinerado, como pode ser observado na Figura 10.



Fonte: Vasconcelos (2019). Crédito: Alexandre Affonso/Pesquisa FAPESP.

FIGURA 10

O destino do plástico.

Assim, a produção e a utilização descontrolada de produtos de plástico resultam em uma enorme quantidade de lixo gerada. Este material, na maioria das vezes, não tem descarte correto, gerando poluição em todas as partes do planeta, ou seja, nos solos, nos rios e nos oceanos, como ilustrado na Figura 11.



FIGURA 11

Resíduos plásticos em ambientes costeiros.

Fonte: PESQUISA FAPESP (2019). Crédito: Alexandre Affonso/Pesquisa FAPESP.

O que muitos não sabem é que os pedaços microscópicos de plásticos já foram encontrados no ar que respiramos, na água que bebemos e em diversos alimentos consumidos pelo homem. Inclusive, esses microfragmentos de plástico estão alterando os ecossistemas, modificando diversas formas de vida. Inclusive, vários animais, infelizmente, acabam ingerindo parte desses fragmentos.

Além da poluição por resíduos sólidos, a poluição luminosa está tornando-se alvo de debates e discussões promovidos por ambientalistas e por astrônomos, uma vez que a iluminação artificial excessiva prejudica a capacidade de observar as estrelas, comprometendo as pesquisas científicas que ampliam o conhecimento acerca do Universo. Além do mais, prejudica o meio ambiente, visto que, a poluição luminosa altera o período de floração, e, conseqüentemente, a produção de frutos. Prejudica, ainda, animais que necessitam da luz para orientação em seu ciclo de vida.

As atividades propostas apresentadas nas próximas seções buscam relacionar a padronização das unidades de base do Sistema Internacional de Unidades com o problema da poluição. Para tanto, selecionamos textos que abordam diversos tipos de poluição, a fim de associar este problema a diferentes práticas experimentais, e a questões para discussão em grupo, as quais pretendem explorar a construção da quantidade em diferentes escalas, ou seja, a capacidade de estimar e dimensionar com um bom grau de precisão. Textos explicativos são incluídos sempre que necessário.

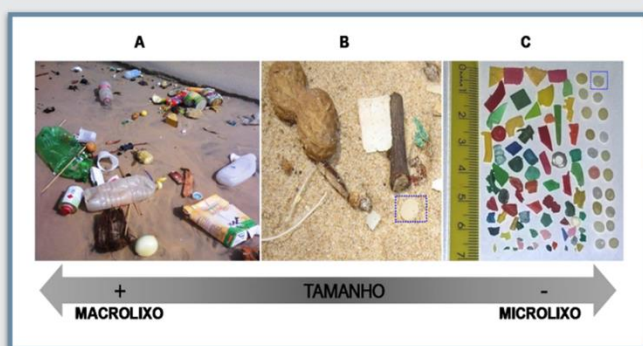
2.2 Atividades

2.2.1 Padronização de massa e comprimento

TEXTO I: O descarte do plástico no meio ambiente

O comportamento de consumo foi modificado drasticamente com a invenção do plástico, o que fez o mundo entrar na Era dos descartáveis. Acesso a baixo custo, versatilidade e resistência foram decisivos para o crescimento exponencial na sua fabricação. No entanto, o seu descarte tem aumentado proporcionalmente à sua produção. Nesse contexto, vale lembrar que esse resíduo não sofre degradação biológica, apenas degradação mecânica (quando exposto ao Sol), o que faz com que itens grandes sofram fragmentação progressiva até se tornarem minúsculos pedaços que permanecem onipresentes, logo perduram em praticamente todos os ambientes naturais.

Segundo os dados da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) uma agência científica americana, apenas 20% da poluição oceânica vem de atividades marítimas, a maioria (80%) é resultado direto de atividades terrestres (UNEP, 2009). Os resíduos atingem os ambientes costeiros e o mar por meio de esgotos e lixões instalados irregularmente perto de rios ou, muitas vezes, por meio dos próprios usuários de praias, que deixam resíduos na areia.



Fonte: Araújo (2016, P. 76). Crédito: Christina Araújo.

FIGURA 12

Macrolixo e microlixo em ambientes costeiros.

Na Figura 12 temos em A, o macrolixo composto por plásticos e outros itens acumulados em uma praia. Em B temos detalhes de uma esfera plástica conhecida como nib ou pellet

(indicado pela linha azul). Já em C temos fragmentos e esferas recolhidas na areia de uma praia. As esferas plásticas (pellets) são usadas como matéria-prima para a fabricação de artigos plásticos. Elas chegam às praias e ao mar principalmente devido às perdas nos transportes (navios); como em geral são branco-leitosas ou transparentes, tornam-se quase imperceptíveis nessas áreas naturais.

Araújo e Cavalcante. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, jan/maio de 2016. Adaptado.

TEXTO II: Dieta indigesta: milhares de animais marinhos estão consumindo plástico

A poluição marinha proveniente de resíduos sólidos é causada por uma sequência complexa de eventos que incluem o consumo excessivo de material descartável até a ineficiência para lidar com esses resíduos.

O resíduo plástico é uma das maiores ameaças à vida nos oceanos, inclusive provoca o aprisionamento de animais marinhos, uma das consequências mais evidentes dessa forma de poluição. Assim, os animais que vivem perto do homem nas áreas costeiras estão mais sujeitos a sofrer os impactos da poluição marinha, mas as espécies que vivem longe das praias também são afetadas.

Santos. Ciência Hoje, março de 2006. Adaptado.

Com todos os problemas causados pelo descarte do plástico, nas nossas próximas aulas vamos estudar e quantificar um pouco desse problema!

Primeira etapa

Utilizar equipamentos de medidas é um modo de avaliar a organização do mundo e ampliar a capacidade dos “instrumentos do corpo humano”. Por exemplo, o telescópio e o microscópio nos permitem chegar aonde a visão natural não alcança; o termômetro possibilita uma verificação mais adequada da temperatura de uma pessoa febril do que nosso tato; uma régua fornece indicações mais precisas sobre um comprimento do que pés ou polegadas. Porém, os valores obtidos não são absolutos; afinal existem limitações nos equipamentos e

processos utilizados. Assim, é importante compreender como trabalhar com os desvios ou com erros das medidas.

Pietrocola, M. et al. Física em contextos, 1: ensino médio. São Paulo: Editora do Brasil, 2016, p. 25.



FIGURA 13

Pilhas de folhas.

Fonte: O autor (2020).

1. Na mesa do professor há três pilhas de papéis. Olhando para elas, escreva as diferenças e semelhanças entre elas?

Sugestão: folhas A4 com as seguintes especificações: 75 g/m², 120 g/m² e 180 g/m².

Após a análise, vamos medir a massa e a espessura de uma unidade de cada tipo de folha de papel. Para isso, vocês dispõem dos seguintes materiais:

- Uma balança de precisão.
- Um paquímetro.
- Três blocos de papéis de diferentes espessuras

Você acredita que se apenas colocar a folha de papel em cima da balança será possível medir a sua massa? Alguns detalhes, no entanto, merecem atenção:

- I. Para medir a massa, é preciso utilizar um equipamento.
- II. A medida deve ser dada de forma quantitativa.



Fonte: O autor (2020).

FIGURA 14

Balança eletrônica digital comercial de precisão.



Fonte: O autor (2020).

FIGURA 15

Paquímetro

2 Como é possível medir a massa de uma unidade de folha de papel? Elabore um procedimento para medir a massa de uma unidade de folha de papel de cada uma das pilhas e depois faça o teste. Escreva suas hipóteses. (Utilize os materiais entregues pelo professor).

3 Os valores de massa do papel encontrados em todos os grupos são idênticos? Justifique.

4 Como é possível medir a espessura de uma unidade de folha de papel? Elabore um procedimento para medir a espessura de uma unidade de folha de papel de cada uma das pilhas e depois faça o teste. Escreva suas hipóteses. (Utilize os materiais entregues pelo professor).

5 Os valores de espessura do papel encontrados em todos os grupos são idênticos? Justifique.

O papel é fabricado a partir de uma substância denominada celulose retirada de uma árvore chamada eucalipto. O seu tempo de degradação no meio ambiente é cerca de 6 meses. Já o plástico é um polímero⁷, que, em sua maior parte, tem origem no petróleo como, por exemplo, o polietileno de baixa densidade (PEBD), utilizado na fabricação de sacolas de supermercado e também nas embalagens de absorventes higiênicos. O seu tempo de degradação é de cerca de 100 anos.

Segunda etapa

Em grupos pequenos, vamos medir a massa das partes plásticas de uma unidade de absorvente higiênico. Para isso, vocês dispõem dos seguintes materiais:

- Uma balança de precisão
- Um pacote de absorvente higiênico

Cada grupo deve propor um procedimento para obtenção da massa de plástico contida em uma unidade de absorvente. Em seguida, deve-se testar o método proposto pelo grupo e ver a pertinência de sua utilização para tal tarefa.

⁷ Polímeros são macromoléculas formadas pela repetição de muitas unidades químicas iguais.

Para fazer medidas de pequenas massas temos que medir várias unidades do objeto a ser medido e dividir pela quantidade de objetos utilizados. Isso é necessário, pois o instrumento utilizado, a balança, não tem precisão necessária para medir a massa de uma única unidade do objeto, por se tratar de uma massa muito pequena. Vale lembrar que todo equipamento tem suas limitações, em geral há uma estimativa de erro informada pelo fabricante.

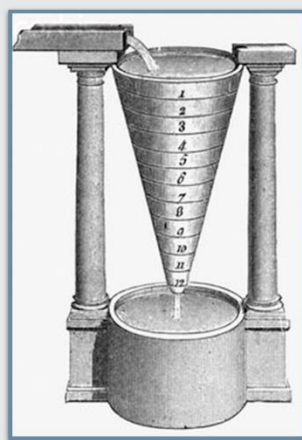
2.2.2 Padronização do tempo

O tempo sempre fez parte da vida do ser humano. Ao longo da História, utilizamos calendários, ampulhetas, relógios e outros instrumentos cronológicos, a fim de medirmos o tempo ao nosso redor, como um simples plantar e colher um alimento. Hoje, os relógios marcam e ditam o ritmo do dia a dia dos indivíduos.

TEXTO I: Crônicas sobre o tempo

Os egípcios e babilônicos começaram a medir o tempo há pelo menos 5 mil anos. Essas duas civilizações produziram calendários para organizar e coordenar atividades comunitárias e cerimônias públicas, marcar as datas de embarque de produtos e regular o plantio e a colheita.

A necessidade de marcar as divisões do dia e da noite fez antigos egípcios, gregos e romanos criarem relógios de sol, de água e outros instrumentos cronológicos.



Fonte: Modificado de Descargando la Memoria (2010).

FIGURA 16

Clepsidra. A água escorre pelo fundo e a altura da água restante no interior do dispositivo indica a hora.

Por volta do século 18, o interesse em um instrumento confiável de medição do tempo levou os artesãos medievais à criação do relógio mecânico.

Hoje, aperfeiçoados instrumentos de medida do tempo marcam o ritmo da maioria de nossos aparelhos eletrônicos. Praticamente todos os computadores, por exemplo, têm um relógio de quartzo que regula suas operações. Os sinais de marcação do tempo transmitidos pelo Sistema de Posicionamento Global (GPS, na sigla em inglês) não se limitam a ajustar as

funções de equipamentos de navegação altamente precisos. Eles estão presentes em smartphones, sistemas instantâneos de transações com valores e em redes nacionais de distribuição de eletricidade.

Há também os relógios de césio, criados no século 20, que são capazes de medir até as alterações no movimento giratório da Terra. Com essa nova descoberta mostrou-se necessário uma mudança na definição do segundo, com base na frequência de ressonância do átomo de césio. Assim, a padronização do tempo foi adotada em 1967.

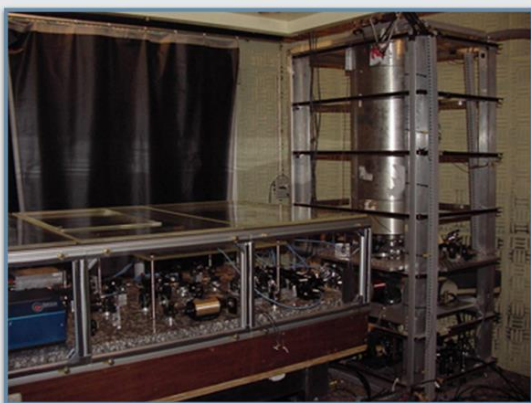
ANDREWES, W. Uma crônica do registro do tempo. *Scientific American Brasil*, p. 88-97, out/2002. Adaptado.



Fonte: Eduardo de Moraes Ferracioli.

FIGURA 17

Ampulheta, instrumento de medida de tempo.



Fonte: IFSC (2012)

FIGURA 18

Relógio de césio localizado no Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Primeira etapa

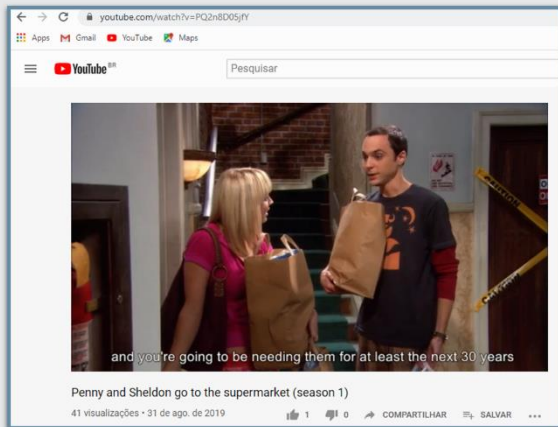


FIGURA 19

Série The Big Bang Theory, quarto episódio da primeira temporada

Fonte: The Big Bang Theory (2019)

1. Pensando no vídeo a que assistiram, referente a um trecho de um episódio da série The Big Bang Theory (o quarto episódio da primeira temporada), faça uma estimativa da quantidade de absorvente higiênico utilizado por uma mulher durante sua vida fértil (aproximadamente 30 anos).

Segunda etapa

1. Estime a massa de plástico que uma mulher descarta durante um período fértil, durante um ano e durante a vida fértil (aproximadamente 30 anos, desconsiderando a gravidez). Explique o seu raciocínio.

De acordo com os dados do IBGE, a população do município de Franca, no último censo, em 2010, era de 318.640 pessoas. A população do sexo feminino distribuiu-se da seguinte forma:

Quadro 06 – População do sexo feminino no município de Franca/SP, no censo de 2010

GRUPO DE IDADE	NÚMERO DE PESSOAS
0 a 4 anos	10.670
5 a 9 anos	11.297
10 a 14 anos	12.943
15 a 19 anos	13.401
20 a 24 anos	14.226
25 a 29 anos	13.701
30 a 39 anos	25.245
40 a 49 anos	23.403
50 a 59 anos	18.082
60 a 69 anos	11.177
70 anos ou mais	9.031

Fonte: IBGE.

1. Consultando a tabela faça uma estimativa sobre a quantidade de plástico de absorvente descartada pela população de mulheres, em idade fértil, residentes no município de Franca, no período de um ano.

Terceira etapa

2. Sabemos que parte dos plásticos descartados pela população, de alguma forma, chegam aos oceanos prejudicando o habitat marinho. O que podemos fazer para reduzir a quantidade de plástico proveniente de absorventes higiênicos descartados?

O estado de São Paulo aprovou uma lei que proíbe o fornecimento de canudos plásticos em estabelecimentos comerciais, hotéis e eventos musicais de qualquer espécie, conforme o Art. 1º da Lei nº 17.110, de 12 de julho de 2019 (São Paulo (Estado), 2019). Equitativamente, o município de São Paulo aprovou uma lei que proíbe o fornecimento de materiais feitos de plástico de uso único, a partir de 2021, instituída pelo Art. 1º da Lei nº 17.261 de 13 de janeiro de 2020 (São Paulo (SP), 2020).

Estas medidas visam à redução de produtos de plástico de uso único, uma vez que, esses materiais não são essenciais para a nossa vida, no entanto, são muito prejudiciais ao meio ambiente.

Quarta etapa

O vídeo a que iremos assistir mostra que a nossa necessidade da precisão mudou os rumos da ciência. Mas por que tais níveis de precisão são tão importantes? Por que medir a massa é tão importante? Vamos discutir essas e outras questões ao assistir o vídeo, que mostra como surgiram as primeiras padronizações do quilograma e porque surgiu a necessidade de mudar sua padronização em 2019. Além disso, o vídeo mostra alguns grupos de pesquisa que trabalham para encontrar um método para padronizar o quilograma, pela balança de Watt e o projeto Avogadro. Para assistir ao vídeo basta acessar o link:

<https://www.youtube.com/watch?v=O11YjZYJV6U>

2.2.3 Padronização da corrente elétrica

Você já parou para pensar em como uma balança consegue medir massa? Quais os dispositivos e fenômenos estão ocorrendo dentro da balança possibilitando as medidas de massa? Nesta atividade iremos abrir a “caixa preta”, ou melhor, a balança, e descobrir todas essas respostas.

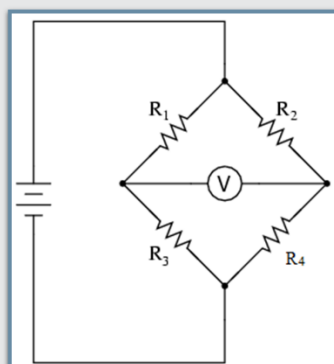
**FIGURA 20****Balança desmontada.**

Fonte: O autor (2020).

Para tanto, vamos fazer a leitura do Texto I que fala de um método utilizado para medir massa através de um circuito elétrico.

TEXTO I: Extensômetro

A ponte de Wheatstone é um dos meios utilizados para medida de resistências elétricas. É um circuito na forma de um losango.

**FIGURA 21****Ponte de Wheatstone.**

Fonte: O autor (2020).

É um recurso utilizado para medir resistências muito pequenas ou muito grandes, quando instrumentos comuns podem falhar. Estes exigem uma corrente para funcionar e, com isso, ocorre uma alteração na medida.

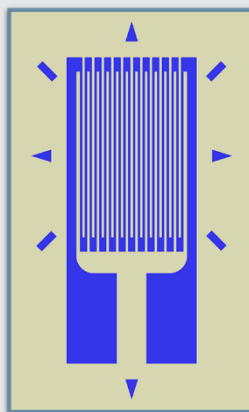


FIGURA 22
Extensômetro elétrico de resistência variável.

Fonte: Extensômetro, Wikipedia (2020).

Em um extensômetro a resistência elétrica varia de modo proporcional ao valor da deformação do corpo da superfície ao qual ele está fixado. Para medir resistências, como estas são baseados no circuito de ponte de Wheatstone, que consistem em uma rede formada por quatro braços resistivos e uma tensão de excitação, V_{EX} , conforme Figura 22, que produz uma variação de tensão elétrica em função da variação da resistência do extensômetro.

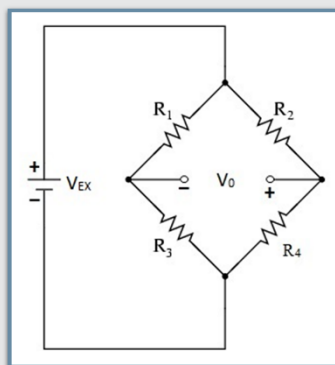


FIGURA 23
Extensômetro configurado em circuito de ponte de Wheatstone para detectar pequenas variações de resistência.

Fonte: O autor (2020).

Na balança de cozinha digital podemos verificar o extensômetro ao desmontá-la, conforme verificado na Figura 23.



FIGURA 24
Extensômetro em uma
balança de cozinha digital

Fonte: O autor (2020).

Primeira etapa

Em um resistor foram feitas medidas da tensão elétrica em função da corrente elétrica e registrado na tabela abaixo:

MEDIDA	TENSÃO ELÉTRICA (V)	CORRENTE ELÉTRICA (mA)	CORRENTE ELÉTRICA (A)
1	0,00	0,00	
2	1,00	20	
3	2,00	40	
4	3,00	60	
5	4,00	80	
6	5,00	100	
7	6,00	120	
8	7,00	140	
9	8,00	160	
10	9,00	180	
11	10,00	200	
12	11,00	220	
13	12,00	240	
14	13,00	260	
15	14,00	280	

1. Complete a tabela com os valores da corrente elétrica, em amperes.
2. Construa o gráfico $U(V)$ em função da corrente elétrica (mA) no papel milimetrado.
3. Determine o valor da resistência elétrica.

Para que equipamentos sejam confiáveis é necessário que estejam calibrados. Mas, afinal o que é calibração?

A calibração é o conjunto de operações que estabelece a relação entre os valores indicados no processo de medição e os valores correspondentes das grandezas padronizadas. Neste caso, os valores de medição podem ser indicados por uma medida materializada, por um instrumento de medição, por um sistema de medição, ou por um material de referência.

Segunda etapa

Para que uma balança faça medidas com exatidão é necessário fazer a sua calibração, sendo que a relação entre o equilíbrio de tensão elétrica e a força que se submete a célula de carga deverá ser linear.

Em um teste para calibrar uma balança foram medidos a tensão elétrica, U (μV), em função da massa m (g) e os valores estão dispostos na tabela abaixo

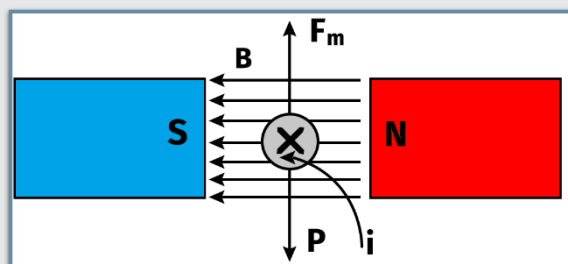
EVENTO	TENSÃO ELÉTRICA (μV)	MASSA (g)
1	0,0	0,0
2	40	120,0
3	90	270,0
4	120	360,0
5	180	540,0
6	210	630,0
7	240	720,0
8	290	870,0
9	330	990,0
10	380	1140,0

Construa o gráfico U (μV) em função da massa (g) e verifique se há linearidade.

Balança de Ampère

A balança de Ampère ou balança de corrente é um dispositivo que permite detectar e medir variações nas forças magnéticas que atuam em um condutor elétrico quando este é submetido à passagem de corrente elétrica.

O seu princípio de funcionamento é semelhante a uma balança mecânica comum, no qual o condutor metálico é fixo a base, enquanto o braço móvel é suspenso por um eixo que consiste numa ponta de grafite presa a um poste fixo na base. Dependendo do sentido da corrente elétrica, a força magnética poderá estar no mesmo sentido da força peso ou no sentido oposto.



Fonte: O autor (2020).

FIGURA 25

Esquema de forças magnética e gravitacional sobre o pedaço de um fio.

Uma balança acoplada ao pedaço de fio pode ser utilizada para medir a força magnética em função da corrente elétrica. Se a força magnética apontar para baixo, o equilíbrio será obtido quando o valor dessa força somado ao peso do fio for igual à força vertical para cima exercida pela balança.

2.2.4 Padronização da temperatura termodinâmica

As medidas de temperatura são importantíssimas no nosso cotidiano, visto que a maioria dos fenômenos físicos e químicos dependem da temperatura.

Nesse viés, observa-se que para o preparo de alimentos é essencial o controle de temperatura, assim como para conservar os alimentos em um refrigerador. Na medicina, alterações na temperatura do corpo indicam a existência de alguma alteração no nosso corpo como, por exemplo, uma infecção.

Na indústria também há preocupação com medidas de temperatura, como podemos verificar nas indústrias automobilísticas, as quais necessitam de um controle da temperatura dos motores. Já na área de eletrônica, a preocupação é o controle da temperatura dos componentes para não ocorrer um superaquecimento.

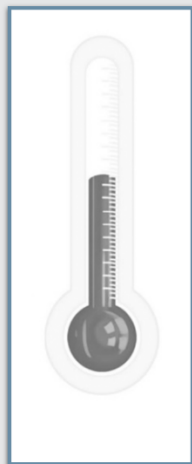
Para tanto, os termômetros tiveram um salto conceitual e qualitativo no século XIX, com o desenvolvimento do termômetro a gás a volume constante, o que possibilitou Kelvin a estabelecer, em 1848, a escala absoluta.

TEXTO II: TERMÔMETROS

A utilização de extensômetros também permite controlar a variação de temperatura.

Falando nisso, vocês sabem como foram definidas as escalas de temperatura?

Pensem em um termômetro de mercúrio, num tubo capilar de vidro fechado e evacuado, com o bulbo numa extremidade, contendo mercúrio, que é a substância termométrica. O volume V do mercúrio é medido através do comprimento l da coluna líquida.



Fonte: Eduardo de
Morais Ferracioli

FIGURA 26

Termômetro de mercúrio.

A definição da escala Celsius de temperatura foi associada à escolha de dois pontos fixos correspondentes a temperaturas bem definidas, uma delas sendo a do gelo em fusão e a outra a da água em ebulição.

Na escala Celsius, assinalamos arbitrariamente as temperaturas:

Ponto de vapor: $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Ponto do gelo: $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$

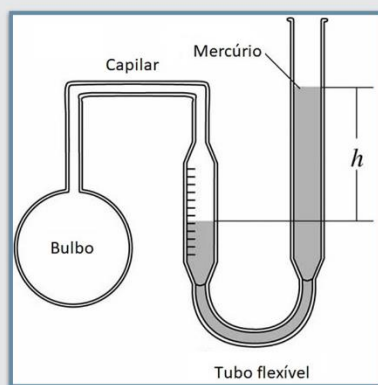
Para calibrar o termômetro de mercúrio nesta escala, convencionamos a seguir que T e o comprimento l da coluna guardam entre si uma relação linear. Assim, se l_{100} e l_0 são os comprimentos no ponto do vapor e no ponto do gelo, respectivamente, e l é o comprimento quando em equilíbrio térmico cuja temperatura queremos medir, assinalamos a T o valor.

$$T = \frac{l - l_0}{l_{100} - l_0} (^{\circ}\text{C})$$

Isto equivale a dividir a escala entre l_0 e l_{100} em 100 partes iguais, cada subdivisão correspondendo a $1/^{\circ}\text{C}$, ou seja, equivale a definir a dilatação da coluna de mercúrio como sendo linear com T .

Termômetro a gás a volume constante

Usando como substância termométrica um gás, poderíamos tomar como propriedade termométrica o volume constante.



Fonte: Modificado de Nussenzweig (2002).

FIGURA 27

Termômetro de gás a volume constante.

O gás, normalmente hidrogênio, enche um bulbo e um tubo capilar ligado a um manômetro de mercúrio de tubo aberto. O tubo flexível permite suspender ou abaixar o nível de mercúrio no ramo da direita de tal forma que o nível do ramo da esquerda permaneça numa marca fixa N, definindo um volume V constante ocupado pelo gás.

O bulbo é colocado em contato térmico com o sistema cuja temperatura pretende-se medir, e a seguir é medida a pressão P do gás, dada por

$$P = p_0 + \rho gh$$

Onde p_0 é a pressão atmosférica, ρ é a densidade do mercúrio e h é o desnível entre o mercúrio contido no ramo da direita e no da esquerda.

Logo, seu princípio de funcionamento baseia-se no fato experimental que a pressão de um gás, mantido a volume constante, aumenta linearmente com a temperatura.

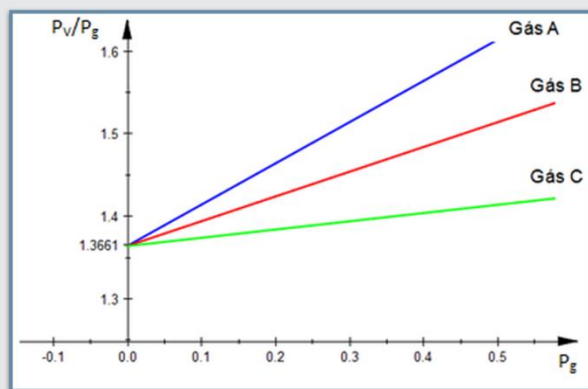


FIGURA 28
 Comparação com gases diferentes.

Fonte: Zero absoluto, Wikipedia (2020).

Para gases diferentes, as retas são diferentes, mas, se extrapolarmos as retas para pressões tendendo a zero, o resultado é que todas as retas interceptam o eixo no mesmo ponto.

Para medir uma temperatura na escala Kelvin com o auxílio do termômetro de gás a volume constante, medimos a pressão P correspondente, extrapolada para pressão tendendo a zero, sendo que, em todos os casos, a pressão vai a zero quando a temperatura é de $-273,15\text{ }^\circ\text{C}$.

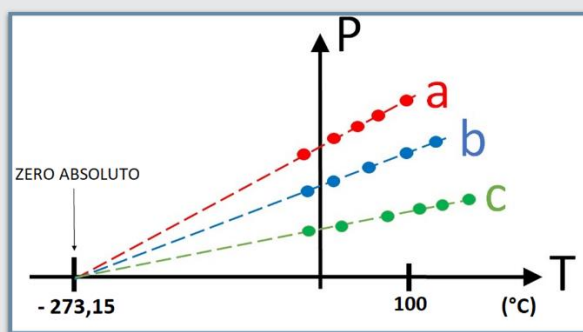


FIGURA 29
 Extrapolação de retas com diferentes gases.

Fonte: Modificado de Gás thermometer, wikipedia (2019).

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor. 4ª edição, São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2002. Adaptado.

Escala de temperatura

Para uma temperatura ficar completamente definida é necessário associá-la a um número.

A fixação de uma escala de temperatura começa com a escolha do termômetro, ou seja, de um sistema dotado de uma propriedade que varie regularmente com a temperatura, a propriedade termométrica, no qual, cada valor corresponderá a um único valor de temperatura. Essa equação é explicitamente indicada na chamada equação termométrica.

A equação universal adotada é do tipo:

$$t(x) = ax + b$$

Onde t é a temperatura da substância utilizada e que muda com a propriedade x da substância. Os valores a e b são constantes que dependem da substância utilizada e podem ser calculadas especificando dois pontos na escala de temperatura, que normalmente são:

- Ponto do gelo: sistema gelo – água sob pressão normal (1 atm).
- Ponto do vapor: sistema água – vapor de água sob pressão normal (1 atm).

A equação termométrica nos permite associar um número (a temperatura) a um certo valor medido x , da propriedade termométrica, ou seja, permite associar um valor correspondente de t a um dado valor de x .

Para relacionar as escalas de temperatura basta considerar o teorema de Thales.

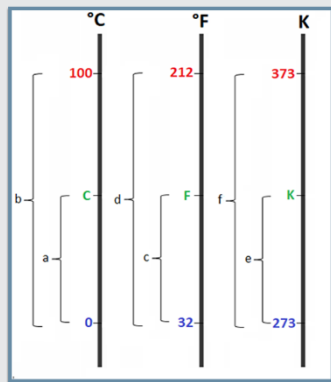


FIGURA 30

Teorema de Thales aplicado às escalas Celsius, Fahrenheit e Kelvin.

Fonte: O autor (2020).

Assim, temos a equação:

$$\frac{a}{b} = \frac{c}{d} = \frac{e}{f} \Rightarrow \frac{C - 0}{100 - 0} = \frac{F - 32}{212 - 32} = \frac{K - 273}{373 - 273} \Rightarrow \frac{C}{100} = \frac{F - 32}{180} = \frac{K - 273}{100}$$

De forma simplificada temos:

$$\frac{C}{5} = \frac{F - 32}{9} = \frac{K - 273}{5}$$

Primeira etapa

1. Vamos criar uma escala de temperatura chamada escala ROTONDO ($^{\circ}\text{R}$). Para tanto, temos que o seu ponto do gelo é -10°R e o seu ponto do vapor é 110°R . Determine uma equação de conversão, utilizando o teorema de Thales, entre as escalas Rotondo e Celsius

- 2 Complete a tabela abaixo, construa o gráfico da temperatura ($^{\circ}\text{R}$) em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e verifique se há linearidade entre as escalas.

EVENTO	TEMPERATURA ($^{\circ}\text{C}$)	TEMPERATURA ($^{\circ}\text{R}$)
1	5	
2	10	
3	15	
4	20	
5	25	
6	30	
7	35	
8	40	
9	45	
10	50	

A nova definição do kelvin foi estabelecida na 26^a CGPM e baseia-se em medidas quânticas de movimento atômico e está ligada à constante de Boltzmann que relaciona a energia de um objeto à sua temperatura. Um dos colaboradores é o professor da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Felix Sharipov. Para tanto, a constante de Boltzmann teve o seu valor fixado em $1,380649 \times 10^{-23}$ J/K, resultado de medidas realizadas por seis grupos internacionais entre 2011 e 2017.

Os experimentos que mediram a constante de Boltzmann foram aprimorados dos instrumentos e métodos desenvolvidos por Michael Moldover, do NIST (Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia, do inglês National Institute of Standards and Technology), e seus colaboradores.



FIGURA 31

Ressonador acústico utilizado para determinar a constante de Boltzmann.

Fonte: Moldover (2017). Crédito da imagem: INRiM, NPL, LCN-LNE.

No experimento, os pesquisadores mediram a velocidade do som com o gás em diversas temperaturas, permitindo medidas da constante de Boltzmann.

2.2.5 Padronização da Intensidade Luminosa

A iluminação criou uma nova perspectiva para a noite, pois é possível fazer as mesmas coisas que fazemos durante o dia como, por exemplo, ir à escola ou à faculdade, passear e fazer compras.

Quando vamos comprar uma lâmpada para nossa casa, lemos nas embalagens a unidade de medida lúmens, que indica a quantidade de luz medida através de um ponto emissor de luz. A intensidade luminosa é medida em candela, que está relacionada à distribuição uniforme que incide de um ponto a um determinado local. E para saber qual lâmpada é a melhor opção para comprar, veremos em uma atividade o que é a eficiência luminosa.

TEXTO I: Você sabe o que é poluição luminosa?

Toda a iluminação artificial utilizada de modo excessivo e inapropriado para o seu objetivo, visto que provoca a chamada Poluição Luminosa.

O que talvez você não saiba é que a poluição luminosa tem sérias consequências ambientais, afeta a nossa saúde e constitui um prejuízo econômico significativo para todos os cidadãos. Portanto, é necessário aprender a identificá-la e combatê-la. Além disso, por conta da iluminação artificial excessiva, estamos perdendo a capacidade de observar as estrelas.

A luz artificial mal planejada compromete o alto investimento em observatórios astronômicos profissionais e, conseqüentemente, a realização de pesquisas científicas que ampliam o nosso conhecimento acerca do Universo, nos fazem refletir de maneira crítica sobre o nosso papel nele e levam ao desenvolvimento tecnológico, garantindo a melhoria na qualidade de vida da humanidade.

DOMINICI, T.; GARGAGLIONE, S. Identificação e combate à Poluição Luminosa. Apostila preparada pelo Laboratório Nacional de Astrofísica. Disponível em: http://www.lna.br/lp/apostila_pl.pdf. Adaptado.

TEXTO 2: Impactos ambientais da poluição luminosa

No meio ambiente, a iluminação excessiva afeta os ciclos migratórios, alimentares e reprodutivos de diversas espécies de animais.

A poluição luminosa pode causar a desorientação de organismos que dependem de um ambiente escuro para se locomoverem. Um dos exemplos mais conhecidos é o dos filhotes de tartarugas marinhas que saem dos seus ninhos nas praias. Normalmente, os filhotes movem-se no sentido contrário aos ambientes escuros e baixos, vão em direção ao oceano, sutilmente iluminado pelas estrelas e pela Lua. Com a presença de luzes artificiais na praia, os filhotes não conseguem diferenciar os ambientes, resultando em desorientação.

Invertebrados também podem sofrer os efeitos da poluição luminosa, particularmente insetos como as mariposas, que são atraídas pela luz. As fêmeas dos vagalumes atraem os machos a 45 metros de distância com flashes de bioluminescência, mas a presença de luz artificial reduz a visibilidade, prejudicando a reprodução.

A poluição luminosa altera o período de floração de plantas, comprometendo o balanço natural na produção de frutos e de outros alimentos.

Várias espécies de pássaros migram durante a noite, orientados pelas constelações e a luz da Lua. No entanto, eles são confundidos pela iluminação dos prédios e acabam por colidir.

**FIGURA 32**

Pássaros mortos na cidade de Toronto (Canadá) devido à colisão com edifícios

Fonte: Dominici (2012). Crédito da imagem: Kenneth Herdy/FLAP, www.flap.org.

Estima-se que, apenas na América do Norte, 100 milhões de pássaros são mortos todos os anos em colisões com prédios.

Adicionalmente aos prejuízos pela iluminação irracional em si, alguns elementos utilizados em lâmpadas podem ocasionar grandes impactos ambientais quando do seu

descarte. Entre eles estão o mercúrio, bário, chumbo, cádmio, índio, sódio, estrôncio e vanádio que estão presentes nas lâmpadas de cátodo oco, que para adquirir o estado excitado necessitam da colisão do átomo com partículas aceleradas.

DOMINICI, T.; GARGAGLIONE, S. Identificação e combate à Poluição Luminosa. Apostila preparada pelo Laboratório Nacional de Astrofísica. Disponível em: http://www.lna.br/lp/apostila_pl.pdf. Adaptado.

Primeira etapa

1. Observe as imagens. Qual a diferença entre as iluminações?

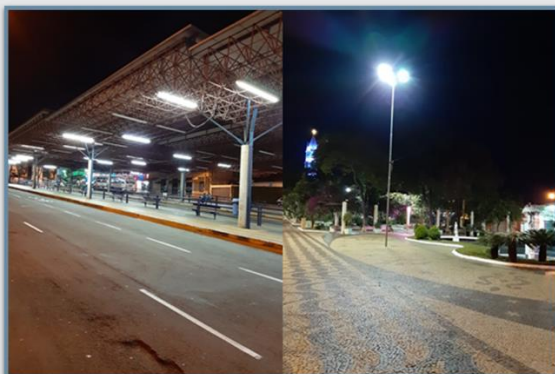


FIGURA 33

Algumas localidades da cidade de Franca/SP

Fonte: O autor (2020).

2. Temos um refletor de LED e vamos iluminar a parede. O que acontece com o foco de luz se afastarmos da parede?

3. Temos um refletor de LED e vamos iluminar a parede. O que acontece com o foco de luz se aproximarmos da parede?

Segunda etapa

As lâmpadas fluorescentes vêm sendo substituídas gradualmente por lâmpadas de LED. Isso se deve ao fato destas apresentarem maior durabilidade, não promovem o aquecimento dos ambientes internos e causam menos impactos ambientais, pois são livres de mercúrio. Porém, será que as lâmpadas de LED são realmente mais vantajosas? Para responder essa questão vamos comparar algumas lâmpadas fluorescentes e de LED.



Fonte: O autor (2020).

FIGURA 34

Lâmpadas de LED e fluorescente.

Antes vamos relembrar alguns conceitos:

Fluxo luminoso: é a potência de radiação total emitida por uma fonte de luz, ou é a potência de energia luminosa de uma fonte percebida pelo olho humano. Sua unidade de medida é o lúmen (lm).

Eficiência luminosa: é a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada e a potência elétrica desta lâmpada. Sua unidade de medida é o lúmen por watt (lm/W).

1. Cada grupo recebeu quatro caixas de lâmpadas (LED e fluorescente). Identifique o selo PROCEL ou ENCE e preencha a tabela abaixo.

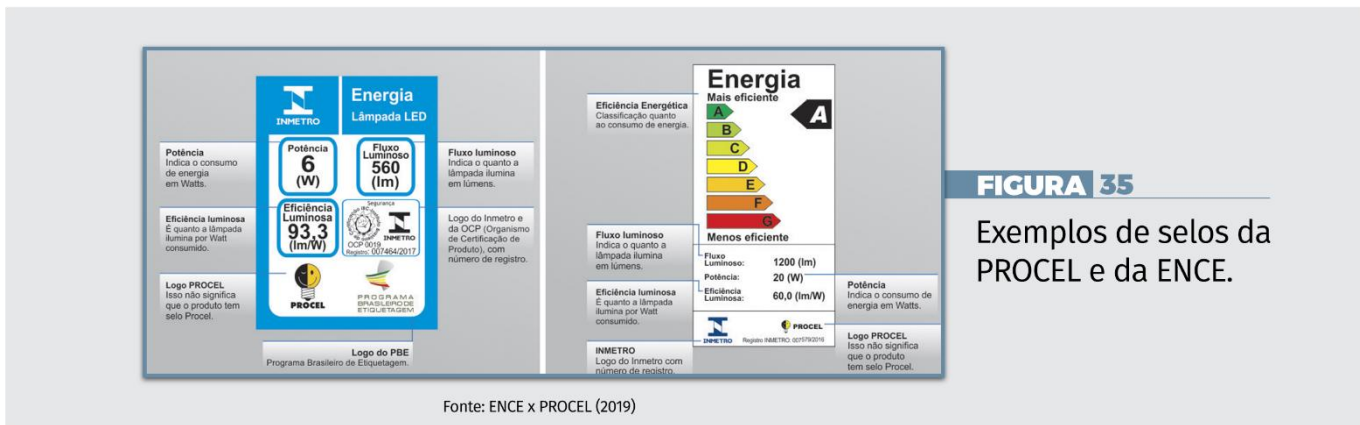


FIGURA 35
Exemplos de selos da PROCEL e da ENCE.

LÂMPADA	EFICIÊNCIA LUMINOSA (lm/W)	POTÊNCIA (W)	FLUXO LUMINOSO (lm)	TIPO DE LÂMPADA (LED/FLUORESCENTE)
1				
2				
3				
4				

2. De acordo com os dados coletados, qual a lâmpada que possui maior eficiência luminosa? Explique sua resposta.

3. Sabendo que cada lâmpada fica ligada 5 horas por dia e que o valor de 1 kWh é igual a R\$0,80, faça os cálculos do consumo diário e mensal e registre na tabela.

LÂMPADA	GASTO DIÁRIO (kWh)	GASTO DIÁRIO (R\$)	GASTO EM 30 DIAS (kWh)	GASTO EM 30 DIAS (R\$)
1				
2				
3				
4				

4. De acordo com os dados que vocês calcularam e registraram na tabela, pensando em economia, qual o tipo lâmpada mais vantajoso, Led ou fluorescente? Justifique sua resposta.

5. Agora vamos pensar nas vantagens e desvantagens de cada tipo de lâmpada. Para isso, releia o texto de apoio e as tabelas, então preencha a tabela de comparação.

TIPO DE LÂMPADA	VANTAGENS	DESvantagens
Fluorescente		
LED		

Pensando na lâmpada como uma máquina que transforma energia elétrica em energia luminosa, quanto à eficiência das lâmpadas, temos que a incandescente possui um rendimento de 5%, já a lâmpada fluorescente 40% e a lâmpada de LED cerca de 80%.

Fique ligado

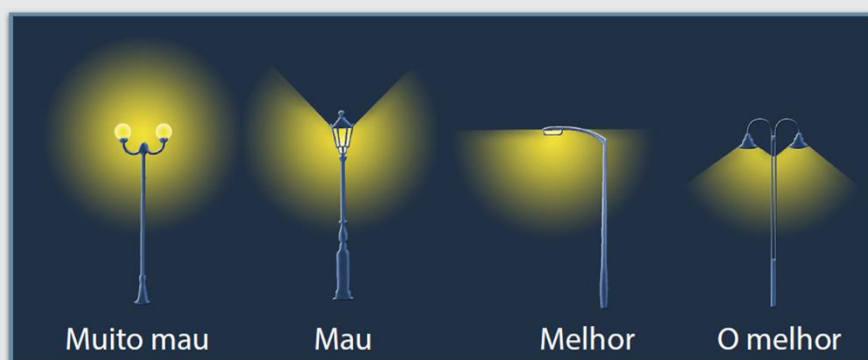
As lâmpadas incandescentes foram substituídas gradualmente por lâmpadas fluorescentes e, posteriormente por LED branco de 4000 K. Com isso, a população ganhou com economia de energia elétrica, longa vida útil e com uma qualidade maior da iluminação, uma vez que a eficiência dessas novas lâmpadas é maior.

No entanto, como o consumo da iluminação por LED é menor, está sendo utilizado um número maior de lâmpadas, tornando os locais mais iluminados, ou seja, uma iluminação desnecessária, contribuindo, desta maneira, para a poluição luminosa.

Ademais, os LED possuem um forte componente azul em seu espectro, que é um grande problema, pois se espalha facilmente na atmosfera, agravando a poluição luminosa, prejudicando as pesquisas astronômicas. Além disso, também afeta a saúde pública, causando problemas no sono e na produção de melatonina, que é uma hormona que faz com que sintamos sonolentos (UAI, 2018).

Uma solução para esse problema é a utilização dos LED âmbar ou os LED de banda estreita, pois causam menos impactos nas pesquisas astronômicas, nos ecossistemas e na saúde pública, uma vez que seus espectros não são tão abundantes na cor azul.

Além disso, deve-se ficar atento ao uso das luminárias, pois alguns modelos dissipam muita luz para o céu, uma vez que a luz desperdiçada de fontes artificiais emitida para cima é espelhada por nuvens, neblina e pequenas partículas (UAI, 2018).



Fonte: UAI (2018, p. 5).

FIGURA 36

Exemplos de selos da PROCEL e da ENCE.

Terceira etapa

1. Na tela há três feixes de luz, um vermelho, um azul e um verde. Olhando para eles, qual cor tem maior intensidade?

2. Se sobreposmos dois ou três feixes de diferentes cores, o que pode acontecer?

Agora vamos fazer os testes, porém, antes faça suas previsões.

3. O que acontecerá se sobreposmos dois feixes luz, um com a cor vermelha e outro com a cor verde?

4. O que acontecerá se sobrepormos dois feixes de luz, um com a cor vermelha e outro com a cor azul?

5. O que acontecerá se sobrepormos dois feixes luz, um com a cor azul e outro com a cor verde?

6. Agora que vocês já fizeram os testes, escreva se cada uma de suas previsões, de fato, estavam corretas.

O olho humano não é um bom detector de intensidade luminosa, ou seja, não podemos contar com ele para classificar diferentes intensidades, pois nos enganamos facilmente. Para esta tarefa é necessário utilizar algum equipamento que disponha de um sensor de intensidade luminosa.

Relacionando as grandezas

A intensidade luminosa é a intensidade do fluxo luminoso de uma fonte de luz projetada em uma dada direção. Sua unidade de medida é a candela. Já o fluxo luminoso é uma grandeza que correlaciona o fluxo radiante (em watts) com a radiação efetivamente perceptível pelo observador humano, ou seja, a luz. sua unidade de medida é o lúmen.

A eficiência luminosa é a relação entre o fluxo luminoso emitido por uma lâmpada e a potência elétrica dessa lâmpada, portanto por um watt consumido. Logo, está relacionada à eficiência de lâmpada converter energia elétrica em energia luminosa. A potência elétrica, por sua vez, está relacionada ao consumo de energia elétrica, ou seja, quanto maior a potência elétrica de uma lâmpada, maior é a energia elétrica consumida.

TEXTO 3: A candela, unidade de intensidade luminosa

Até o século XIX havia diversas unidades de medida para intensidade luminosa nos diversos países do mundo. Em 1909, a partir de um acordo feito entre Estados Unidos, França e Reino Unido, foi adotada uma unidade padrão denominada “vela internacional”, estabelecida a partir de uma lâmpada incandescente de filamento de carvão, entretanto esse padrão era pouco prático e necessitava de uma melhor definição teórica.

Com base nos estudos do físico alemão Planck sobre a radiação de corpo negro (ver no boxe “A radiação de corpo negro”), a unidade “vela internacional” foi substituída por “vela nova” que se baseava na luminância de um radiador de Planck (corpo negro) à temperatura de solidificação da platina. Essa proposição foi feita em 1937 pela CIE (Comissão Internacional de Iluminação) e pelo CIMP, promulgada por este último em 1946. A definição proposta foi ratificada e sancionada pela 9ª CGPM em 1948, que alterou o nome desta unidade para “candela”, símbolo cd, com a seguinte definição “a intensidade luminosa tal que a emitância do radiador integral à temperatura de solidificação da platina seja igual a 60 candelas por centímetro quadrado” (Rozenberg, 2006).

A 13ª CGPM, realizada em 1967, modificou a definição da unidade candela para a intensidade luminosa, na direção perpendicular, de uma superfície de área $1/600000$ metros quadrados de um corpo negro a temperatura de solidificação da platina sob pressão de 101.525 newtons por metro quadrado.

Em 1979, por ocasião da 16ª CGPM, foram encontrados pontos negativos acerca da definição da unidade candela, dentre eles a dificuldade da realização em laboratório, do corpo negro com altas temperaturas, além das divergências dos resultados da definição obtidos em experimentos de reprodução. Foram também colocadas as novas possibilidades com o desenvolvimento da radiometria (medição de potência de radiação ótica), que permitia determinar o valor da candela sem a necessidade de uso de um corpo negro. Diante das observações feitas, a 16ª CGPM adotou uma nova definição para a unidade candela, que é:

A candela é a intensidade luminosa, numa dada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência 540×10^{12} hertz e que tem uma intensidade radiante nessa direção de $1/683$ watt por esferorradiano (INMETRO, 2012).

A radiação de corpo negro

O corpo negro é um objeto que absorve toda energia que incide sobre ele, sem que nenhuma parcela dessa energia seja refletida, ou seja, é um absorvedor e um emissor perfeito.

Para uma dada temperatura, independente do material, a curva da radiação emitida em função do comprimento de onda ou da frequência apresenta sempre a mesma forma (Figura 37), tal como, quando sua temperatura atinge cerca de 1700 K e a cor da radiação por ele emitida será sempre um vermelho de pouco brilho, seja uma barra de ouro ou um pedaço de carvão. Do mesmo modo, para temperaturas da ordem de 6000 K, seja ouro ou carvão, a luz emitida pelo corpo será intensa, branca e levemente amarelada, como a luz do Sol (GASPAR, 2016).

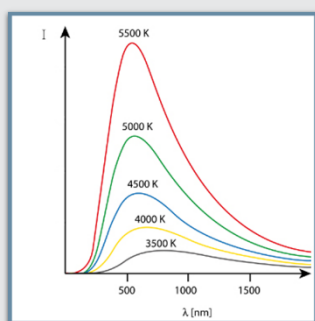


FIGURA 37

Distribuição de energia típica do espectro de radiação de corpos negros a diferentes temperaturas, sendo I a intensidade da radiação em função do comprimento de onda λ .

Fonte: Modificado de Corpo negro, wikipedia (2020).

Perspectivas: o futuro

Com todas as mudanças de hábitos da humanidade nas últimas décadas, nosso planeta pede socorro. Além da redução drástica da vegetação natural, estamos poluindo nossos rios e oceanos com plástico, causando sérios problemas para os outros seres vivos. Além disso, nossa iluminação artificial excessiva está desorientando alguns animais, como as tartarugas marinhas e alguns pássaros migratórios.

Aonde vamos chegar com toda esta poluição e destruição do nosso planeta?

Se quisermos mudar o rumo da nossa história no Planeta Terra precisamos repensar nos nossos hábitos cotidianos. A utilização de plásticos de uso único é totalmente dispensável, podemos substituí-los por produtos reutilizáveis ou ecológicos. A iluminação foi um acontecimento essencial para ampliar a vida noturna dos seres humanos. Contudo, essa iluminação artificial é exagerada e está prejudicando vários a fauna e a flora. Logo, temos que repensar os nossos hábitos, será que realmente necessário uma iluminação tão intensa? Será que precisamos de tanta luz artificial na época do Natal? A poluição luminosa é reversível, logo, pequenas ações podem conceber grandes resultados. Desta forma, vamos iluminar apenas o essencial, no tempo necessário.

A resposta está em nossas mãos, assim como o futuro do nosso planeta!

03

REFE RÊNCIAS CIAS

3 Referências

ANDREWES, W. Uma crônica do registro do tempo. Scientific American Brasil, p. 88-97, out/2002.

ARAUJO, M. C. B; CAVALCANTI, J. S. S. Dieta indigesta: milhares de animais marinhos estão consumindo plástico. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade. Vol. 10, n. 5, jan-maio de 2016.

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES (BIPM). The International Prototype. Disponível em: <https://www.bipm.org/en/bipm/mass/image-ipk.html>. Acesso em: 19 jun. 2020.

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES (BIPM). The kilogram and metre prototypes. Disponível em: https://www.bipm.org/en/measurement-units/history-si/metre_kilo.html. Acesso em: 19 jun. 2020.

CHAVES, L. R. Reutilizar, substituir e degradar. Pesquisa Fapesp. v. 281, 29 a 31. 2019.

CORPO NEGRO. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Corpo_negro&oldid=58882498>. Acesso em: 27 jul. 2020.

COSTA-FÉLIX, R. P B., BERNARDES (org.). A. Metrologia: volume 1: fundamentos. Rio de Janeiro: Brasport, 2017.

DESCARGANDO LA MEMORIA. Relojes, 2010. Página inicial. Disponível em <http://www.descargandolamemoria.com/2010/04/relojes-watches.html>. Acesso em: 28 jul. 2020.

DOMINICI, T. GARGAGLIONI. Identificação e combate à Poluição Luminosa. Apostila preparada pelo Laboratório Nacional de Astrofísica. 2012. Disponível em: http://www.lna.br/lp/apostila_pl.pdf. Acesso em: 30 jul. 2020.

ENCE X PROCEL. Blog da Kian, 2019. Disponível em: <https://www.kian.com.br/blog/item/35-ence-x-procel>. Acesso em: 25 jan. 2020.

EXTENSÔMETRO. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Extens%C3%B4metro&oldid=57148883>. Acesso em: 10 jan. 2020.

FILHO, H. P. M. O uso da informação quantitativa em História – Tópicos para discussão. Locus: revista de História, Juiz de Fora, v. 14, n. 1, p. 41-90, 2008.

GAS THERMOMETER. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2019. Disponível em: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Gas_thermometer&oldid=917587383. Acesso em: 30 jul. 2020.

GASPAR, A. Física. São Paulo: Ática, 2005.

GASPAR, A. Compreendendo a física. v. 3. 3 edição. Eletromagnetismo e Física Moderna. São Paulo: Ática, 2016.

GUIMARÃES, O.; PIQUERA, J. R.; CARRON, W. Física. v. 1. 2 edição. Mecânica. São Paulo: Ática, 2017.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física, volume 1: mecânica. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). Censo demográfico de 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/franca/pesquisa/23/25888?detalhes=true>. Acesso em 19 de abril de 2019.

INMETRO. Sistema Internacional de Unidades: SI. Duque de Caxias, RJ: INMETRO/CICMA/SEPIN, 2012.

INSTITUTO DE FÍSICA DE SÃO CARLOS (IFSC), 2012. O relógio mais pontual do mundo. Disponível em: <https://www2.ifsc.usp.br/portal-ifsc/o-relogio-mais-pontual-do-mundo/>. Acesso em: 29 jul. 2020.

JONES, F. A ameaça dos microplásticos. Pesquisa Fapesp. v. 281, 25 a 28. 2019.

KULA, W. Las medidas y los hombres. Madrid: Siglo XXI. 1980.

MACHADO, K. D. Teoria do Eletromagnetismo. Ponta Grossa: Editora UEPG, 2002.

MOLDOVER, M. Proving Our Mettle: NIST and the Boltzmann Constant Olympics. National Institute of Standards and Technology, 2017. Disponível em: <https://www.nist.gov/blogs/taking-measure/proving-our-mettle-nist-and-boltzmann-constant-olympics>. acesso em: 19 jul. 2020.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor. 4ª edição, São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2002

PIETROCOLA, M. et al. Física em contextos, 1: ensino médio. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

PRECISÃO A medida de todas as coisas Ep02 massa e mol. Mascarado_docs. Youtube. 22 jul. 2014. 58 min 40 s. disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=O11YjZYJV6U&t=6s>. Acesso em: 30 jul. 2020.

ROZEMBERG, I. M. O Sistema Internacional de Unidades – SI. 3ª ed. rev. e amp. São Paulo: Instituto Mauá de Tecnologia, 2006.

SANTOS, I.R. Tubarões de coleira. Revista Ciência Hoje. Vol. 38, n. 224, março de 2006.

SÃO PAULO (Estado). Lei nº 17.110, de 12 de julho de 2019. Proíbe o fornecimento de canudos confeccionados em material plástico no Estado e dá outras providências. São Paulo: Assembleia Legislativa do Estado de São Paulo, [2019]. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2019/lei-17110-12.07.2019.html>. Acesso em: 18 jul. 2020.

SÃO PAULO (SP). Lei nº 17.621, de 13 de janeiro de 2020. Dispõe sobre a proibição de fornecimento de produtos de plástico de uso único nos locais que especifica. São Paulo: Secretaria Municipal da Casa Civil, [2020]. Disponível em: <http://legislacao.prefeitura.sp.gov.br/leis/lei-17261-de-13-de-janeiro-de-2020>. Acesso em: 18 jul. 2020.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE METROLOGIA. SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA. O Novo Sistema Internacional de Unidades. 2019. (Redação e adaptação: Luciana e Sá Alves e Gelson Rocha). Disponível em: http://metrologia.org.br/wpsite/wp-content/uploads/2019/07/Cartilha_O_novo_SI_29.06.2029.pdf. Acesso em 25 mar. 2020.

THE BIG BANG THEORY – Sheldon and Penny go supermarket (season 1). The Big Bang Theory Funny moments. YouTube. 31 ago. 2019. 2 min 37 s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=PQ2n8D05jfY&t=4s>. Acesso em: 30 jul. 2020.

UNEP. Marine litter: a global challenge. Nairobi: UNEP. 232p. 2009

UNIÃO ASTRONÔMICA INTERNACIONAL (UAI). Poluição Luminosa. 2018. Disponível em: https://www.iau.org/public/images/detail/light-pollution-brochure_pt/. Acesso em 30 jun 2020.

VASCONCELOS, Y. Planeta Plástico. *Pesquisa Fapesp*. v. 281, 18 a 24. 2019.

ZERO ABSOLUTO. In: WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre. Flórida: Wikimedia Foundation, 2020. Disponível em: <https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Zero_absoluto&oldid=58880938>. Acesso em: 27 jul. 2020.

**AUTORES:**

Márcio Leandro Rotondo nasceu em Franca/SP. É professor titular de Física na Secretaria da Educação do Estado de São Paulo desde 2008. Licenciado em Ciências Exatas, com habilitação em Física, pela Universidade de São Paulo e bacharel em Administração Pública pela Universidade Federal de São João del-Rei. Atualmente (2020), mestrando do programa Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática na Universidade Federal de Uberlândia.

**AUTORES:**

Débora Coimbra nasceu em Araraquara/SP. É professora associada da Universidade Federal de Uberlândia, onde atua desde 2007. Formada em Física pela Universidade Federal de São Carlos realizou mestrado e doutorado naquela instituição e, em 2018, pós-doutorado em Ensino de Física na Universidade Federal do ABC.

