

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física
Polo **ufscar** Sorocaba



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE

DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS: UM
ROTEIRO PARA O ENSINO DE TERMODINÂMICA
NA EDUCAÇÃO BÁSICA**

BRUNO ARENA BARROS

ORIENTADORA: PROFA. DRA. MARIA JOSÉ FONTANA GEBARA

Sorocaba – SP

Março de 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS: UM
ROTEIRO PARA O ENSINO DE TERMODINÂMICA
NA EDUCAÇÃO BÁSICA**

BRUNO ARENA BARROS

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Processos de Ensino e Aprendizagem.
Orientadora: Profa. Dra. Maria José Fontana Gebara

Sorocaba - SP
Março de 2020

BRUNO ARENA BARROS

APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS: UM ROTEIRO PARA O ENSINO DE
TERMODINÂMICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Processos de Ensino e Aprendizagem.
Sorocaba, 16 de março de 2020.

Orientadora:



Prof. Dra. Maria José Fontana Gebara
Universidade Federal de São Carlos - *Campus* Sorocaba

Examinador:



Prof. Dr. Airton Natanael Coelho Dias
Universidade Federal de São Carlos - *Campus* Sorocaba

Examinador:



Prof. Dr. Rickson Coelho Mesquita
Universidade Estadual de Campinas

Sorocaba - SP
Março de 2020

Barros, Bruno Arena

**Aprendizagem Baseada em Problemas: um roteiro para o ensino de termodinâmica na educação básica / Bruno Arena Barros. -- 2020.
178 f. : 30 cm.**

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador: Maria José Fontana Gebara

Banca examinadora: Airton Natanael Coelho Dias, Rickson Coelho Mesquita

Bibliografia

1. PBL. 2. Ensino de Física. 3. Termodinâmica. I. Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

Bibliotecário(a) Responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano – CRB/8 6979

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos alunos que acreditaram que estávamos fazendo algo realmente diferente de tudo aquilo que já fizemos juntos em sala de aula.

AGRADECIMENTOS

Desde que percebi que deveria ingressar em um curso de pós-graduação - devido a insatisfação com minha prática docente -, a proposta do programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) se mostrou coerente com os desafios encontrados em sala de aula. Agora, ao final de tudo, sinto que fiz a escolha certa. Minha percepção sobre a sala de aula e de mim mesmo como professor foram ressignificados. Por isso agradeço à existência do MNPEF - Polo Sorocaba. Quero agradecer também a todos os professores do programa com os quais tive a oportunidade de estudar. Se houve transformação tanto na minha prática docente quanto na mudança de mentalidade sobre a possibilidade de me tornar um professor que também produz conhecimento - e que não apenas o reproduz - isso se deve a vocês. Sou grato às amizades feitas com os demais mestrandos. Foram muito especiais para mim as segundas-feiras que reservamos para estarmos juntos aprendendo, trocando experiências, dilemas e risadas sobre “ser professor”.

Quero agradecer à Profa. Dra. Maria J. F. Gebara, por ter aceitado o desafio de me orientar, por respeitar a minha proposta de trabalho e por jamais ter se ausentado de sua função. Em todas as nossas reuniões as suas observações e considerações foram precisas na direção da realização deste trabalho, e, como se não bastasse, você por várias vezes me reanimou diante dos impasses que surgiram. Foi muito precioso para mim aprender com alguém que conhece, de fato, a realidade do nosso sistema de ensino. A você, Maria, muitíssimo obrigado.

Agradeço aos professores Dr. Airton Natanael Coelho Dias e Dr. Rickson Coelho Mesquita pelas sugestões, durante o exame de qualificação, que enriqueceram tanto este trabalho quanto o meu espírito.

Agradeço também à direção da escola pelo apoio e liberdade confiados a mim para a realização deste trabalho. Agradeço aos colegas de profissão com os quais tive a oportunidade discutir sobre o assunto.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física durante todo o período de formação sem o qual a conclusão deste trabalho teria sido, muito provavelmente, inviabilizada.

Agradeço à Marina, minha esposa, pelo companheirismo, apoio e paciência demonstrados ao longo desses anos de pós-graduação. Sua compreensão da importância deste mestrado para mim fez-me amar-te ainda mais. Recompensarei todo o tempo que, por minha causa, abrimos mão um do outro. Agradeço aos meus pais, pois sempre me incentivaram a estudar. Vocês me admiram pelo o que me tornei; eu os admiro pela força de vida que possuem. Agradeço ao bom Mestre, por me ensinar que posso encontrar a minha vida na vida do meu próximo.

“São precisos cinquenta anos para fazer um homem”

Platão (*République*, 540 a)

RESUMO

BARROS, Bruno Arena. Aprendizagem Baseada em Problemas: um roteiro para o ensino de Termodinâmica na educação básica. 2019. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2019.

Neste trabalho, tivemos por objetivo elaborar e aplicar um produto educacional baseado na metodologia da Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL - *Problem-based learning*) para o Ensino de Física na Educação Básica. A partir de uma das variações do método, conhecida como PBL Parcial, desenvolvemos um módulo composto por dois problemas para o ensino da Primeira lei da Termodinâmica, que foi aplicado em três turmas do segundo ano do Ensino Médio de uma escola pública regular do interior do estado de São Paulo. Além dos referências teóricos da PBL, apoiamo-nos na teoria vigotiskiana para o processo de ensino aprendizagem, especificamente nas interações sociais por meio das quais ocorrem a construção de conceitos. Descrevemos o processo de desenvolvimento dos problemas e relatamos a sua aplicação e a percepção da aprendizagem por parte dos alunos e do professor. Os relatos nos permitem inferir que o produto foi bem aceito pelos alunos, que houve mudança nas interações entre professor e aluno e apropriação parcial, por parte dos alunos, dos conceitos físicos explorados no produto. Nossa experiência corrobora com as referências consultadas sobre as dificuldades de se aplicar o método PBL em escolas regulares, por isso consideramos que a aplicabilidade desse produto educacional, embora possível em qualquer modelo de escola, possa ser mais proveitosa em escolas de tempo integral.

Palavras-chave: PBL. Professor tutor. Ensino de Física. Termodinâmica. Vigotski

ABSTRACT

In this paper we have aimed to develop and apply an educational product taking the Problem-Based Learning (PBL) methodology as base for teaching Physics in Basic Education. Considering one of the variations of the method, known as Partial PBL, we have developed a module composed of two problems for teaching the First Law of Thermodynamics that was applied in three classes of Sophomore year at a public High School in the interior of São Paulo state. In addition to the theoretical references of PBL we rely on the Vigotskian theory to explain Teaching-Learning process, specifically in the social interactions through which the construction of concepts happens. We have described the problem development process, its application and the learning perception by both students and teacher. As a result, their narratives allow us to infer that the product was well received by students, occurring a change in interactions between teacher and students as well as partial appropriation by students of the physical concepts explored in the product. Our experience corroborates the references consulted about the difficulties of applying the PBL method in regular schools, so we consider that the applicability of this educational product, although possible in any school model, can be more useful in full-time schools.

Keywords: PBL. Tutor. Physics teaching. Thermodynamics. Vygotsky

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Esquema visual do modelo 3C3R.	15
Figura 4.1 - Exemplos de sistemas termodinâmicos. A) no sistema fechado, cuja fronteira (linha tracejada) é composta por uma parte fixa e outra móvel, ocorre a transferência de energia entre o sistema e a vizinhança, sem ocorrer transferência de massa. B) no sistema aberto ou Volume de Controle (VC), a superfície de controle é formada por fronteiras reais e imaginárias, através das quais ocorre a transferência de massa e energia.	47
Figura 4.2 - Esquema do experimento realizado por Joule para obter o equivalente mecânico do calórico. A queda dos pesos P e P' , a partir de h e h' , movimentam o agitador do calorímetro C. Após várias repetições a temperatura da água no calorímetro foi aferida por meio do termômetro T.	54
Figura 4.3 - Esquema de funcionamento de um motor a vapor. A água contida na caldeira se transforma em vapor superaquecido devido a absorção da quantidade de calor Q_1 da fonte quente à temperatura T_1 . Dentro do cilindro, o vapor sofre expansão adiabática e movimenta o cilindro, realizando a quantidade de trabalho W sobre a vizinhança. No condensador, o vapor frio se liquefaz ao ceder a quantidade de calor Q_2 para a fonte fria à temperatura T_2 . Com o uso da bomba a água retorna à caldeira e o ciclo recomeça. (NUSSENZVEIG, 2002).	58
Figura 4.4 - O sino de mergulho como sistema termodinâmico em regime não-estacionário. Através da fronteira do VC há a transferência de massa, calor e trabalho que variam à medida que o sino submerge. O aumento da pressão hidrostática sobre o sistema é contraposto ao aumento da pressão do ar no interior do sino devido o funcionamento do compressor de ar a bordo do navio.	64
Figura 4.5 - Simplificação do sistema termodinâmico do sino de mergulho no sistema de carregamento de um vaso de pressão. A) ao abrir a válvula, a massa de ar comprimido, m_1 , com pressão P_1 e temperatura T_1 , adentra o sistema VC inicialmente preenchido com ar (m_i, P_i, V_i, T_i), sendo $P_1 > P_i$. B) A pressurização acontece até que a pressão final do sistema, P_f , se iguale à pressão do ar comprimido P_1	64
Figura 4.6 - Sistema fechado equivalente. A) o sistema agora é composto pela região do recipiente mais a que é ocupada pela massa de ar comprimido, até então externa ao sistema. B) o restante do ar comprime adiabaticamente o sistema (cilindro imaginário) diminuindo o seu volume desse novo sistema.	66
Figura 5.1 - Publicação retirada do site de compartilhamento de fotos <i>Imgur</i> . A partir da imagem, os alunos precisaram responder sobre a veracidade desta publicação.	68
Figura 5.2 - Exercícios aplicados como método avaliativo pós-discussão sobre o Problema 1 (Questão 8 à esquerda e Questão 9 à direita).	70
Figura 5.3 - Esquema do experimento realizado pelo professor para demonstrar o princípio de conservação da energia. Uma bola de bilhar foi fixada em uma das extremidades de um fio, sendo a outra extremidade presa ao suporte universal, apoiado sobre a mesa. Colocamos um ovo sobre uma cadeira, apoiado sobre uma tampa de garrafa PET. Mantendo-se o fio esticado, elevamos a bola de bilhar na altura H até que ela tocasse o ovo. Solta-se a bola de bilhar, que ao retornar, não o atinge. Os alunos realizaram outros testes variando-se os valores de H	75
Figura 5.4 - Resposta à Questão 9 (Aluna 1, Turma C).	76
Figura 5.5 - Resposta à Questão 8 (Aluna 1, Turma A)	76
Figura 5.6 - Resposta à Questão 8 (Aluna 2, Turma A)	77
Figura 5.7 - Resultados da avaliação do ensino e aprendizagem pelo método PBL para a Turma A (N=21 alunos) após a aplicação do primeiro problema.	78

Figura 5.8 - Resultados da avaliação do ensino e aprendizagem pelo método PBL para a Turma B (N=11 alunos) após a aplicação do primeiro problema.	78
Figura 5.9 - Resultados da avaliação do ensino e aprendizagem pelo método PBL para a Turma C (N=20 alunos) após a aplicação do primeiro problema.	79
Figura 5.10 - Experimento realizado para demonstrar o aquecimento do ar no interior do sino. (A) Colamos uma rolha no interior do gargalo de uma garrafa PET e em seguida perfuramos a rolha com o bico da bomba de ar; por fim perfuramos a base da garrafa para o encaixe do termômetro culinário. (B) medida da temperatura do ar (27,5°C) antes do acionamento da bomba; (C) medida da temperatura do ar (31,8°C) após repetidos acionamentos da bomba de ar.	88
Figura 5.11 - Resultados da autoavaliação sobre o ensino e aprendizagem com o método PBL para a Turma A (N=21 alunos) após a aplicação do segundo problema.	89
Figura 5.12 - Resultados da autoavaliação sobre o ensino e aprendizagem com o método PBL para a Turma B (N=18 alunos) após a aplicação do segundo problema.	89
Figura 5.13 - Resultados da autoavaliação sobre o ensino e aprendizagem com o método PBL para a Turma C (N=21 alunos) após a aplicação do segundo problema.	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Exemplo de um módulo PBL para o ensino de Termodinâmica	26
Tabela 4.1 - Valores do rendimento de uma máquina térmica que opera segundo o ciclo de Carnot.	62
Tabela 4.2 - Eficiência de conversão da energia para alguns processos.....	62
Tabela 5.1 - Cronograma de desenvolvimento do primeiro problema	71
Tabela 5.2 - Cronograma de desenvolvimento do segundo problema.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABP	Aprendizagem Baseada em Problemas
CCEMD	<i>Collegial Center for Educational Materials Development</i>
CNST	<i>Ciências da Natureza e Suas Tecnologias</i>
EF	Ensino de Física
EM	Ensino Médio
IOP	Institute of Physics
MNPEF	<i>Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física</i>
PBL	<i>Problem-Based Learning</i>
PISA	<i>Programa Internacional de Avaliação de Estudantes</i>
PROFIS-So	<i>Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba</i>
RCP	<i>Resolução Colaborativa de Problemas</i>
3C3R	<i>Content, Context, Connection & Researching, Reasoning, Reflecting</i>

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - METODOLOGIA DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS	7
2.1 INTRODUÇÃO À APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS	7
2.2 PRINCÍPIOS E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA PBL	8
2.3 CARACTERÍSTICAS DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS	9
2.3.1 O papel do aluno	9
2.3.2 O trabalho em grupo	10
2.3.3 O perfil do professor tutor	11
2.4 ETAPAS ESTRUTURANTES DA PBL.....	12
2.4.1 O desenvolvimento do cenário problemático	13
2.4.2 Interpretação do cenário problemático	15
2.4.3 O processo de resolução do problema	16
2.4.4 Apresentação da solução do problema e avaliação do processo de aprendizagem	17
2.5 ALGUMAS VARIAÇÕES DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS	19
2.6 LIMITES E CONTRIBUIÇÕES DO MÉTODO PBL	22
2.6.1 Contribuições	23
2.6.2 Limites	24
2.7 A PBL APLICADA AO ENSINO DE FÍSICA.....	25
CAPÍTULO 3 - A TEORIA DE VIGOTSKI PARA O DESENVOLVIMENTO COGNITIVO	29
3.1 O SIGNO E A MEDIAÇÃO NOS PROCESSOS MENTAIS SUPERIORES.....	30
3.2 - INTERNALIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DOS PROCESSOS MENTAIS SUPERIORES	32
3.3 A METODOLOGIA EXPERIMENTAL DA TEORIA DE VIGOTSKI	34
3.4 IMPLICAÇÕES EDUCACIONAIS DA TEORIA HISTÓRICO-CULTURAL.....	36
3.5 A ABORDAGEM VIGOTISKIANA E O MÉTODO PBL	39
CAPÍTULO 4 - CONTEÚDO DE TERMODINÂMICA DOS PROBLEMAS PBL	46
4.1 SISTEMAS, ESTADOS E TRANSFORMAÇÕES TERMODINÂMICAS	46
4.2 A LEI ZERO DA TERMODINÂMICA E A TEMPERATURA COMO UMA FUNÇÃO DE ESTADO	49
4.3 TRABALHO E CALOR	50
4.4 A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA	55
4.5 A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA	56
4.6 ANÁLISE TERMODINÂMICA DOS PROBLEMAS PBL.....	59
4.6.1 Conceitos trabalhados com o problema <i>A farsa da falta de energia</i>	59
4.6.2 Conceitos trabalhados com o problema <i>O sino da morte</i>	63
CAPÍTULO 5 - DESENVOLVIMENTO DOS PROBLEMAS PBL, APLICAÇÃO E RESULTADOS	67

5.1 O PRIMEIRO PROBLEMA: “A FARSA DA FALTA DE ENERGIA”	67
5.2 RELATOS DA APLICAÇÃO DO PRIMEIRO PROBLEMA	71
5.2.1 Relato da aplicação - Atividade 1	72
5.2.2 Relato da aplicação -Atividade 2	73
5.2.3 Relato da aplicação -Atividade 3	75
5.2.4 Relato da aplicação -Atividade 4	76
5.3 O SEGUNDO PROBLEMA: “O SINO DA MORTE”	80
5.4 RELATOS DA APLICAÇÃO DO SEGUNDO PROBLEMA	82
5.4.1 Relato da aplicação -Atividade 1	82
5.4.2 Relato da aplicação -Atividade 2	83
5.4.3 Relato da aplicação -Atividade 3	84
5.4.4 Relato da aplicação -Atividade 4	86
5.4.5 Relato da aplicação -Atividade 5	88
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÕES	92
REFERÊNCIAS	95
APÊNDICE A	101
APÊNDICE B	162
APÊNDICE C	163
APÊNDICE D	164
APÊNDICE E	165
ANEXO A.....	167
ANEXO B.....	168

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Dentro do espectro de fatores que moldam a nossa visão de mundo - como o trabalho e a família, por exemplo - a escola desempenha um papel importante na capacidade de entendimento da realidade. Tradicionalmente, é a instituição responsável por transmitir o conjunto de conhecimentos sistematizados e aceitos socialmente. Nessa perspectiva, a apropriação do conhecimento científico em idade escolar pode contribuir para o desenvolvimento de jovens cidadãos, no tocante à compreensão e enfrentamento dos desafios presentes e futuros de uma sociedade em constante transformação (PIETROCOLA, 2006; SÃO PAULO, 2010).

No entanto, o que temos presenciado na realidade escolar, talvez mais do que em outras épocas, é o questionamento, por parte dos alunos, da utilidade do saber por ela transmitido. Tal questionamento é reflexo das dúvidas que possuem sobre a formação que, supostamente, estão recebendo para enfrentar as exigências do mundo contemporâneo, marcado pelo uso de tecnologias que medeiam o acesso intensivo à informação (RICARDO, 2010).

Essa situação se agrava quando tratamos do ensino de Ciências, e, especificamente, do Ensino de Física (EF) (RICARDO, 2010). Fourez (2003) afirma que a falta de sentido em ensinar Ciências é um problema de todo o mundo industrializado, tendo não somente nos alunos e professores os principais responsáveis, mas também os dirigentes do mundo econômico e os cidadãos.

Surge, portanto, a imagem de que a solução para a crise no ensino de Ciências é complexa. O que se tem são alternativas e estratégias metodológicas que podem nos ajudar a enfrentar os desafios que se impõem à prática docente, especialmente ao EF (RICARDO, 2010). Daí o objetivo do programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) em preparar profissionais docentes que possam ser agentes de evolução do sistema de ensino e que contribuam para a solução de problemas na educação básica através do foco no ensino, na aprendizagem, no currículo e nos instrumentos avaliativos (OSTERMANN; REZENDE, 2009).

Sendo assim, orientamos a elaboração de nosso produto educacional para o desenvolvimento de competências e habilidades relativas à aprendizagem em Ciências

conforme sinaliza o currículo de Ciências da Natureza e Suas Tecnologias (CNST) do Estado de São Paulo:

Entre as competências mais características do caráter questionador, inventivo e prático das ciências, que também correspondem à capacidade de fazer uso de conhecimentos para intervir em situações reais, poderiam ser lembradas algumas habilidades importantes, como formular questões; realizar observações; selecionar variáveis; estabelecer relações; interpretar, propor e fazer experimentos; formular e verificar hipóteses; diagnosticar e enfrentar problemas, individualmente ou em equipe (...). Essa apropriação das ciências pelos jovens, que não busque apenas a ilustração cultural, mas que efetivamente os qualifique para as circunstâncias de vida e de trabalho do mundo contemporâneo, exige métodos de ensino compatíveis, com efetiva participação dos alunos como protagonistas de sua aprendizagem e nos quais os conteúdos de instrução respondam aos desafios que vivem e ampliem sua visão de mundo. (SÃO PAULO, 2019, p. 29).

Referindo-se a tais competências e habilidades, o documento *Exemplos de Itens liberados de Resolução Colaborativa de Problemas (RCP)* elaborado pelo Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA), em 2015, mostra que os sistemas educativos nacionais tendem, cada vez mais, a construir programas de aprendizagem voltados para a investigação pautada no pensamento crítico, na resolução de problemas, na autoaprendizagem e em habilidades relativas a colaboração. Em 2015 o Brasil participou da avaliação, cuja finalidade foi avaliar o domínio de competências dos estudantes relativas à resolução colaborativa de problemas. Dentre os 50 países avaliados pelo PISA, o Brasil ficou na 49ª posição, à frente apenas da Tunísia¹.

Segundo a proposta curricular do Estado de São Paulo para a área das *Ciências da Natureza e suas Tecnologias* (CNST), os conteúdos de Física no Ensino Médio (EM) dividem-se em cinco campos: Mecânica, Termodinâmica, Óptica, Eletromagnetismo e Física Moderna. A Termodinâmica, usualmente, é introduzida no 2º ano e está incluída no tema *Calor, ambiente e usos de energia*, cuja grade curricular é distribuída nos dois primeiros bimestres (SÃO PAULO, 2010). A seguir, apresentamos como os conteúdos relativos à Termodinâmica estão articulados com o bloco temático em questão:

Identificar fenômenos, fontes e sistemas que envolvem a troca de calor no cotidiano constitui uma forma de entender o comportamento da matéria com as variações de temperatura. Os diferentes processos de troca de calor, como condução, convecção e irradiação, e seus respectivos modelos explicativos permitem aos estudantes entender a natureza do calor e suas formas de manifestação. Reconhecer o processo histórico de unificação entre calor e trabalho mecânico e o princípio de conservação da energia amplia a discussão, feita no primeiro ano, da compreensão do calor como forma de trocar energia e habilita o tratamento dos ciclos térmicos em fenômenos

¹ A análise completa dos microdados da avaliação do PISA 2015, realizada pelo Portal Interdisciplinaridade e Evidências no Debate Educacional, está disponível em: <http://www.portaliede.com.br/wp-content/uploads/2018/02/Um-Panorama-sobre-Resolu%C3%A7%C3%A3o-Colaborativa-de-Problemas-no-Brasil_Portal_Iede.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2018.

atmosféricos". Finalmente, as máquinas térmicas tornam-se objeto para o entendimento do uso da ciência e da tecnologia na ampliação das atividades produtivas e no aumento do conforto cotidiano e dos riscos ambientais. Assim, *Calor, ambiente e usos de energia* passam a constituir um terceiro tema. (SÃO PAULO, 2010, p. 99).

Os objetivos formativos referentes aos conteúdos relacionados compõem um conjunto de habilidades as quais se espera que os alunos desenvolvam a partir do estudo do tema. Nesse sentido, o processo de ensino e aprendizagem em torno de uma situação-problema pode favorecer a aprendizagem integrada dos conceitos, contribuindo para o desenvolvimento cognitivo dos estudantes, manifesto a partir de tais habilidades. Dessa forma, pareceu-nos apropriado - e desafiador - trabalhar com a metodologia da *Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL²)*, tanto para o ensino e aprendizagem dos conteúdos disciplinares, quanto para atender às exigências formativas de jovens cidadãos críticos e ativos.

Como veremos, a PBL é uma metodologia dinâmica em que as funções do professor e dos alunos são ressignificadas: o professor desempenha o papel de tutor dos estudantes que participam, ativamente, da construção do próprio conhecimento. O método favorece tanto o desenvolvimento de habilidades interpessoais importantes para o convívio social, como a comunicação, o respeito às ideias contraditórias, a responsabilidade e a afetividade, devido a intensa interação dos alunos entre si e com o professor tutor; quanto as habilidades referentes à resolução de problemas, como pensamento crítico, tomadas de decisão e transposição de conceitos estudados nas situações-problema para questões reais de ordem pessoal ou profissional (BERBEL, 1998; BORGES et al., 2014; SOUZA; DOURADO, 2015).

É importante diferenciar a proposta do presente trabalho, que visa o ensino aprendizagem de conteúdos de Física de forma contextualizada, da prática de resolução de problemas, frequentemente utilizada tanto por professores do Ensino Superior quanto do EM (DELIZOICOV, 2006). Destacamos que a expressão *resolução de problemas*, enquanto estratégia para o ensino de Física, pode ser compreendida e empregada de formas diferentes. Uma delas, por exemplo, está associada à resolução de listas de exercícios/problemas como forma de aplicação/fixação da teoria. Esta estratégia é importante para a aprendizagem do aluno e prepara-o para as avaliações de rendimento, mas, muito frequentemente, por falta de discussões conceituais, não estabelece vínculos com a realidade e se desdobra em soluções sem sentido (PEDUZZI; PEDUZZI, 2006; RICARDO, 2010). Por outro lado, “o desenvolvimento literal de problemas numéricos e não numéricos enseja a análise física de casos particulares da

² Sigla do termo em inglês Problem-Based Learning. Neste trabalho, utilizaremos a sigla PBL, comumente utilizada para se referir à metodologia, apesar de existir um equivalente em português, ABP.

situação recém resolvida, transformando-a em fonte geradora de novos problemas” (PEDUZZI, PEDUZZI; 2006, p. 104)³ e que, segundo os autores, se configura como uma abordagem mais eficiente e produtiva.

A *problematização* é utilizada quando os conteúdos a serem estudados são relacionáveis com a vida em sociedade. Essa metodologia é desenvolvida em cinco etapas: Observação da realidade; pontos-chave; teorização; hipóteses de solução e aplicação à realidade. Espera-se que, ao final dessas etapas, os alunos tenham desenvolvido a sequência dialética de ação – reflexão – ação, sendo a realidade social o princípio e o fim da problematização (BERBEL, 1998)⁴.

Angotti e Delizoicov (1992), baseados na *problematização*, apresentaram propostas específicas para o Ensino de Física. Trata-se de uma abordagem temática estruturada em *três momentos pedagógicos*: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento. Espera-se que, ao final das etapas, os estudantes possam associar as respostas encontradas para a problematização inicial à novas situações, graças ao potencial explicativo dos conceitos físicos.

Finalmente, outra forma de se trabalhar com problemas é por meio da metodologia da PBL que, à semelhança das duas metodologias anteriores, é dividida nas seguintes etapas: elaboração do contexto problemático pelo professor, levantamento das questões-problema pelos alunos, resolução dos problemas, apresentação dos resultados. As etapas e características dessa metodologia estão detalhadas no Capítulo 2.

Apesar de suas diferenças metodológicas, a problematização e a PBL partilham do princípio de que o processo de ensino-aprendizagem se inicia com o enfrentamento de uma situação-problema, que gera nos alunos a necessidade de se apropriarem de novos conhecimentos, para somente então agirem sobre a realidade.

A importância da resolução de problemas como metodologia para o ensino de Física é defendida por grandes cientistas. Khun (1975, *apud* DELIZOICOV, 2006) afirma que o conteúdo cognitivo dos conceitos, leis e teorias da Física são passíveis de serem apropriados quando os alunos se envolvem na prática de resolução de problemas. Bachelard (1977, *apud* DELIZOICOV, 2006), estabelece que o conhecimento se origina graças a busca por soluções para os problemas; ou seja, todo conhecimento é resposta a uma questão que foi consistentemente formulada.

³ Destaca-se o produto educacional "Reforçando a relação entre a matemática e a física no EM através de exemplos básicos de mecânica clássica" que segue a mesma proposta de Peduzzi e Peduzzi (2006).

⁴ Para entender as diferenças e semelhanças entre os métodos PBL e a Problematização, Cf. BERBEL (1998).

Embora Khun e Bachelard tenham se referido a importância da resolução de problemas para a formação de cientistas, alguns trabalhos mostram que é possível utilizar a mesma proposta com estudantes que não seguirão a carreira científica, especialmente os do EM (DELIZOICOV, 2006). Por exemplo, podemos citar a importância que o educador Paulo Freire (1975, *apud* DELIZOICOV, 2006), deu a problematização para os temas geradores como início do processo de aprendizagem.

Concordamos com esses autores quando afirmam que o enfrentamento de problemas é condição fundamental para o processo de aquisição do conhecimento científico, especialmente na educação básica. Dessa forma, desenvolvemos um produto educacional que visa introduzir os professores da educação básica à prática de metodologias ativas por meio da resolução de problemas. Decidimos nos apoiar, teórica e metodologicamente, sobre a PBL, pois suas variações podem ser desenvolvidas em função das habilidades do professor e dos recursos disponíveis, proporcionando relativa segurança ao profissional que desejar iniciar essa transição.

Desenvolvemos um produto educacional que contém um módulo PBL, composto por dois problemas relacionados ao ensino-aprendizagem de Termodinâmica, além de um roteiro para o professor. Neste, tratamos como os conteúdos de Termodinâmica e outros, de caráter interdisciplinar, podem ser abordados com os alunos, bem como estratégias de trabalho em grupo.

Como parte da elaboração desse módulo, estabelecemos como objetivo geral desta dissertação compreender os limites e as contribuições do método PBL para o ensino e aprendizagem de conceitos relacionados à Primeira e a Segunda leis da Termodinâmica.

Para tal, traçamos objetivos específicos que nos conduziram ao objetivo geral, a saber:

- i. Delimitar, a partir da literatura, o referencial teórico do método PBL em função do contexto escolar brasileiro;
- ii. Definir a teoria de aprendizagem que melhor dialogue com o método PBL;
- iii. Elaborar os módulos PBL;
- iv. Aplicar os módulos;
- v. Relatar a receptividade dos alunos à essa metodologia de ensino
- vi. Comparar nossos resultados com outros trabalhos correlatos.
- vii. Rever os módulos para compor o produto em sua forma final.

Destacamos que a proposta de ensino-aprendizagem foi conduzida à luz da teoria de Vigotski para o desenvolvimento cognitivo; referencial teórico adotado em razão de sua convergência com a abordagem da PBL em torno do papel do problema como objeto de conhecimento e no desenvolvimento dos conceitos científicos responsáveis pelo desenvolvimento cognitivo do homem (GEHLEN; DELIZOICOV, 2016).

Para a exposição do trabalho realizado, organizamos esta dissertação em mais cinco capítulos. No segundo capítulo apresentamos as etapas estruturantes do método PBL, suas principais características, adaptações e utilização em diversas áreas do conhecimento e no ensino de Física. No terceiro capítulo apresentamos a teoria de Vigotski para o desenvolvimento cognitivo como referencial teórico adotado para este trabalho. O quarto capítulo reúne os conceitos de Termodinâmica a serem trabalhados com os problemas PBL. Os resultados e o relato da aplicação dos dois problemas são apresentados no Capítulo 5. No sexto capítulo, apresentamos as nossas considerações e apontamentos sobre o presente trabalho. Já o produto educacional desenvolvido encontra-se no Apêndice A.

Capítulo 2

METODOLOGIA DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

2.1 INTRODUÇÃO À APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

A Aprendizagem Baseada em Problemas, traduzido do inglês *Problem-Based Learning*, *PBL*⁵, é uma metodologia desenvolvida para sanar o desempenho clínico insatisfatório⁶ dos estudantes da *McMaster University's Faculty of Health Sciences*, no Canadá (BARROWS, 1996). Howard Barrows, considerado o principal articulador da equipe de professores que reformulou o currículo do curso da Escola Médica dessa universidade (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015), inseriu a metodologia da PBL, por três anos, na proposta curricular do curso, sendo que a primeira turma concluiu a graduação em 1972 (BARROWS, 1996).

Na década de 1970, logo após a Universidade de McMaster, as universidades de Maastricht (Holanda) e Newcastle (Austrália) incluíram a PBL nos currículos dos cursos de medicina (BARROWS, 1996). Desde então, devido ao seu caráter inovador, a PBL tem sido amplamente difundida na estrutura curricular de várias escolas de medicina em todo mundo (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008). No Brasil, na década de 1990, a Universidade de Medicina de Marília e a Universidade Estadual de Londrina foram as primeiras a incluir a PBL em seus currículos (BATISTA *et al.*, 2005).

A PBL é fundamentada na resolução de problemas contextualizados, preferencialmente com o cotidiano dos estudantes, a fim de que sejam estimulados a se envolver

⁵ Em citações a sigla adotada pelo autor (ABP ou PBL), original do texto, foi mantida.

⁶ Como resultado de um ensino teórico baseado na memorização de conteúdos fragmentados, juntamente com experiências didáticas obsoletas, observou-se que durante o período de residência médica os estudantes demonstravam grande dificuldade em relacionar a teoria com a prática profissional. Em contrapartida, sentiam-se estimulados a solucionar os problemas reais dos pacientes (BARROWS, 1996; EDENS, 2000; HUNG; JONASSEN; LIU, 2008).

no processo de investigação. Os problemas compõem um módulo (ou unidade temática) no qual se espera que os alunos aprendam determinados conteúdos de forma dirigida e orientada. Trata-se de uma metodologia formativa, centrada no aluno, que estimula a constante busca pelo conhecimento, ao contrário do ensino tradicional que é informativo (BERBEL, 1998; BORGES *et al.*, 2014).

Souza e Dourado (2015) definem, a partir da análise de vários referenciais teóricos, a PBL como:

(...) uma estratégia de método para aprendizagem, centrada no aluno e por meio da investigação, tendo em vista à produção de conhecimento individual e grupal, de forma cooperativa, e que utiliza técnicas de análise crítica, para a compreensão e resolução de problemas de forma significativa e em interação contínua com o professor tutor. (SOUZA; DOURADO, 2015).

Ademais, a PBL tem sido utilizada em cursos superiores de diversas áreas, como engenharia, matemática, física, biologia entre outros, podendo ser aplicada em todos os níveis de ensino (BARROWS, 1996; BORGES *et al.*, 2014; HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015).

2.2 PRINCÍPIOS E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DA PBL

A PBL parte do princípio de que o ser humano se depara diariamente com problemas e que, segundo Barrows e Tamblyn (1980, *apud* HUNG; JONASSEN; LIU, 2008), “ao solucionar problemas do cotidiano, a aprendizagem acontece” (*tradução nossa*). Se viver implica em enfrentar problemas – de ordem pessoal e profissional - então a vida é uma fonte de oportunidades de aprendizagem. A partir de tal princípio, a PBL foi desenvolvida como uma metodologia em que o enfrentamento e resolução de problemas conduzem os processos de aprendizagem (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008).

Tal metodologia é fundamentada em teorias socioconstrutivistas de aprendizagem (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; TATAR; OKTAY, 2011). Hung, Jonassen e Liu (2008) listam alguns aspectos dessas teorias que se aplicam à PBL: 1) o conhecimento não pode ser transmitido, mas sim, construído individualmente e socialmente por meio das interações com o meio; 2) cada fenômeno pode ser contemplado a partir de vários pontos de vista; 3) significado e pensamento são produtos da cultura, da comunidade e das ferramentas que se utiliza para

interagir com o meio; 4) o conhecimento é eficientemente ancorado⁷ e fixado na estrutura cognitiva por meio de contextos relevantes.

Por exemplo, como mencionado anteriormente, muito frequentemente nós lidamos com problemas cotidianos cuja solução não é óbvia. Isso nos mobiliza a pensar sobre objetivos, critérios e métodos diversos para sua solução. A busca da solução do problema torna-se, portanto, a motivação para aprender. Conseqüentemente, os conhecimentos adquiridos durante o processo de solução integram-se ao grupo de conhecimentos significativos, firmemente ancorados (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; TATAR; OKTAY, 2011).

2.3 CARACTERÍSTICAS DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

A seguir, apresentaremos o papel desempenhado por alunos, professores e da avaliação em propostas que utilizem a PBL. Uma análise dos princípios que a fundamentam permite concluir que esses papéis recebem novos significados, que se contrapõem àqueles de metodologias tradicionais de ensino e de aprendizagem (BORGES *et al.*, 2014; HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015; TATAR; OKTAY, 2011).

2.3.1 O papel do aluno

Diferentemente do método tradicional de ensino-aprendizagem, em que o professor é reprodutor dos conteúdos disciplinares e os alunos, receptores, a PBL favorece o protagonismo do aluno na construção do próprio conhecimento (SOUZA; DOURADO, 2015). Outro diferencial reside no fato de que, em metodologias tradicionais, o aluno acumula conhecimentos fragmentados para só depois de acumulá-los, resolver um problema. Na PBL, ele é exposto ao problema antes do processo de aprendizagem e acúmulo de saberes (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008).

A mudança de foco do professor para o aluno permite a compreensão, por parte deste, de que aprender implica em transformar informações em conhecimento. Borges e colaboradores

⁷ Em seu trabalho Hung, Jonassen e Liu (2008) não fazem referência ao termo “ancorado”, como na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. Ademais, neste trabalho, o termo *significativo* não se refere conceitualmente ao utilizado na teoria de Ausebel.

(2014) resumem o papel dos estudantes na PBL e o desenvolvimento de suas potencialidades da seguinte forma:

Portanto, a ABP valoriza, além do conteúdo a ser aprendido, a forma como ocorre o aprendizado, reforçando o papel ativo do aluno neste processo, permitindo que ele aprenda como aprender. A ABP oferece diversas vantagens, como o desenvolvimento da autonomia, a interdisciplinaridade, a indissociabilidade entre teoria e prática, o desenvolvimento do raciocínio crítico e de habilidades de comunicação, e a educação permanente. (BORGES, *et al.*, 2014).

Dos estudantes espera-se, portanto, que analisem e ofereçam uma solução para o problema proposto; que definam quais fontes de informações serão utilizadas e que compartilhem suas ideias com o grupo (TATAR; OKTAY, 2011). Tal protagonismo é desenvolvido em todas as etapas na PBL. Por exemplo, a partir da inserção da situação-problema, contextualizando-se com a realidade dos alunos, permite-se o levantamento de soluções hipotéticas (ou questões-problema) em função de seus conhecimentos prévios; a discussão em grupo faz com que os alunos direcionem e controlem o processo de investigação, estimulando-os a se sentirem responsáveis pela própria aprendizagem (SOUZA; DOURADO, 2015).

2.3.2 O trabalho em grupo

O trabalho colaborativo em grupo é a base da PBL (BORGES *et al.*, 2014). Souza e Dourado (2015) afirmam que o sucesso do método está na sua estruturação, fundamentada na intensa interação dos alunos entre si, com o contexto problemático e com o professor.

O convívio colaborativo pode ser alcançado a partir da divisão dos alunos em grupos tutoriais (BORGES *et al.*, 2014). Segundo a literatura consultada, a quantidade de alunos por grupo não é claramente definida, variando entre 4 e 10 estudantes. (BARROWS, 1996; BORGES *et al.*, 2014; HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015)

No entanto, a quantidade de alunos por grupo interfere diretamente na qualidade dos objetivos de aprendizagem. Estudos feitos por Lohman e Finkelstein (2000, *apud* HUNG; JONASSEN; LIU; 2008) avaliaram os efeitos do tamanho do grupo tutorial na aprendizagem autodirigida e revelaram que um grupo formado por seis alunos obteve resultados melhores em relação a outro grupo com nove integrantes. A partir de informações da literatura, estimamos o número ideal em quatro ou cinco alunos por grupo, pois favorece a participação nas discussões

de forma criativa e igualitária entre todos (HMELO-SILVER; EBERBACH, 2012; SOUZA; DOURADO, 2015).

Alguns integrantes do grupo tutorial podem receber funções, como o *estudante coordenador*, responsável por articular e facilitar as discussões no grupo; e o *estudante secretário*, responsável por anotar as decisões tomadas durante as discussões a fim de orientar os objetivos; sendo que, para cada novo encontro do grupo tutorial, tais funções podem ser alternadas entre todos os membros (BORGES *et al.*, 2014). Ademais, após a conclusão de cada módulo, novos grupos são organizados para que os estudantes possam trabalhar de forma cooperativa com diferentes colegas e professores (BARROWS, 1996).

No entanto, o trabalho cooperativo não está isento da possibilidade de ocorrerem divergências entre os membros do grupo (SOUZA; DOURADO, 2015), pois os alunos, segundo Zabala (2007, p.61), “encontram-se diante de uma série de conflitos pessoais e grupais de sociabilidade que é preciso resolver, o que implica que devam ir aprendendo a ‘ser’ de uma determinada maneira: tolerantes, cooperativos, respeitosos, rigorosos, etc.”.

Com efeito, a experiência do convívio colaborativo pelo trabalho em grupo é o meio pelo qual ocorre a aprendizagem dos conteúdos disciplinares e dos atributos relativos à formação pessoal e social dos alunos (BORGES *et al.*, 2014; SOUZA; DOURADO, 2015).

2.3.3 O perfil do professor tutor

Tendo em vista o estímulo da aprendizagem por investigação e a socialização do conhecimento adquirido, a função do professor na PBL é a de mediador na relação dos alunos com o conhecimento e caracteriza-se tanto pelo domínio do conteúdo, quanto em desenvolver habilidades interpessoais nos estudantes; daí o atributo de *professor tutor*⁸ (BARROWS, 1996; HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015), cujo perfil pode ser delimitado, ao considerarmos a amplitude da metodologia, como alguém responsável por:

Assumir a responsabilidade pela criação e apresentação do cenário problemático; colaborar com o processo de aprendizagem; ajudar na aprendizagem dos conhecimentos conceituais da disciplina; acompanhar o processo de investigação e resolução dos problemas; potencializar o desenvolvimento das competências de análise e síntese da informação; ser corresponsável na organização do espaço de encontro e relações no grupo; favorecer a criatividade que proporciona a independência dos alunos ao abordar os processos cognitivos. (SOUZA; DOURADO, 2015).

⁸ Doravante, a palavra *professor* se refere ao profissional da educação alinhado com a perspectiva tradicional de ensino, enquanto *professor tutor* se refere ao perfil do profissional conforme descrito nesta seção.

Portanto, a função do professor tutor é sugerir quais estratégias poderão ser utilizadas pelos estudantes a fim de obter resultados satisfatórios; além de agir como um facilitador durante as tomadas de decisão ao expressar suas opiniões e previsões (TATAR; OKTAY, 2011). Somando-se ao conhecimento específico de sua disciplina, é necessário que ele seja capaz de atualizar-se constantemente, para responder às demandas de sua disciplina para o desenvolvimento tecnológico, social e econômico (SOUZA; DOURADO, 2015). A atualização constante permitirá ao professor tutor relacionar situações reais com o processo de ensino e aprendizagem (SOUZA; DOURADO, 2015; TATAR; OKTAY, 2011).

Outra característica importante do professor tutor é a obtenção prévia de conhecimentos sobre métodos e estratégias de ensino e de processos psicológicos, para orientar os alunos durante o processo de aprendizagem (SOUZA; DOURADO, 2015). Cabe a ele garantir que cada membro do grupo seja tratado com respeito e não seja interrompido ou replicado durante a avaliação grupal, cuja finalidade é esclarecer possíveis desentendimentos durante o processo de aprendizagem, e permitir que cada membro desenvolva competências interpessoais e colaborando para que o grupo seja funcional (BORGES *et al.*, 2014).

Em suma, a atribuição do professor tutor junto aos alunos é de estimulá-los a construir o próprio conhecimento por meio do acompanhamento do processo investigativo, como uma espécie de “técnico cognitivo” (EDENS, 2000), de modo a estimular a participação dos alunos com provocações que podem ser feitas através de perguntas, por exemplo, mas sem explicitar os objetivos finais a serem alcançados. Este é o perfil esperado do professor tutor: que domine os conteúdos disciplinares e saiba orientar os alunos durante as etapas de resolução do problema (BARROWS, 1996).

2.4 ETAPAS ESTRUTURANTES DA PBL

A PBL é regida por princípios norteadores estruturados em etapas básicas, adaptáveis ao nível de ensino e disciplina a ser cursada (SOUZA; DOURADO, 2015).

A primeira etapa consiste na elaboração do cenário problemático pelo professor tutor; na segunda etapa, cada grupo de alunos (grupo tutorial) recebe o cenário problemático para que, em função de seus conhecimentos prévios, realizem o levantamento de hipóteses que respondam, provisoriamente, o problema exposto e definam, em conjunto, o planejamento da investigação. Após estas etapas, ocorre o processo de investigação com os recursos disponíveis;

e, finalmente, na quarta etapa, temos a síntese do processo de investigação, cujo propósito é apontar uma solução que deverá ser apresentada para a turma e avaliar o processo de ensino-aprendizagem por meio da PBL (SOUZA; DOURADO, 2015).

2.4.1 O desenvolvimento do cenário problemático

Como a PBL parte de uma situação-problema, a qualidade do cenário problemático consiste em uma das etapas mais importantes (BORGES *et al.*, 2014; HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015). Hung, Jonassen e Liu (2008) alertam que um problema mal formulado pode induzir os alunos a estabelecerem objetivos de aprendizagem que, ou não fazem parte do conteúdo programático, ou cujo conhecimento adquirido durante o processo de resolução do problema é insuficiente. Os autores citam quatro estudos relacionados à área médica em que, de todos os objetivos de aprendizagem estabelecidos pelos estudantes, em média 40% não faziam parte do conteúdo programático da disciplina.

Devido a importância da situação-problema, pesquisadores em PBL têm sugerido algumas orientações para se elaborar problemas eficazes (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008). Recomenda-se que o problema esteja relacionado com algum aspecto do cotidiano dos estudantes, pois assim os alunos são estimulados a se envolverem no processo de investigação do problema, cujo objetivo final é a aprendizagem dos conteúdos esperados pelo professor (BORGES *et al.*, 2014; SOUZA; DOURADO, 2015). Inúmeras fontes, como textos, histórias em quadrinhos, fotos, vídeos, filmes etc., podem ser utilizados como elementos para a elaboração do cenário problemático (EDENS, 2000). Um título atraente, que permita a identificação imediata do tema a ser estudado é igualmente importante (SOUZA; DOURADO, 2015).

A seguir, listamos outras características consideradas fundamentais para a elaboração do cenário problemático (SOUZA; DOURADO, 2015; TATAR; OKTAY, 2011). Todas elas estão sujeitas a adaptações ao contexto em que serão aplicadas:

- a) Ser atraente para os alunos, desafiando-os a buscarem por novos conhecimentos para solucioná-lo;
- b) Relacionar o conhecimento prévio dos estudantes com a situação-problema;
- c) Estar de acordo com o nível intelectual do grupo e não ser muito simples ou muito complexo, o que impediria a reflexão e discussão entre os alunos sobre o tema a ser aprendido;

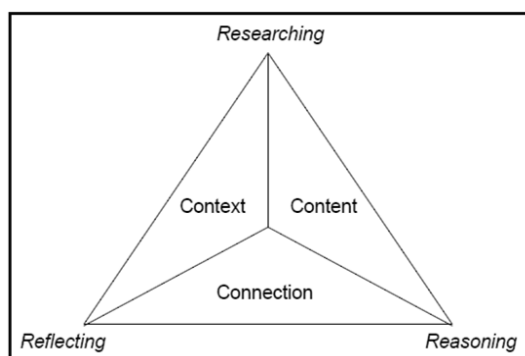
- d) A linguagem utilizada (escrita, verbal ou por imagem) precisa ser clara e sem distratores; a fim de permitir tomadas de decisões baseadas nas informações contidas no problema;
- e) Ser consistente com o conteúdo programático e os objetivos de aprendizagem;
- f) Permitir mais de um meio de resolução, ou seja, ser um problema aberto;
- g) Proporcionar aos estudantes as condições para melhorarem suas habilidades de análise, síntese e avaliação de dados.

Apesar de tais características serem úteis, elas não apontam para uma estrutura conceitual completa e sistemática que possa ser utilizada para o desenvolvimento de problemas considerados eficientes (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008). Hung (2006) justifica que tal carência é consequência de poucas pesquisas em desenvolvimento na área quando comparadas com outras linhas de pesquisa sobre a PBL, como resultados de aprendizagem, técnicas tutoriais e o papel do professor tutor, trabalho em grupo, e percepções de estudantes e professores.

Hung (2006) propõe o modelo chamado *3C3R* de desenvolvimento de problemas para a PBL, que pode ser aplicado a todos os níveis de ensino em qualquer disciplina. Tal modelo é dividido em duas categorias: componentes principais e componentes procedimentais. As componentes principais são *conteúdo*, *contexto* e *conexão* (do inglês *content*, *context* e *connection*), que estão relacionados com o aprendizado satisfatório do conteúdo e conceitos da disciplina. Por sua vez, os componentes procedimentais, *investigando*, *raciocinando* e *refletindo* (*researching*, *reasoning* e *reflecting*), têm a finalidade de proporcionar o envolvimento dos estudantes nos processos de investigação e desenvolvimento das habilidades de resolução de problemas.

Com este trabalho, Hung (2006) demonstra a importância de equilibrarmos tais componentes durante o desenvolvimento do problema para evitar dilemas inerentes à metodologia, como *amplitude versus profundidade* do conteúdo a ser aprendido ou *adquirir conhecimentos factuais versus habilidades de resolução de problemas*, devido a limitação do tempo. A Figura 1 mostra como tais componentes estão relacionadas de forma equilibrada no modelo *3C3R* (HUNG, 2006)⁹.

⁹ Em seu trabalho, Hung (2006) desenvolveu dois problemas, um para do EM e outro para o Fundamental, para exemplificar o método *3C3R*.

Figura 2.1 - Esquema visual do modelo 3C3R.

Fonte: Hung, (2006)

A partir desse modelo, Hung (2009) desenvolveu uma sequência de nove passos a serem observados durante o processo de formulação de problemas para a PBL, a fim de tornar o método 3C3R operacional. São eles: 1) definir as metas e objetivos da disciplina/curso; 2) analisar o tipo de conteúdo/tarefa a ser ensinado (conceitos, princípios, procedimentos etc.); 3) escolher um contexto específico adequado ao conteúdo; 4) gerar um problema real em função do *passo 3* que seja próximo da realidade dos estudantes; 5) construir o cenário problemático e analisar sua viabilidade; 6) analisar se o problema estabelece correspondência entre o conteúdo a ser aprendido e o nível de aprendizagem dos estudantes; 7) fazer os devidos ajustes em função do *passo 6*; 8) incluir no problema os componentes de ordem formativa e somática; 9) examinar a relação entre as componentes de acordo com o modelo 3C3R.

No trabalho de Hung (2009) temos, por exemplo, a sugestão de um guia prático para a elaboração de problemas que possam distribuir, igualmente, os objetivos de aprendizagem de conceitos disciplinares com o desenvolvimento das habilidades relativas à resolução de problemas por meio da PBL.

2.4.2 Interpretação do cenário problemático

De posse do cenário problemático, os alunos devem ser apresentados efetivamente ao problema, o que pode ser feito por um aluno apenas, que lê o problema em voz alta para todos do grupo, por exemplo; ou pela análise individual do problema por cada membro do grupo. O objetivo desta etapa é a interpretação do cenário problemático à luz dos conhecimentos prévios dos alunos (BORGES *et al.*, 2014; TATAR; OKTAY, 2011).

Em seguida, temos a etapa conhecida como “*brainstorming*”, momento em que os integrantes do grupo, juntamente com o professor tutor, compartilham suas interpretações do problema - que devem ser organizadas e sintetizadas para delimitar sua natureza - cuja

finalidade é identificar as questões-problema (como uma palavra desconhecida, por exemplo) e elaborar as hipóteses que irão orientar os objetivos de aprendizagem e a divisão das tarefas entre os membros do grupo (BORGES *et al.*, 2014; SOUZA; DOURADO, 2015). Uma estratégia a ser seguida para orientar esta etapa é obter as respostas para as perguntas, “*O que nós sabemos sobre o problema?*”; “*O que precisamos saber?*” e “*O que nós precisamos fazer?*” (EDENS, 2000).

Nesta etapa, o professor tutor deve garantir que todos os membros do grupo estejam envolvidos no processo de discussão e elaboração das questões-problema para que todos sejam estimulados a prosseguir com a etapa investigativa (BORGES *et al.*, 2014).

2.4.3 O processo de resolução do problema

Nesta etapa, os alunos iniciam o processo de investigação individual ou em grupo, ficando responsáveis tanto pelo controle do tempo para cada atividade, quanto pela divisão do conteúdo a ser estudado individualmente ou em grupo. Para tal, os alunos deverão utilizar os recursos e espaços disponíveis, conforme estabelecido na etapa anterior (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015).

Após o período de estudos definido pelo professor tutor, os estudantes se reencontram para discutir o produto de suas pesquisas para esclarecer as questões-problema e o problema à luz dos novos conhecimentos adquiridos. Nesta etapa, os alunos precisam ter a habilidade da escuta empática, para que, por meio da socialização do conhecimento, possam compreender as novas ideias trazidas pelos colegas do grupo, ideias essas entendidas como a complementariedade de suas pesquisas individuais. Ao final desta etapa os estudantes deverão entender que os conhecimentos adquiridos, depois de sintetizados pelo grupo, permitirão a compreensão de novos contextos e situações (BORGES *et al.*, 2014). As etapas do grupo tutorial, descritas no item anterior e neste, podem ser organizadas em passos. Borges *et al.* (2014) classificam-nas em sete passos; Tatar e Oktay (2011), em oito. Apesar da diferença quantitativa das etapas, elas se sobrepõem ou se complementam. A seguir, estão sintetizados os passos realizados pelo grupo tutorial, conforme Borges *et al.* (2014):

1. Leitura do problema, identificação e esclarecimento de termos desconhecidos;
2. Identificação do problema proposto;
3. Formulação de hipóteses (“*brainstorming*”);
4. Resumo das hipóteses;
5. Formulação dos objetivos de aprendizagem;

6. Estudo individual dos objetivos de aprendizagem;
7. Rediscussão do problema frente aos novos conhecimentos adquiridos.

2.4.4 Apresentação da solução do problema e avaliação do processo de aprendizagem

A solução do problema deverá sintetizar o conjunto de ideias e a sistematização do processo de investigação e ser apresentado, por exemplo, na forma de uma apresentação em slides pelo grupo (SOUZA; DOURADO, 2015). Alternativamente, temos a apresentação de projetos que representem ou complementem a solução do problema. Tais projetos podem ter ênfase utilitarista, científica, econômica, tecnológica ou cultural¹⁰ (PIETROCOLA *et al.*, 2013). Ao final desta etapa são feitas as avaliações individuais dos objetivos de aprendizagem e a avaliação grupal juntamente com o professor tutor, que deverá verificar as respostas das questões-problema levantadas pelo grupo no decorrer das aulas (SOUZA; DOURADO, 2015).

A PBL pressupõe mudanças no método avaliativo a fim de convergir com os princípios formativos da metodologia (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015), ou seja, os instrumentos avaliativos devem desafiar as habilidades de compreensão científica, das estratégias de raciocínio utilizadas na resolução de problemas, bem como as estratégias relacionadas à aprendizagem autorregulada e autodirigida (BARROWS, 1986; SOUZA; DOURADO, 2015). Portanto, além dos conteúdos conceituais relacionados ao “saber”, as atividades desenvolvem conteúdos procedimentais e atitudinais que precisam ser avaliados (ZABALA; ROSA; FARENZENA, 2007).

A avaliação dos conteúdos conceituais, ao contrário de uma avaliação tradicional com ênfase, apenas, no reconhecimento de conteúdos factuais, precisa enfatizar a aplicação e a transferência dos conhecimentos adquiridos ao longo do processo de aprendizagem em novas situações problemáticas (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008). Este tipo de avaliação nos permite averiguar o grau de compreensão de um determinado conceito a partir da sua integração à estrutura interpretativa dos alunos. Outra forma de verificação ocorre pela observação do uso de exemplos que ajudem na compreensão dos conteúdos conceituais, que ocorre durante o todo o processo de aprendizagem: desde as explicações espontâneas dentro do trabalho em grupo até a apresentação formal da solução do problema (ZABALA; ROSA; FARAZENA, 2007).

¹⁰ Tais propostas de produtos são utilizadas na Aprendizagem Baseada em Projetos (PIETROCOLA *et al.*, 2013).

Os conteúdos procedimentais referem-se ao “saber fazer”: saber dialogar, saber fazer uma pesquisa, um relatório, um questionário etc. Portanto, a avaliação da aprendizagem está relacionada com o domínio que se tem desses conteúdos ao transferi-los para a prática. Assim, a análise do grau de domínio dos conteúdos procedimentais pode ser feita nas atividades práticas que utilizem tais conteúdos, como, por exemplo, quando dialogam com os colegas do grupo tutorial e com o professor tutor, quando fazem uma pesquisa bibliográfica etc. As avaliações em papel também podem ser utilizadas com a finalidade de aferir os procedimentos dessa modalidade avaliativa, como a escrita, a representação na forma de gráficos etc. Contudo, o principal meio de avaliação dos conteúdos procedimentais é a observação sistêmica do comportamento dos alunos pelo professor tutor (ZABALA; ROSA; FARENZENA, 2007).

Por fim, determinar o grau de aprendizagem de conteúdos atitudinais dos alunos por meio de avaliações é extremamente complexo, pois são conteúdos cognitivos relacionados à conduta e à afetividade. A dificuldade reside na subjetividade das posições ideológicas do professor sobre os conteúdos atitudinais, de modo que, dificilmente, dois professores usariam os mesmos critérios para avaliar a tolerância e a solidariedade, por exemplo. Apesar dessa dificuldade, é possível estabelecer a carência destes conteúdos por parte dos estudantes como parâmetro para a avaliação atitudinal. Por meio da análise do comportamento dos alunos em situações conflituosas é possível saber os valores e atitudes cultivados por eles. Igualmente à avaliação anterior, a PBL tem na observação sistêmica do professor tutor do trabalho em grupo, do comportamento dentro e fora da sala de aula, da distribuição das atividades, dentre outras, as principais fontes de observação para avaliação dos conteúdos atitudinais (ZABALA; ROSA; FARENZENA, 2007).

Portanto, na PBL todo o processo avaliativo da aprendizagem dar-se-á em função da resolução de problemas (BARROWS, 1986; EDENS, 2000). Como em outras metodologias, a avaliação é um desafio para o professor tutor, que é o responsável por estabelecer os critérios e as atividades que serão utilizadas como instrumentos avaliativos (SOUZA; DOURADO, 2015).

Segundo Felder e Brent (2003), a forma mais eficaz de avaliar aquisição de conteúdos na PBL é por meio da diversificação dos instrumentos avaliativos, como: relatórios/diários sobre o andamento das atividades, portfólios, testes objetivos; exames baseados nos problemas; observação do desempenho nas atividades colaborativas; entrevista individual ou em grupo; autoavaliação e avaliação grupal, elaboração de artigos, resumos; apresentação oral; vídeos

curtos entre outros (ECHAVARRIA, 2010; FELDER; BRENT, 2003; SOUZA; DOURADO, 2015).

Ademais, como na avaliação individual e grupal, é importante que se realize a avaliação do professor tutor e do método de ensino, a fim de obter informações que permitam o replanejamento e atualização dos cenários problemáticos pelo professor tutor, com o objetivo de aperfeiçoar o método e suas práticas para as turmas seguintes (SOUZA; DOURADO, 2015).

2.5 ALGUMAS VARIAÇÕES DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

O método da PBL foi concebido, inicialmente, para atender uma proposta curricular, mas o termo “PBL” não se refere ao método específico de ensino empregado na Universidade de McMaster (BARROWS, 1986). Conforme mencionado anteriormente, devido à sua popularidade, o método original recebeu alterações a fim de se adequar aos objetivos educacionais de cada instituição de ensino. As taxonomias¹¹ do método tornaram flexível o termo “problem-based learning” de modo que ele possui vários significados, a depender dos objetivos de aprendizagem e das habilidades do professor; podendo, ainda, ser empregado em todo o curso ou apenas em uma unidade de estudo. Portanto, tal termo pode ser relacionado com qualquer método de ensino que tenha na resolução de um problema o motivo da aprendizagem. Trata-se de um método versátil, cujas variações permitem atingir objetivos educacionais diferentes, a depender do currículo e das formas com que o problema pode ser desenvolvido (BARROWS, 1986; EDENS, 2000).

Na Universidade de McMaster, por exemplo, o curso seguia o *Currículo da PBL*, caracterizando a *PBL Pura*. Neste formato, todo o currículo é desenvolvido em função da metodologia e os problemas são elaborados por uma comissão de professores. Assim, os problemas aumentam gradativamente em complexidade e interdisciplinaridade, culminando em situações semelhantes àquelas a ser enfrentadas pelos futuros profissionais em seus primeiros anos de carreira (BERBEL, 1998; EDENS, 2000; RIBEIRO, 2008). A tradicional Universidade de Harvard, entretanto, desenvolveu um currículo híbrido entre a PBL e métodos convencionais

¹¹ A palavra *taxonomia*, no contexto aqui empregado, faz referência à classificação estruturada e orientada aplicada a alguma teoria instrucional, com o propósito de se obter informações sobre a funcionalidade da mesma (FERRAZ; BELHOT, 2010).

de ensino. A *PBL Híbrida* ocorre quando o núcleo curricular é baseado na aprendizagem em problemas em conjunto com disciplinas isoladas que servem ao núcleo curricular, mesmo com práticas tradicionais de ensino (BARROWS, 1996; RIBEIRO, 2008).

A *PBL Parcial*, por sua vez, é caracterizada pela utilização do método em disciplinas isoladas de cursos com currículo tradicional. Neste caso, os problemas têm por finalidade introduzir, estruturar e aprofundar os conteúdos para apenas um componente da proposta curricular, de modo que os demais componentes possam ser trabalhados separadamente, sem vínculo com os problemas e com metodologias diferentes. Quando se utiliza o problema em momentos específicos de uma disciplina - que pertence a um componente curricular tradicional - para aprofundar e/ou integrar conceitos, temos a *PBL Pontual*; também conhecida como *post-holing*. Estes dois últimos casos devem ser entendidos como estratégias de ensino, pois não implicam em alterações no currículo (BARROWS, 1986; EDENS, 2000; RIBEIRO, 2008).

O tipo de variação do método PBL depende também da forma com que o cenário problemático será apresentado e solucionado. Por exemplo, em um estudo de caso do tipo *vinheta*¹² os estudantes organizam os fatos fornecidos a fim de saber do que se trata o problema, e, então, decidir o que deveria ser feito com base nessas informações. Outro exemplo seria o caso em que os estudantes são apresentados ao problema, e, a partir da livre investigação deste, selecionam as informações que conduzirão à melhor linha de raciocínio para sua solução. Tais exemplos são dois extremos: no primeiro caso, é preciso conhecer o problema a partir das informações obtidas; no segundo, tem-se o problema, mas não as informações. Assim, qualquer formato do problema e sua respectiva adaptação estão limitados por esses dois extremos (BARROWS, 1986).

Outra variação está relacionada a qual sujeito será responsável por definir os conteúdos a serem abordados ao longo do processo de ensino-aprendizagem: se o professor tutor, que definirá a quantidade e a sequência dos conteúdos a serem estudados - semelhantemente ao que ocorre nas aulas tradicionais - ou os alunos, que assumem as responsabilidades sobre o próprio aprendizado e definem os seus objetivos de aprendizagem a partir do problema proposto. Por fim, a sequência em que os problemas são introduzidos e as informações disponibilizadas também implicam em variações do método (BARROWS, 1986).

¹² A *vinheta* é conceituada como a descrição estruturada de eventos, narrativas, que permitem eliciar informações para conhecer o fenômeno estudado. (GALANTE *et al.*, 2003)

A seguir, estão listadas algumas possibilidades, descritas por Barrows (1986), comumente utilizadas para combinar tais variáveis:

- Caso baseado em palestras¹³: o professor apresenta as informações que deseja transmitir aos estudantes por meio de uma palestra. Utiliza, então, um caso para demonstrar a importância das informações. Pede-se que os estudantes, a partir das informações fornecidas ou de sua reformulação, entendam o problema (caso). É permitido aos estudantes formular hipóteses, analisar dados e tomar decisões, ainda que limitadas. No entanto, não atende aos princípios instrucionais da PBL.
- Palestras baseadas em casos¹⁴: apresenta-se um caso que deve ser analisado pelos estudantes a partir de seus conhecimentos prévios. O caso aponta para o assunto que será apresentado na palestra, sendo os estudantes direcionados para obter as informações necessárias a partir da palestra. Nesta situação não ocorre aprendizagem autodirigida, pois toda informação necessária provém das palestras.
- Estudo de caso: os estudantes recebem um caso completo que deve ser estudado e pesquisado para uma posterior discussão em sala de aula. Durante a discussão sobre o caso, intermediada pelo professor, os alunos aprendem com o professor e por si próprios. Este método desenvolve aprendizagem autodirigida, formulação de hipóteses, análise de dados e tomadas de decisão.
- Estudo de caso modificado: neste método, os estudantes em pequenos grupos tutoriais são apresentados ao problema que passará a ser estudado. Este modelo desenvolve mais as habilidades mencionadas nos modelos anteriores (levantamento de hipóteses, pensamento investigativo, análise de dados, tomada de decisão e síntese de resultados). No entanto, o formato dos problemas empregados, a falta de acompanhamento durante o processo de investigação e a não aplicação dos resultados obtidos, limitam o pleno desenvolvimento dessas habilidades. Geralmente, tal método é empregado quando o objetivo instrucional é desenvolver a aprendizagem autodirigida.
- Aprendizagem baseada em problemas: trata-se do método comumente conhecido pela sigla PBL¹⁵. Os estudantes, em grupos tutoriais, são apresentados ao problema, acompanhados pelo professor tutor. Baseados em seus conhecimentos prévios, os estudantes são desafiados pelo professor tutor a desempenhar livremente as habilidades supracitadas, relativas à resolução do problema. A definição das

¹³ Tradução nossa para a expressão *Lecture-based cases*.

¹⁴ Tradução nossa para a expressão *Case-based lectures*.

¹⁵ Em todo o capítulo a sigla PBL utilizada se refere a esta taxonomia, objeto de estudo deste trabalho.

estratégias de investigação pelo grupo tutorial conduz à aprendizagem autodirigida e autorregulada dos conteúdos, cuja finalidade é a aquisição de dados que sustentem, ou não, as hipóteses feitas. A aquisição de novos conhecimentos pelos estudantes é facilitada neste método graças a ativação de seus conhecimentos prévios que, durante o processo de aprendizagem, poderão ser úteis ou inúteis para a resolução do problema. Neste método, os resultados obtidos não são utilizados para reinterpretar o problema.

- Aprendizagem baseada em problemas por meio de processos reiterativos¹⁶: Trata-se da complementação do método anterior. Após a etapa da aprendizagem autodirigida e autorregulada, pede-se aos estudantes que reavaliem suas fontes de pesquisa, para então, retornarem ao problema inicial e reavaliá-lo, a fim de perceberem o ganho no desenvolvimento de suas habilidades em relação ao início do processo de aprendizagem, bem como seus conhecimentos prévios. Ademais, espera-se que ocorra uma nova etapa de aprendizagem autodirigida a fim de que seja elaborada uma segunda análise e síntese do problema.

Portanto, existem várias possibilidades de aplicação da PBL, sendo que a escolha dependerá dos objetivos educacionais, habilidades do professor, sequência didática que se pretende utilizar, grau de liberdade que se pretende dar aos alunos, tempo disponível, suporte pedagógico e infraestrutura (BARROWS, 1986; SOUZA; DOURADO, 2015).

A partir do exposto, enquadrámos o nosso produto educacional na variação PBL Parcial, pois a forma com que os problemas são trabalhados se aproxima da variação da *Aprendizagem Baseada em Problemas; Parcial*, porque a metodologia será desenvolvida em apenas uma componente curricular do Estado de São Paulo para as CNST, compostas pelas disciplinas de Biologia, Física e Química.

2.6 LIMITES E CONTRIBUIÇÕES DO MÉTODO PBL

A partir da pesquisa bibliográfica realizada, delineamos os limites, as dificuldades e as contribuições dessa metodologia com o intuito de compreender seu potencial enquanto proposta a ser aplicada na educação básica brasileira.

¹⁶ Tradução nossa para a expressão *Reiterative problem-based*

2.6.1 Contribuições

O elemento motivacional é a contribuição mais expressiva da metodologia (BARROWS, 1986; BORGES *et al.*, 2014; SOUZA; DOURADO, 2015). A criatividade, o dinamismo e o protagonismo dos estudantes durante o processo de aprendizagem são evidências desta motivação. A interação com a realidade, a partir do envolvimento com o problema, e os desdobramentos trazidos por sua solução estimulam os alunos a construir o próprio conhecimento de forma prazerosa e significativa (SOUZA; DOURADO, 2015). Isto torna os estudantes que participaram da PBL mais confiantes frente às situações problemáticas que envolvem tomadas de decisão e contribuem para o desenvolvimento do processo de autoaprendizagem (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008).

A integração do conhecimento, ao invés do estudo de conteúdos fragmentados em disciplinas, é outra vantagem do método. Trabalhar com situações reais que relacionam o conhecimento prévio dos alunos com outros aspectos do saber, de forma ampla e contextualizada, favorece uma aprendizagem integrada e duradoura (BORGES *et al.*, 2014; SOUZA; DOURADO, 2015).

A literatura também aponta para a eficácia da PBL como meio para o desenvolvimento de habilidades voltadas para a resolução de problemas (BERBEL, 1998; BORGES *et al.*, 2014; HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; TATAR; OKTAY, 2011). Estudos feitos por Gallagher *et al.* (1992, *apud* HUNG; JONASSEN; LIU, 2008) revelaram que estudantes em nível do EM com experiência na PBL tiveram mais êxito durante o processo de investigação de um problema interdisciplinar quando comparados com alunos que não tiveram a mesma formação. Ademais, estudantes com formação na PBL conseguiram aplicar os conhecimentos científicos adquiridos à resolução de problemas reais, de ordem pessoal e profissional.

Outro atributo do método é favorecer o desenvolvimento de estruturas cognitivas de *ordem superior*, como o pensamento crítico e analítico, a fim de avaliar as informações disponíveis e formular hipóteses, para então decidir a melhor solução para o problema (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008). O desenvolvimento do pensamento crítico pode ser entendido como desdobramento da integração dos conhecimentos. Devido a investigação dos problemas, que se traduz na busca por informações, emerge a necessidade de analisá-las criticamente para definir como serão utilizadas para resolver o problema (SOUZA; DOURADO, 2015).

2.6.2 Limites

Segundo Borges e colaboradores (2014), a tentativa de se institucionalizar uma metodologia inovadora como a PBL esbarra em limitações de ordem financeira e de recursos humanos. A começar pela própria resistência de professores e alunos, acostumados com práticas tradicionais de ensino. Os professores, por não possuírem as habilidades características do professor tutor, podem se sentir inseguros em adotar esta metodologia. Os alunos, por sua vez, acostumados com a passividade da transmissão de conhecimentos, quando confrontados com a necessidade de manifestar uma postura proativa, podem permanecer indiferentes durante o desenvolvimento das atividades (BORGES *et al.*, 2014; SOUZA; DOURADO, 2015). A incerteza quanto ao seu papel dentro do grupo e sobre os critérios de avaliação também reforçam a objeção dos alunos à metodologia (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008).

O princípio de que os alunos são os responsáveis pela construção do próprio conhecimento torna a administração do tempo um desafio para a implantação da PBL, pois, para que os pequenos grupos se tornem dinâmicos e para que a aprendizagem seja satisfatória, o tempo das disciplinas necessita ser ampliado. Seria impossível adquirir um aprendizado relevante como propõe a metodologia em questão, dispendo do mesmo tempo dos métodos tradicionais (BORGES *et al.*, 2014; SOUZA; DOURADO, 2015).

O trabalho em pequenos grupos demanda, além do aumento da duração da disciplina, que professor tutor acompanhe o processo de aprendizagem (SOUZA; DOURADO, 2015). Para Borges e colaboradores (2014), esta nova função do professor junto ao grupo implica na necessidade de ampliar o corpo docente e na implementação de programas de capacitação de professores.

Ao se trabalhar com problemas de caráter interdisciplinar, a distribuição dos conteúdos disciplinares a serem aprendidos pode ser desproporcional. Uma disciplina pode aprofundar um determinado conteúdo enquanto outra o fará de forma superficial. Ademais, pode ocorrer que alguns professores não adiram à PBL, aumentando o desequilíbrio entre os conteúdos (SOUZA; DOURADO, 2015). Daí surge a necessidade de se promover uma Comissão de Currículo¹⁷ para desenvolver um currículo que atenda as especificidades da PBL (BERBEL, 1998; SOUZA; DOURADO, 2015).

¹⁷ A comissão de Currículo é aplicada no caso da PBL Pura.

No que tange aos recursos materiais, a aplicação do método enfrenta outro entrave. A atuação ativa e autônoma dos alunos implica em terem acesso a recursos educacionais, como laboratórios, bibliotecas, sala de informática com acesso à internet, sala de estudos etc. Assim, a PBL demanda recursos financeiros por parte da instituição de ensino responsável por garantir o acesso à estrutura necessária para o desenvolvimento das atividades (BORGES *et al.*, 2014; SOUZA; DOURADO, 2015).

Ademais, a literatura não é unânime quanto à eficácia da PBL para o aprendizado de conteúdos disciplinares. Segundo Hung, Jonassen e Liu (2008), o método é criticado por enfatizar o desenvolvimento de habilidades relacionadas a resolução de problemas em detrimento da aquisição superficial dos conhecimentos disciplinares. Em estudo realizado por Ferreira e Coelho (2016) com dois grupos de alunos do 9º ano, um formado por alunos com experiência em PBL, e o outro formado por estudantes sujeitos ao processo tradicional de ensino, os resultados mostraram que aqueles alunos não consideraram essa metodologia favorável para o domínio dos conceitos e do vocabulário específico ao conteúdo disciplinar de Geografia, de modo que os autores sugerem que ambas as metodologias de ensino deveriam ser trabalhadas de forma complementar.

Hung (2008) alerta que a avaliação na PBL é fonte de controvérsias. Pesquisas mostraram que os alunos que estudaram por esta metodologia estão em desvantagem em relação aos demais quando expostos aos métodos tradicionais de avaliação de conteúdos factuais e conceituais.

Ainda segundo Borges e colaboradores (2014), as vantagens e desvantagens mencionadas devem ser consideradas em função das especificidades que definem cada currículo. A avaliação deste define também a avaliação da eficiência do método sobre a aprendizagem dos alunos, a qual devem convergir com os objetivos definidos pelo currículo PBL (BERBEL, 1998; BORGES *et al.*, 2014).

2.7 A PBL APLICADA AO ENSINO DE FÍSICA

As variações do método PBL permitem sua transposição para diversos contextos educacionais (BARROWS, 1986). No que tange ao Ensino de Física em nível superior, a transposição comumente utilizada é a PBL Parcial, em que um ou mais problemas constituem

módulos de ensino (ALLEN; DUCH; GROH, 1996; TATAR; OKTAY, 2011). Tatar e Oktay (2011) mencionam sua aplicação para a aprendizagem dos conteúdos sobre sólidos, pressão, gases, mecânica newtoniana, força e movimento, tensão superficial, viscosidade e condutividade.

A título de exemplo, o *Institute of Physics* (IOP), em parceria com a *Leicester University*, disponibiliza em seu *site* 15 módulos PBL para o ensino-aprendizagem de conteúdos sobre energia, radiação térmica, eletromagnetismo, indução eletromagnética, força de atrito, introdução à teoria AC, óptica, semicondutores, dinâmica entre outros¹⁸. O *Collegial Center for Educational Materials Development* (CCEMD) também disponibiliza em um *website*¹⁹ 34 problemas de física elaborados e testados para o método PBL pelo *Québec College System*. São 16 problemas sobre mecânica; 9 sobre eletricidade e magnetismo; ondas, óptica e física moderna totalizam 9 problemas. O site também disponibiliza um curso introdutório sobre como implementar o método da PBL no Ensino de Física, tratando desde as bases teóricas, o desenvolvimento do problema, avaliação e as variações do método²⁰.

Tatar e Oktay (2011) apresentam um módulo composto por seis problemas para o ensino-aprendizagem da Primeira Lei da Termodinâmica. A Tabela 2.2 contém o conjunto dos cenários utilizados como problemas e seus respectivos objetivos de aprendizagem, que constituem um módulo de aprendizagem dentro do curso Calor e Matéria.

Tabela 2.1 - Exemplo de um módulo PBL para o ensino de Termodinâmica

Nome do problema	Conceitos abordados
A garrafa térmica	Sistema, tipos de sistema, fronteira do sistema, ambiente, conservação de energia
Calor ou temperatura?	Calor e Temperatura
Conservação da Energia	Conservação, transformação e degradação da energia
Bomba Atômica	Conservação de energia, energia interna, formas de energia nas escalas e macro
Envenenamento pelo aquecedor de água	Lei de Hess, energias de quebra e de formação de ligações, função de estado

Fonte: Tatar e Oktay (2011)

¹⁸ Disponível em: < http://www.iop.org/education/higher_education/stem/problem-based/page_55225.html >. Acesso em: 8 jul. 2018.

¹⁹ Disponível em: < <https://ccdmd.qc.ca/eng/catalog/problem-based-learning-college-physics> >. Acesso em: 23 jul. 2018.

²⁰ Disponível em: < http://www.iop.org/education/higher_education/stem/problem-based/file_50126.pdf >. Acesso em: 8 jul. 2018

Dentre esses cenários problemáticos, no problema *Conservação de energia*, os alunos são convidados a se colocarem na posição de um jornalista turco recém-contratado, que foi incumbido de escrever uma reportagem sobre a crise energética no País. Entretanto, o jornalista enfrenta um dilema, pois suspeita que a finalidade da reportagem seja difamar o governo, uma vez que, em seus conhecimentos prévios das aulas na educação básica, a energia se conserva. O problema consiste em decidir qual será o teor da reportagem a ser escrita pelo jornalista (TATAR; OKTAY, 2011).

Montanher (2012) descreve a elaboração e resultados de dois casos aplicados no decorrer de dois bimestres - um caso por bimestre - em turmas do terceiro ano do EM. O primeiro caso, denominado “Banho quente e barato”, trata de uma conversa entre amigos que culmina em uma espécie de desafio entre os personagens do caso. Os alunos precisam internalizar a posição destes personagens a fim de demonstrar qual deles ofereceu a melhor solução para se tomar um banho quente. Tal caso compreende os conteúdos relativos ao tema *Equipamentos Elétricos*, a serem estudados dentro do período de um bimestre. O segundo caso trata sobre uma conversa, via correspondência, entre dois membros da mesma família. Um deles, por ser estudante de física, deve responder ao remetente (um agricultor) que está com dúvidas sobre um suposto uso de radiação nos alimentos como um tipo de defensivo agrícola. A tarefa dos alunos foi responder as dúvidas do remetente a partir do estudo dos conteúdos relativos ao tema *Matéria e Radiação*, compreendido em um bimestre.

Capítulo 3

A TEORIA DE VIGOTSKI PARA O DESENVOLVIMENTO COGNITIVO

Na tentativa de fazer com que o conhecimento em Física seja vinculado às estruturas cognitivas dos alunos é importante compreendermos o alcance de diferentes teorias de aprendizagem²¹ enquanto se dá o processo de ensino-aprendizagem. Assim, poderemos interpretar os mecanismos pelos quais ocorre a compreensão dos conceitos e fenômenos físicos (OSTERMANN; REZENDE, 2009; ROSA; ROSA, 2005).

O presente trabalho assume como referencial teórico de aprendizagem a teoria Histórico-Cultural do psicólogo soviético Liev Semiónovitch Vigotski²² (1896-1934). Vítima de tuberculose, Vigotski faleceu aos 38 anos, deixando uma vasta e incompleta obra intelectual. Seus colaboradores, A.N. Leontiev (1903-1979) e A.R. Luria (1902-1977), deram continuidade às suas teorias (LEFRANCOIS, 2008; MOREIRA, 2011).

Segundo essa teoria psicológica, o desenvolvimento intelectual humano é um processo que está vinculado à interação social entre os sujeitos, cujas implicações educacionais ocorrem no âmbito da inter-relação da aprendizagem como condição para o desenvolvimento cognitivo (MOREIRA, 2011; ROSA; ROSA, 2005).

Ao contrário da teoria cognitivista de Jean Piaget (1896-1980) - do qual Vigotski foi crítico e contemporâneo - que atribui às “forças” internas²³ da criança o próprio desenvolvimento cognitivo, a teoria vigotskiana enfatiza o papel das “forças” externas (LEFRANCOIS, 2008). Nas palavras de Vigotski (2005):

Para Piaget, o desenvolvimento do pensamento é a história da socialização gradual dos estados mentais autísticos, profundamente íntimos e pessoais. Até mesmo a fala social é representada como sendo subsequente, e não anterior, à fala egocêntrica. A hipótese que propomos inverte esse percurso. (...) A fala egocêntrica emerge quando

²¹ Segundo Moreira (2011), uma teoria de aprendizagem é uma construção humana cujo objetivo é interpretar, sistematicamente, a área de conhecimento a qual chamamos de aprendizagem (MOREIRA, 2011).

²² A tradução de Лев Семёнович Выготский - original no alfabeto cirílico russo - para a literatura ocidental produziu diferentes grafias para este mesmo nome (Vygotsky, Vyotski, Vigotsky e Vigotski). Neste trabalho adotaremos Vigotski por ser o mais comum na língua portuguesa, exceto quando se tratar de citação de outros autores, quando a grafia por eles adotada será mantida.

²³ Segundo a teoria piagetiana, o desenvolvimento cognitivo decorre da adaptação biológica do organismo ao meio externo, devido a movimentos internos de acomodação e assimilação (LEFRANCOIS, 2008).

a criança transfere formas sociais e cooperativas de comportamento para a esfera das funções psíquicas interiores e pessoais. (VIGOTSKI, 2005, p. 22).

Para uma criança em idade escolar, por exemplo, as “forças” externas a ela, manifestadas em suas interações sociais no ambiente escolar – interação com os objetos organizados no espaço escolar, com os demais alunos e com o(s) professor(es) – convertem-se em seu desenvolvimento cognitivo (LEFRANCOIS, 2008; ROSA; ROSA, 2005).

A teoria vigotskiana pode ser organizada em três temas gerais: (1) a tese de que os processos mentais que envolvem a atividade humana, tanto no plano social quanto individual, são mediados por instrumentos e signos; (2) a tese de que o desenvolvimento das funções mentais superiores do indivíduo tem sua origem na interação social; e (3) a confiança no método genético-experimental para analisar o desenvolvimento cognitivo do ser humano (MOREIRA, 2011; PEREIRA; LIMA JUNIOR, 2014).

Passaremos a analisar tais temas e, posteriormente, as implicações educacionais da teoria para a aprendizagem de conhecimentos em Física.

3.1 O SIGNO E A MEDIAÇÃO NOS PROCESSOS MENTAIS SUPERIORES

A teoria de Vigotski para o desenvolvimento mental tem como ponto de partida os conceitos de *funções mentais elementares* e *funções mentais superiores* utilizadas na psicologia para se referir, respectivamente, aos fenômenos psicológicos que ocorrem tanto em seres humanos quanto nos demais animais, e aos fenômenos psicológicos exclusivamente humanos (PEREIRA; LIMA JUNIOR, 2014).

Fundamentalmente, as funções²⁴ elementares caracterizam-se por não serem aprendidas; mas, sim, de respostas comportamentais naturais (biológicas) que são, total e diretamente, determinadas por estímulos ambientais. No homem, tais funções são evidenciadas, por exemplo, pela capacidade do recém-nascido de sugar e chorar. Por outro lado, as funções mentais superiores têm como principal característica a capacidade do ser humano de se autoestimular através do uso de *signos*, que criam, artificialmente (de forma não biológica), o processo de desenvolvimento psicológico. Por exemplo, as respostas a determinados comportamentos que estão relacionadas às experiências de pensamento - como lembrar, abstrair

²⁴ A palavra “função” deve ser entendida com mesmo sentido de “ação”, de “atividade prática humana”. Por exemplo, o *raciocínio* como uma função mental é tido como algo que se “faz”, ou seja, com a ação de raciocinar; e não aquilo que “se tem” (PEREIRA; LIMA JUNIOR, 2014).

ou resolver problemas - são desenvolvidas através do uso dos signos (LEFRANCOIS, 2008; VYGOTSKY, 1998).

Por definição, signos são representações, que podem ser utilizados para significar outras coisas, sendo classificados em três tipos: indicadores, icônicos e simbólicos (MOREIRA, 2011). Segundo Moreira (2011), signos indicadores possuem uma relação direta de causa e efeito com o que se pretende significar; os signos icônicos são imagens daquilo que significam; e os signos simbólicos possuem uma relação abstrata com aquilo que significam.

A partir da análise de experimentos relativos ao fenômeno da memória, Vigotski e seus colaboradores (1998) descreveram como as funções mentais elementares se desenvolvem em funções mentais superiores graças ao uso dos signos, criando novas relações psicológicas nos seres humanos:

Toda forma elementar de comportamento pressupõe uma reação direta à situação-problema defrontada pelo organismo - o que pode ser representado pela fórmula simples (S→R). Por outro lado, a estrutura de operações com signos requer um elo intermediário entre o estímulo e a resposta. Esse elo intermediário é um estímulo de segunda ordem (signo), colocado no interior da operação, onde preenche uma função especial; ele cria uma nova relação entre S e R. (...). Esse signo possui, também, a característica importante de ação reversa (isto é, ele age sobre o indivíduo e não sobre o ambiente). Consequentemente, o processo simples estímulo-resposta é substituído por um ato complexo, mediado. (...) Estudos cuidadosos demonstraram que esse é um tipo básico de organização para todos os processos psicológicos superiores. (VYGOTSKY, 1998, p. 53).

Portanto, para as funções mentais superiores, o processo estímulo – resposta é *mediado* por signos. Ademais, por meio da ação reversa do signo sobre o ser humano, este desenvolve novas funções psicológicas superiores que o capacitam a controlar o próprio comportamento (COLE; SCRIBNER, 1998).

A memória, por exemplo, como uma atividade mental, pode ser diferenciada entre *memória natural* (que se assemelha a uma função elementar) e *memória indireta* que, devido ao uso de signos mnemônicos, é entendida como uma função mental superior. Quando programamos o despertador para lembrar-nos de tomar algum remédio no horário certo, ou quando fazemos uso de uma agenda para honrarmos nossos compromissos, estamos usando instrumentos para controlar nossa memória. Já o uso elementar da memória (memória natural) decorre da lembrança imediata de se tomar o remédio quando olhamos para a cartela de comprimidos (PEREIRA; LIMA JUNIOR, 2014).

Diferentemente de outras espécies superiores de animais, como os macacos antropoides, a operação com signos é exclusiva dos seres humanos. Analogamente à invenção das ferramentas, que são utilizadas como meio de realização de uma tarefa, os signos podem

ser entendidos como instrumentos psicológicos, criados e utilizados para solucionar problemas no plano psicológico (COLE; SCRIBNER, 1998; PEREIRA; LIMA JUNIOR, 2014).

Com efeito, signos e instrumentos são criações humanas, de natureza social, ou seja, “as sociedades criam não só instrumentos, mas também sistemas de signos; ambos são criados ao longo da história dessas sociedades e se modificam, influenciam, seu desenvolvimento social e cultural” (MOREIRA, 2011, p. 109).

Portanto, o uso social dos signos como meio de interação social precede tanto o seu papel no desenvolvimento das funções mentais elementares em funções superiores, quanto na criação de novas formas de processos psicológicos (COLE; SCRIBNER, 1998; PEREIRA; LIMA JUNIOR, 2014). Para esta última situação, devemos entender que a introdução de um novo signo no fluxo da atividade humana produz mais transformações qualitativas expressivas no modo de agir do que ganho quantitativo de eficiência da ação (WERTSCH, 2002).

3.2 - INTERNALIZAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DOS PROCESSOS MENTAIS SUPERIORES

Na criança, a substituição dos processos estímulo–resposta por processos mentais superiores, mediados por signos, não obedece apenas a lógica ou é fruto da descoberta súbita das relações entre os signos e a forma de utilizá-los. Ao contrário,

As operações com signos aparecem como resultado de um processo prolongado e complexo, sujeito a todas as leis básicas da evolução psicológica. Isso significa que a atividade de utilização de signos nas crianças não é inventada e tampouco ensinada pelos adultos; ao invés disso ela surge de algo que originalmente não é uma operação com signos, tornando-se uma operação desse tipo somente após uma série de transformações qualitativas (...), ligadas como estágios de um mesmo processo e são, quanto a sua natureza, históricas. (VYGOTSKY, 1998, p.60).

Assim, na história do comportamento de uma criança, existe uma zona de transição entre os processos elementares (de natureza biológica) e os processos mentais superiores (de origem sociocultural), culturalmente adquiridos. Com efeito, é durante a infância que a criança desenvolve duas funções superiores que são as raízes de seu desenvolvimento cultural: o uso de instrumentos e da fala (COLE; SCRIBNER, 1998).

As interações sociais, entendidas como cultura, são responsáveis por influenciar nossas tendências e comportamentos naturais. Por meio de signos socialmente compartilhados e

classificados, a cultura aponta quais são as habilidades que devemos desenvolver para sermos bem-sucedidos. No entanto, antes do signo exercer o papel mediador sobre o comportamento humano, ele é mediador das interações sociais (COLE; SCRIBNER, 1998; LEFRANCOIS, 2008).

Na teoria de Vigotski (1998), a conversão das interações sociais em funções mentais superiores ocorre por meio do processo de *internalização* dos signos, que consiste em uma série de transformações que reconstróem internamente (ou seja, mentalmente) uma operação externa. O autor exemplifica o processo de internalização para o caso de uma criança pequena que aprende o gesto (signo) de apontar para um objeto. Inicialmente, o gesto de apontar é apenas uma resposta, um movimento dirigido, na tentativa da criança querer alcançar o objeto que está além de seu alcance. Mas um adulto, a mãe por exemplo, ao observar a situação, entende que o movimento da criança significa que ela está apontando para o objeto. A mãe, por sua vez, coloca o objeto ao alcance da criança. Consequentemente, a criança passa a entender que aquele movimento direcionado não produz uma reação direta sobre o objeto, mas sim que ele estabelece uma relação com outra pessoa. A partir desta relação a criança inicia o processo de internalização do signo, simplificando fisicamente o movimento de pegar no ato de apontar. Este ato tornar-se-á o verdadeiro gesto de apontar quando a criança conseguir manifestar, objetivamente, todas as funções deste ato, a fim de que este seja entendido por outras pessoas como o gesto em questão (COLE; SCRIBNER, 1998; MOREIRA, 2011).

A partir deste exemplo, conclui-se que “todas as funções mentais superiores originam-se das relações sociais entre indivíduos humanos” e que “a internalização de formas culturais de comportamento envolve a reconstrução da atividade psicológica tendo como base a operação com signos” (VYGOTSKY, 1998, p.75). Portanto, todo comportamento que decorre da atividade mental autogerada pelo uso de signos foi, em alguma fase do nosso desenvolvimento cognitivo, realizado em colaboração com outras pessoas por meio da interação social (PEREIRA; LIMA JUNIOR, 2014).

Assim, a internalização na perspectiva vigotskiana demonstra a importância das interações sociais, tanto para a aquisição do conhecimento socio, histórico e culturalmente construído, quanto para a formação da consciência humana, pois a internalização não é a mera transferência das atividades externas para o plano psicológico interno, mas caracteriza-se pela formação de uma nova entidade psicológica (CAVALCANTI, 2005; COLE; SCRIBNER, 1998; PEREIRA; LIMA JUNIOR, 2014).

3.3 A METODOLOGIA EXPERIMENTAL DA TEORIA DE VIGOTSKI

Ao contrário dos métodos experimentais utilizados em psicologia, que se baseavam na estrutura estímulo-resposta e que tinham por finalidade testar relações de causa e efeito, Vigotski e seus colaboradores (1998) desenvolveram o método *genético-experimental*²⁵, para investigar e analisar os processos que culminam no desenvolvimento humano (MOREIRA, 2011).

O método em questão repousa sobre a abordagem materialista dialética para a compreensão da história humana, pois, para Vigotski, o desenvolvimento cognitivo do homem é inerente ao desenvolvimento histórico de sua espécie. Ao confrontar as abordagens naturalista e dialética de Engels²⁶, Vigotski e seus colaboradores concluíram que o ponto-chave para relacionar o desenvolvimento histórico humano com seu desenvolvimento psicológico está na nossa capacidade de reagir sobre a natureza, transformando-a a partir da criação e do uso de instrumentos. A partir desta concepção, Vigotski buscou identificar quais eram as consequências psicológicas da interação homem-natureza, culminando no constructo do *signo* como ferramenta psicológica que o indivíduo utiliza para agir sobre o próprio comportamento e criar novas funções psicológicas superiores (COLE; SCRIBNER, 1998).

Assim, em contraste com os métodos da psicologia experimental predominante da época, Vigotski e colaboradores apresentam uma nova proposta:

Nossa abordagem do estudo das funções cognitivas não requer que o experimentador forneça aos sujeitos os meios já prontos, externos ou artificiais, para que eles possam completar com sucesso uma tarefa dada. O experimento é igualmente válido se, ao invés de o experimentador fornecer às crianças meios artificiais, esperar até que elas, espontaneamente, apliquem algum método auxiliar ou símbolo novo que elas passam, então, a incorporar em suas operações. (VYGOTSKY, 1998, p. 97).

Segundo Vigotski (1998), os princípios norteadores dessa abordagem experimental seriam:

- 1) Enfatizar os processos e não os resultados. Vigotski se interessava pelo que as crianças faziam, e não pelas eventuais soluções que elas poderiam chegar

²⁵ O termo *genético* não tem relação com os termos *genes* ou *código genético* da biologia; mas, sim, com *gênese*, para se referir às origens do desenvolvimento cognitivo (REGO, 2009).

²⁶ Na abordagem naturalista de Engels, somente a natureza interfere nos seres humanos, de modo que somente as condições naturais são responsáveis pelo desenvolvimento histórico do homem. A abordagem dialética, ao admitir a interferência da natureza sobre o homem, afirma que este, consequentemente, age sobre a natureza, criando novas condições para a sua existência (COLE; SCRIBNER, 1998).

(MOREIRA, 2011). Para ele, qualquer processo psicológico que sofre mudanças pode ser notado a olhos vistos. Com efeito, a criação artificial de um processo de desenvolvimento psicológico poderia ser mensurada.

- 2) Analisar tais alterações à luz da *análise genotípica* em detrimento da *fenotípica*. Esta caracteriza-se como a análise da aparência externa dos fenômenos, ou seja, uma análise descritiva; enquanto aquela é caracterizada pela análise da sua origem, sendo, portanto, explicativa. Segundo Vigotski, somente por meio da análise genotípica é possível revelar a gênese e as bases dinâmico-causais do desenvolvimento cognitivo. Esta é a razão pela qual a maioria dos estudos empíricos envolvia crianças (PEREIRA; LIMA JUNIOR, 2014).
- 3) A partir da análise genotípica é possível reconstruir, no sentido histórico, o desenvolvimento de uma estrutura cognitiva (responsável pela mediação), mesmo que o comportamento esteja “fossilizado”, mecanizado, o que, a princípio, nada revela sobre o seu aspecto interno (psicológico).

Uma técnica experimental adotada por Vigotski, a fim de estudar o curso histórico do desenvolvimento das funções mentais superiores, foi introduzir obstáculos com a finalidade de perturbar os métodos rotineiros que as crianças empregavam ao solucionar problemas (COLE; SCRIBNER, 1998).

Por exemplo, em seu estudo para determinar a causa da fala egocêntrica, bem como as circunstâncias que a provocam, temos que:

(...) quando uma criança estava se preparando para desenhar, descobria subitamente que não havia papel, ou lápis da cor que ela necessitava. Em outras palavras, ao impedi-la de agir livremente, nós a forçávamos a enfrentar problemas. (VIGOTSKY, 2005, p. 19).

Em outra parte do mesmo estudo, visando constatar uma das observações de Piaget (de que a fala egocêntrica é produto de seu pensamento egocêntrico e de sua insuficiente socialização), Vigotski requeriu que a criança se engajasse em uma nova atividade de cooperação com outras crianças que não partilhavam a mesma linguagem (surdas-mudas e estrangeiras) (VIGOTSKY, 2005).

Outra técnica utilizada consistiu em fornecer meios alternativos para a solução do problema. No estudo sobre o papel dos signos na memória e atenção voluntária, Leontiev (COLE; SCRIBNER, 1998) propôs um jogo com 3 ou 4 conjuntos de 18 questões cada. As questões deveriam ser respondidas, prontamente, com apenas uma palavra. A partir da segunda

etapa, novas restrições eram impostas à criança, tornando o jogo mais difícil. Na terceira etapa as restrições se mantinham, mas era permitido à criança utilizar um novo elemento auxiliar para ajudá-la a resolver o problema e ganhar o jogo.

Uma das implicações do método genético-experimental é fato de que as descrições detalhadas dos experimentos psicológicos, obedecendo o rigor científico, podem adquirir o status de fato confirmado. Com efeito, proposições gerais podem ser extrapoladas a partir da análise qualitativa. Baseado na confiabilidade no método, Vigotski identificou duas linhas qualitativamente distintas quanto a origem do desenvolvimento humano: a biológica, responsável pelas funções elementares; e a sócio-histórica, para as funções mentais superiores. A partir da última foi enunciada a “lei genética geral do desenvolvimento cultural”. Ademais, tal abordagem representou uma ruptura de paradigma quanto às formas tradicionais de conduzir experimentos psicológicos, de modo que as observações e intervenções passaram a ser realizadas em diversos ambientes, como na escola (COLE; SCRIBNER, 1998; PEREIRA; LIMA JUNIOR, 2014).

3.4 IMPLICAÇÕES EDUCACIONAIS DA TEORIA HISTÓRICO-CULTURAL

A abordagem Histórico-Cultural para o desenvolvimento psicológico humano também é considerada uma teoria da educação (BRUNER, 2005). Ao estabelecer, à luz de sua teoria, a relação geral entre a aprendizagem e o desenvolvimento cognitivo, Vigotski apontou novas diretrizes para os processos educacionais, mas não um método educacional com aplicações práticas. Ademais, sua teoria coloca a escola como protagonista do pleno desenvolvimento dos indivíduos, pois é a partir de atividades intencionalmente educativas que se promove o pensamento conceitual como o modo mais sofisticado de interpretar a realidade (REGO, 2009).

A teoria vigotskiana divide o conhecimento em duas categorias: todo conhecimento sistemático e hierarquizado relacionado a um sistema que pertence às diversas áreas do conhecimento (ciências sociais, ciências biológicas, ciências exatas e línguas) são denominadas de *conceitos científicos*; o conhecimento não organizado, não sistemático, baseado em experiências cotidianas, são os *conceitos espontâneos*. Embora sejam conceitos distintos, o desenvolvimento de ambos é um processo único, não excludente, no qual um tipo de conhecimento influencia o outro (GASPAR; MONTEIRO, 2005; VIGOTSKY, 2005).

Segundo Vigotski (2005), a origem dos conceitos reside no desenvolvimento da interdependência entre o ato de falar e pensar, funções mentais superiores mediadas pelo mesmo signo, que é a *palavra*. A análise ontogenética mostrou que no ser humano o pensar e o falar possuem raízes genéticas diferentes (novamente, no sentido de gênese). Inicialmente, uma criança desenvolve a função da fala social durante o primeiro ano de idade, que caracteriza a fase pré-intelectual do desenvolvimento desta função. Aos dois anos de idade ela passa a manifestar o desejo de dominar a linguagem, na medida em que descobre que tudo tem um “nome”. A partir deste momento, o ato de falar começa a servir ao intelecto e a criança busca ativamente ligar os signos com os atributos dos objetos. A fala, que até então exercia uma função social, passa a ter uma função intelectual. Disto advém a tese da gênese social das funções mentais superiores, em que o desenvolvimento intelectual do indivíduo depende da aprendizagem que ele realiza em seu grupo cultural por meio das interações sociais (MOREIRA, 2011).

A partir da função social da fala, a criança realiza uma série de aprendizados que culminam em seu desenvolvimento. Por meio de experiências cotidianas de observação e de interação social com pessoas mais capazes, ou seja, que já internalizaram os signos culturais do seu grupo social, ela passa a operar física (com objetos concretos) e mentalmente (ideias, conceitos e valores) sobre o ambiente que a cerca, adquirindo um conjunto de conceitos espontâneos sobre a realidade antes mesmo da aprendizagem escolar formal (VIGOTSKY, 2005).

Por este motivo, a teoria vigotskiana sugere uma diferenciação entre o aprendizado pré-escolar e o escolar: este, além de ser mais sistematizado, produz elementos novos que desenvolvem um determinado tipo de cognição - o pensamento conceitual - com novas formas de operação intelectual, como as abstrações e generalizações que transformam a relação cognitiva do aluno com o mundo (COLE; SCRIBNER, 1998; REGO, 2009).

A principal diferença psicológica entre os conceitos espontâneos e os científicos é a presença de um sistema de generalização nestes últimos, regido pelas relações de generalização entre os conceitos. Com efeito, devido a interdependência entre eles, o processo de sistematização, que tem origem no aprendizado dos conceitos científicos, é transferido gradualmente para a estrutura dos conceitos espontâneos, organizando-os num sistema. Por consequência, a criança ascende em níveis de desenvolvimento por meio do pensamento conceitual (VIGOTSKY, 2005).

A investigação de Vigotski sobre a formação de conceitos mostrou que se trata de um processo longo, criativo e complexo, de intensa atividade mental, geralmente orientada para a

solução de problemas. Esse processo tem início na infância precoce, mas as funções intelectuais que formarão a sua base psicológica se configuram, amadurecem e se desenvolvem apenas na adolescência. Tal processo perpassa as etapas do pensamento infantil sincrético, caracterizada pelas percepções vagas e subjetivas sobre o imediato; do pensamento por complexos, caracterizado pelas relações concretas e factuais, abstratas e não lógicas sobre a percepção imediata; e culmina, na adolescência, em uma nova forma de pensamento, que relaciona e sintetiza os pensamentos abstratos e concretos por meio do pensamento conceitual²⁷. A manifestação fundamental desta nova forma de pensamento no adolescente dar-se-á pelo progressivo desenvolvimento do pensamento lógico-dedutivo, com a incorporação de abstrações que permitam discernir os diferentes significados de um objeto e de produzir uma nova representação mental dele (BARBOSA; BATISTA, 2018; VIGOTSKY, 2005; VIOLA, 2017).

Em síntese, por meio da interação com as demais pessoas, em um ambiente colaborativo, o aprendiz internaliza os significados compartilhados pelo seu grupo cultural, que irão desenvolver funções mentais e, conseqüentemente, após esse processo de internalização simbólica, ele será capaz de operar com essas novas ferramentas psicológicas em momentos posteriores (CAVALCANTI, 2005; COLE; SCRIBNER, 1998; MOREIRA, 2011).

Ademais, na teoria vigotskiana, a aprendizagem está associada ao grau de internalização dos signos. Embora o adolescente aprenda a manipular o conceito de forma lógica no nível abstrato, ele pode apresentar dificuldades de expressá-lo verbalmente ou ao realizar a transposição desse conceito a outras situações - transferência essa que geralmente é dominada somente no fim da adolescência – por meio do grau de internalização desse conceito (DOS ANJOS, 2011; VIOLA, 2017).

Ainda sobre o desenvolvimento do pensamento conceitual do adolescente, Viola (2017) destaca que:

Na adolescência, a entrada no pensamento conceitual abre para o sujeito a possibilidade da consciência social e política, da meditação existencial e do interesse mais profundo pela música e pelas artes mais abstratas. Ademais, nessa idade, os jovens, em geral, passam a se atrair pela física, pela filosofia e pela lógica (...) essas transformações e aquisições não podem ser tomadas de forma universal, pois dependem fundamentalmente das circunstâncias históricas, sociais e culturais. (VIOLA, 2017).

Portanto, surgem na adolescência os interesses cognoscitivos (necessidades culturais), científicos e socioculturais, que direcionam o desenvolvimento psicológico dos jovens. Daí a

²⁷ Para a descrição detalhada do processo de formação de conceitos vide o capítulo “*Um estudo experimental da formação de conceitos*” do livro *Pensamento e Linguagem* de Vigotski (2005).

necessidade da prática docente em desenvolver tais necessidades de conhecimento de forma sistematizada. Tem-se ainda que o desenvolvimento do pensamento conceitual do adolescente não é universal, pois se trata de uma função das relações sociais e culturais que facilitam - ou não - o seu acesso aos bens materiais e simbólicos (COSTA, 2000; DOS ANJOS, 2011).

Na interação aluno – professor, este já internalizou o sistema de signos (conceitos, leis, algoritmos etc.) que são aceitos e compartilhados pela comunidade científica e utiliza-os conscientemente em suas operações mentais. O professor deverá, portanto, verificar ao longo das interações que envolvem estratégias didáticas se o estudante cria novas habilidades mentais que estão associadas ao uso dos signos científicos, os quais pretende ensinar. Ao fim do processo de internalização, ambos compartilham dos mesmos significados e o aluno terá se apropriado de conhecimentos culturais e científicos que lhe permitirão operar com novas ferramentas psicológicas de forma mais independente e desenvolver novas funções intelectuais (CAVALCANTI, 2005; MOREIRA, 2011; PEREIRA; LIMA JUNIOR, 2014; REGO, 2009).

Portanto, a formulação de Vigotski para o processo de formação de conceitos revela implicações educacionais importantes. Ao conhecer este processo, o professor pode buscar métodos de ensino que favoreçam o desenvolvimento intelectual do aluno por meio do pensamento conceitual (CAVALCANTI, 2005; REGO, 2009).

3.5 A ABORDAGEM VIGOTISKIANA E O MÉTODO PBL

Após breve apresentação das implicações educacionais de alguns conceitos da teoria de Vigotski para o desenvolvimento humano, buscamos estabelecer as relações entre esta teoria e a metodologia PBL, para orientar o desenvolvimento de nosso produto educacional.

Geralmente, em uma aula de Física, os conceitos são apresentados de maneira breve, seguidos de exercícios para a fixação dos conceitos, para, então, serem aplicados a uma situação-problema. Mas, de acordo com a abordagem Histórico-Cultural, o ensino direto de conceitos, através da memorização, ou por treinamento mecânico, é infrutífero, pois eles são partes ativas dos processos mentais que estão a serviço da comunicação social, do entendimento e da solução de problemas (VIGOTSKY, 2005).

Faz-se necessário, portanto, que os meios pelos quais ocorre o processo de formação dos conceitos possuam características de enfrentamento de problemas, cuja solução somente poderá ser alcançada pela internalização de novos signos, novos conceitos. Logo, interpretamos

tal implicação na direção de que nosso produto deve apontar para o ensino e a aprendizagem conceitual em Física, tendo em vista que a resolução de problemas é fator comum entre a teoria vigotskiana e a metodologia da PBL.

Sob o ponto de vista desta teoria, a aprendizagem de conceitos científicos em Física²⁸ induz o pensamento generalizante na atividade mental dos alunos, o que implica no desenvolvimento de funções mentais superiores. Esta nova percepção interior da atividade mental permite novas formas de ver e manipular a natureza através dos signos da Física. Ou seja, o aprofundamento conceitual do conhecimento físico, além de descortinar a visão sobre a natureza, fornece critérios para a interpretação do mundo físico e sua percepção crítica (SÃO PAULO, 2010; VIGOTSKY, 2005). Ainda, segundo Cavalcanti (2005), “o desenvolvimento de conceitos é, ao mesmo tempo, uma mudança na forma de lidar praticamente, empiricamente com o objeto e na forma de pensar teoricamente”.

Como a abordagem Histórico-Cultural desloca a análise do entendimento que os estudantes possuem sobre determinados fenômenos para o processo no qual ele é construído no contexto de interação social no ambiente escolar, convém ressaltar que não podemos afirmar que a aprendizagem de um conceito esteja concluída ao final das etapas do grupo tutorial. Mas podemos definir níveis de profundidade e compreensão dos conceitos ao longo do processo de resolução do problema (POZO; CRESPO, 2009; ZABALA; ROSA; FARENZENA, 2007).

Por conseguinte, esse deslocamento no processo de ensino e aprendizagem culminou no desenvolvimento de programas de pesquisas em Educação em Ciências que visam compreender a importância das interações discursivas²⁹ no plano social da sala de aula (MORTIMER; SCOTT, 2002). Segundo Bozelli e Nardi (2016), em sala de aula, o principal padrão de interação discursiva entre professor e aluno é tipo *Indagação-Resposta-Avaliação*, em que o primeiro faz uma pergunta cuja resposta ofertada pelos estudantes é validada, ou não, de modo que a fala do professor prevalece sobre a dos alunos. Esses autores também afirmam que “os contextos de interação são construídos pelas ações das pessoas que participam e atuam no mesmo”. Portanto, com a proposta da PBL, é possível explorar outras formas de interações

²⁸ Um conceito científico em Física é a representação de um objeto de conhecimento, que permite a explicação e previsão de diversos fenômenos e pode ser expresso através da linguagem escrita (frases) e/ou da linguagem matemática, por códigos gráficos, ou, ainda, ser formulado de maneiras diferentes, a depender do campo conceitual a que pertence. As teorias físicas, por sua vez, são estruturas que organizam e unificam conceitos, leis e princípios aos fatos de forma coerente, cuja finalidade é oferecer uma perspectiva de análise do mundo físico. (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008; PIETROCOLA, 2006; PINHEIRO; PIETROCOLA; FILHO, 2006)

²⁹ Segundo Mortimer e Scott (2002), interações discursivas são as práticas por meio das quais os sujeitos buscam construir significados sobre o objeto de conhecimento em questão.

discursivas entre aluno-aluno e professor-aluno que corroborem com o processo de ensino aprendizagem de Física, como o diálogo, a discussão e a argumentação³⁰.

Durante as primeiras etapas do grupo tutorial, por meio do diálogo, os alunos manifestam os seus conhecimentos prévios entre si e os tornam conhecidos ao professor. Ao levantarem hipóteses e decidirem sobre os objetivos de aprendizagem, o fazem por meio da discussão e da argumentação; no processo de investigação, o professor tutor, a par das dúvidas e suposições feitas pelos alunos sobre os significados que estão sendo atribuídos aos objetivos de aprendizagem, terá meios para iniciar uma argumentação que os conduza corretamente, e conscientemente, à internalização dos conceitos físicos relacionados à solução do problema. Neste ambiente de interação social, o papel do professor como o par mais capaz - aquele que sabe operar com os conceitos e procedimentos relativos à disciplina - é fundamental, pois será por meio desta interação que os alunos poderão ter acesso à cultura científica ao entrarem em contato com o pensamento intelectual do professor (COLE; SCRIBNER, 1998).

Ademais, na teoria vigotskiana, a principal ferramenta psicológica para o desenvolvimento cognitivo é a *palavra*, mas a internalização de outros signos também é importante neste desenvolvimento, como a linguagem matemática; os signos visuais, como diagramas, mapas, gráficos e esquemas, para citar alguns (WERTSCH, 2002). Portanto, além das interações discursivas entre os sujeitos, ler um texto científico, assistir e analisar um vídeo científico, realizar uma simulação computacional ou um experimento didático e, até mesmo uma aula expositiva, são meios para a internalização dos signos da Física e de novas possibilidades de uso destes signos pelos estudantes (PEREIRA; LIMA JUNIOR, 2014).

³⁰ A análise de discurso decorrente da aplicação do nosso produto educacional foge ao escopo deste trabalho. Pretendemos, somente, considerar os indícios de alguns padrões discursivos proporcionados pelo ambiente da PBL.

Capítulo 4

CONTEÚDO DE TERMODINÂMICA DOS PROBLEMAS PBL

A Termodinâmica pertence ao conjunto da Física Clássica, cujos fundamentos, juntamente com a Mecânica Clássica e o Eletromagnetismo, foram desenvolvidos até o século XIX. A palavra tem sua origem do grego *thermé* (calor) e *dynamis* (força). Portanto, etimologicamente, é a ciência que estabeleceu a relação entre o conceito do trabalho mecânico com o calor (ANDRADE; PINHO, 2011).

A Termodinâmica busca entender as relações entre as variáveis do sistema físico sem se preocupar com o comportamento atômico de sua estrutura interna (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008), ou seja, estuda o comportamento de um sistema físico em função de suas variáveis macroscópicas de pressão, volume, e temperatura (P, V, T) para um número suficientemente grande de partículas (NUSSENZVEIG, 2002). Somente a partir do século XX, com o advento da Teoria da Relatividade, Mecânica Quântica e a Mecânica Estatística, sendo esta precedida pela Teoria Cinética dos Gases, foi possível relacionar os parâmetros macroscópicos e microscópicos que constituem o sistema, dando origem à Termodinâmica Estatística (ANDRADE; PINHO, 2011; NUSSENZVEIG, 2002).

Historicamente, as leis da Termodinâmica foram formuladas a partir de resultados empíricos para o desenvolvimento das máquinas térmicas. Embora sejam afirmações aparentemente simples, essas leis acarretaram em importantes generalizações (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008; NUSSENZVEIG, 2002). A seguir trataremos sobre os conceitos da Termodinâmica sobre os quais o nosso produto educacional está fundamentado.

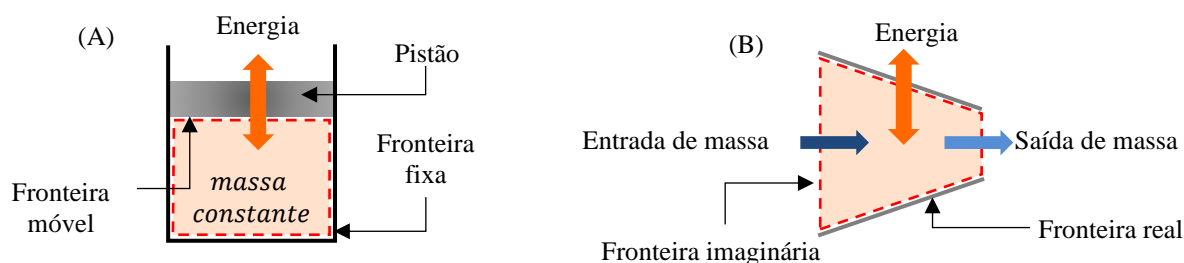
4.1 SISTEMAS, ESTADOS E TRANSFORMAÇÕES TERMODINÂMICAS

A análise termodinâmica se inicia com a separação de uma quantidade suficientemente grande de partículas ($N \gg 1$) em uma região definida no espaço, de modo que passa a existir

uma *fronteira* que separa as partículas internas das partículas ao redor, externas a fronteira. Ao conjunto de partículas confinadas pela região interna à fronteira chamamos de *sistema*; ao conjunto de partículas externas à fronteira, chamamos de *vizinhança*, que pode ser outro sistema. Devido à natureza da fronteira, o sistema e a vizinhança podem interagir entre si. Um sistema que não transfere energia com a sua vizinhança é denominado *sistema isolado*; se o sistema transfere energia com a vizinhança, mas não transfere matéria, é chamado de *sistema fechado* (Figura 4.1A); se há transferência de energia e matéria entre o sistema e a vizinhança, o sistema é denominado de *sistema aberto* ou *volume de controle*, VC, (Figura 4.1B) (DITTMAN; ZEMANSKY, 1997).

A modelagem termodinâmica do VC depende da região selecionada como *superfície de controle* que delimita o sistema e sua vizinhança. A princípio, qualquer região no espaço, seja de natureza física ou imaginária, pode ser definida como superfície de controle, cuja escolha adequada pode facilitar significativamente a análise do sistema (ÇENGEL; BOLES, 2006).

Figura 4.1 - Exemplos de sistemas termodinâmicos. A) no sistema fechado, cuja fronteira (linha tracejada) é composta por uma parte fixa e outra móvel, ocorre a transferência de energia entre o sistema e a vizinhança, sem ocorrer transferência de massa. B) no sistema aberto ou Volume de Controle (VC), a superfície de controle é formada por fronteiras reais e imaginárias, através das quais ocorre a transferência de massa e energia.



Fonte: Adaptado de ÇENGEL; BOLES, 2006

Há dois tipos de processos termodinâmicos aplicáveis à sistemas do tipo VC: os processos de fluxo estático e os de fluxo não-estático. No primeiro caso, o conteúdo energético do sistema VC permanece constante em relação ao tempo ($\Delta E_{VC} = 0$). Exemplos de equipamentos que operam neste tipo de regime estacionário são: os compressores, as turbinas, as bombas de água e ar-condicionado, podendo funcionar continuamente por longos períodos. No segundo caso, ao contrário, ocorre a variação do conteúdo energético do sistema, além da variação em sua forma e volume. Alguns exemplos deste sistema termodinâmico não-estacionário são a carga e descarga dos reservatórios de pressão, como os extintores de incêndio

ou o ato de se encher os pneus do automóvel, que geralmente ocorrem em um curto intervalo de tempo (ÇENGEL; BOLES, 2006).

Tais sistemas são descritos pelas *coordenadas termodinâmicas*, um conjunto de parâmetros macroscópicos e mensuráveis, e, o uso da temperatura como uma das propriedades macroscópicas fundamentais do sistema distingue a Termodinâmica das demais áreas da Física, como Mecânica, Óptica, Magnetismo etc. Com essas coordenadas, busca-se compreender os fenômenos termodinâmicos a partir das relações fundamentais entre as próprias coordenadas e, especialmente, em relação a temperatura (DITTMAN; ZEMANSKY, 1997).

A caracterização de uma substância contida em um sistema a partir de tais coordenadas mostra que essas grandezas não são independentes entre si, mas relacionadas por uma *equação de estado*, cuja forma depende das propriedades específicas da substância. Se tomarmos três variáveis, qualquer uma delas pode ser considerada função das outras duas. Assim, o estado de um sistema pode ser completamente descrito por qualquer duas das três variáveis (FERMI, 1956).

Dentre os diversos estados possíveis de um sistema, os *estados de equilíbrio* são de particular importância para a Termodinâmica. Nesses estados o sistema está em equilíbrio térmico, mecânico e químico. No equilíbrio térmico nenhuma modificação ocorre em seus parâmetros macroscópicos no decorrer do tempo, desde que as condições externas permaneçam inalteradas; no equilíbrio mecânico a força resultante aplicada ao sistema é nula; e no equilíbrio químico, não há reações químicas e nenhum movimento dos constituintes químicos no interior do sistema (BRUHAT, 1966; DITTMAN; ZEMANSKY, 1997).

Um sistema constituído por gás encerrado em um recipiente com volume constante, por exemplo, estará em equilíbrio termodinâmico, desde que a sua pressão esteja constante em todo o volume ocupado pelo gás e sua temperatura seja igual a de sua vizinhança. Quando tais condições de equilíbrio não são satisfeitas, o sistema, em estado inicial *A* sofre uma *transformação* e atinge outro estado final *B*. Se a transformação ocorrer em um sistema isolado, mas que a transformação seja suficientemente rápida para que não haja tempo para a transferência de energia térmica entre o sistema e sua vizinhança, trata-se de uma *transformação adiabática*; caso o volume permaneça constante devido a rigidez das paredes que compõem o sistema, tem-se uma *transformação isovolumétrica* ou *isocórica*; à temperatura constante, *transformação isotérmica*; à pressão constante, *transformação isobárica*.

Outra transformação especialmente importante ocorre quando o estado inicial é o mesmo que o estado final, configurando uma *transformação cíclica*. Se durante a transformação os parâmetros do sistema variam de forma indefinidamente lenta, tal que todo o sistema evolui

no decorrer do tempo numa progressão contínua de estados de equilíbrio infinitamente próximos, diz-se que o sistema realiza um processo *quase-estático* (BRUHAT, 1966; DITTMAN; ZEMANSKY, 1997).

4.2 A LEI ZERO DA TERMODINÂMICA E A TEMPERATURA COMO UMA FUNÇÃO DE ESTADO

A Lei Zero da Termodinâmica define a temperatura como uma função de estado dos sistemas termodinâmicos em equilíbrio térmico para um sistema termodinâmico simples, composto por um gás homogêneo encerrado em um recipiente de volume V . Apesar de serem relacionáveis pelas equações de estado, as coordenadas termodinâmicas de pressão, P , e volume, V são independentes entre si. Assim, o estado termodinâmico deste gás é totalmente caracterizado por estas duas coordenadas. Para dois sistemas A e B isolados, ambos compostos por um gás homogêneo, há um conjunto de pares (P_A, V_A) e (P_B, V_B) que caracterizam esses sistemas. A experiência mostra ainda que um sistema isolado sempre atinge, no decorrer do tempo, um estado de equilíbrio termodinâmico do qual jamais sairá espontaneamente (DITTMAN; ZEMANSKY, 1997; NUSSENZVEIG, 2002).

Caso os sistemas A e B estejam isolados entre si por paredes adiabáticas, mas em contato térmico com um terceiro sistema C através de uma parede diatérmica, a experiência mostra que ambos os sistemas entram em equilíbrio térmico concomitantemente ao sistema C e entre si. Deste fato experimental decorre a *Lei Zero da Termodinâmica*: “Dois sistemas em equilíbrio térmico com um terceiro estão em equilíbrio térmico entre si” (DITTMAN; ZEMANSKY, 1997). A partir dessas observações é possível concluir que o estado de equilíbrio térmico entre dois ou mais sistemas não são caracterizados apenas pelas coordenadas termodinâmicas (P, V) , mas também por outra propriedade termodinâmica em comum que caracteriza o seu estado interno: a *temperatura* T .

Com efeito, a forma geral da equação de estado é dada por:

$$f(P, V, T) = 0 \quad (1)$$

Para um gás ideal, por exemplo, a equação de estado tem a forma:

$$PV - nRT = 0 \quad (2)$$

onde n é número de mols e R , a constante universal dos gases e abrange as leis de Boyle, Gay-Lussac e Avogadro (FERMI, 1956).

A Lei Zero possibilita utilizar os termômetros como instrumentos para medição de temperatura: para saber se dois sistemas, que não estão em contato térmico entre si, estão em equilíbrio térmico entre si, basta colocarmos em contato térmico com um terceiro corpo, o termômetro; se após atingirem o equilíbrio térmico o termômetro registrar a mesma temperatura para ambos os sistemas, estes estarão em equilíbrio térmico entre si; ou seja, não é preciso colocar os dois sistemas em contato térmico (NUSSENZVEIG, 2002). Portanto, a Lei Zero estabelece a existência da temperatura como uma função especial do estado de equilíbrio térmico, caracterizado pelo conjunto de parâmetros externos e pela temperatura.

4.3 TRABALHO E CALOR

A energia é uma grandeza fundamental nas transformações estudadas pela Física. O conceito *energia* advém da mecânica, que originalmente significa *capacidade de trabalho*. Em outras palavras, um sistema mecânico que possui capacidade de trabalho contém energia. Se a capacidade de trabalho de um sistema se deve a posição espacial entre os elementos que o compõem, diz-se que ele contém *energia potencial*; quando um corpo em movimento possui tal capacidade, diz-se que ele possui *energia cinética* (BRUHAT, 1966).

Fisicamente, o trabalho mecânico W é um método de transmissão de energia realizado por uma força F ao longo do deslocamento s de um corpo de massa m . Quantitativamente, o trabalho é definido por:

$$W = F \cdot s \quad (3)$$

Em Termodinâmica, o trabalho é avaliado a partir das grandezas macroscópicas do sistema. Para um sistema termodinâmico simples, formado por um gás aprisionado no cilindro de volume V , cuja pressão P aplicada sobre toda superfície interna do cilindro produz uma força que desloca o êmbolo móvel para cima, e, admitindo que tal processo ocorre de forma quase-estática e sem atrito, temos que para deslocamentos infinitesimais dL , o gás realizará um quantidade infinitesimal de trabalho, δW^{31} , sobre a vizinhança, quantificado por:

³¹ O trabalho termodinâmico W não pode ser caracterizado por uma função de estado do sistema, portanto, a sua diferencial é inexata, δW . Isso significa que a sua variação não pode ser calculada a partir da diferença entre seus

$$\delta W = F \cdot dL = PAdL = PdV \quad (4)$$

Se as forças externas ao sistema (o peso do êmbolo, a força devido a pressão atmosférica ou do peso de massas suplementares colocados sobre o êmbolo) fazem com que o êmbolo se desloque para baixo, diz-se que a vizinhança realizou trabalho sobre o sistema, ou ainda, que trabalho foi realizado sobre o sistema. Em ambos os casos ocorre a realização de trabalho entre o sistema e sua vizinhança, classificado como *trabalho externo*³² W , que pode ser caracterizado a partir das coordenadas termodinâmicas (DITTMAN; ZEMANSKY, 1997).

Para deslocamentos finitos de $L_i \rightarrow L_f$, que implica no aumento do volume entre $V_i \rightarrow V_f$, o trabalho realizado pelo gás, através de sucessivos estados de equilíbrio, poderá ser calculado a partir da relação entre P e V , como segue:

$$W_{i \rightarrow f} = \int_{V_i}^{V_f} \delta W = \int_{V_i}^{V_f} PdV \quad (5)$$

Por convenção, o trabalho é considerado positivo se for realizado pelo sistema (expansão); caso contrário, quando o trabalho é realizado sobre sistema (compressão), o trabalho é definido como negativo. O trabalho é nulo ($W = 0$) nos processos isocóricos (ou isovolumétricos), pois $dV = 0$.

O trabalho é um método de transmissão de energia entre o sistema e a vizinhança a partir de algum agente mecânico³³. Entretanto, há outro método de transmissão de energia que não depende de um agente mecânico, mas sim, da diferença de temperatura entre o sistema e a vizinhança (ou outro sistema), definida como *calor*, Q . Com efeito, quando ambos atingirem o equilíbrio térmico a transferência de energia por meio do calor cessará³⁴ (SONNTAG; BORGNAKKE; VAN WYLEN, 2003).

Por convenção, o calor transferido da vizinhança para o sistema é positivo, indicando o aumento da energia do sistema; enquanto que o calor transferido do sistema para a vizinhança

estados final e inicial, mas sim, pelo acompanhamento da evolução do sistema. O mesmo critério se aplica ao calor.

³² O trabalho realizado por uma parte interna ao sistema sobre outra parte interna do mesmo sistema é chamado de *trabalho interno* e está fora do escopo deste trabalho, pois não pode ser analisado a partir das coordenadas termodinâmicas (DITTMAN; ZEMANSKY, 1997). Portanto, neste capítulo, a palavra *trabalho*, associado ao símbolo W , refere-se exclusivamente ao trabalho externo.

³³ Existem outras formas de realizar trabalho sobre um sistema, como ao tensionar um fio ou a superfície de um filme fino; ao movimentar cargas elétricas em um circuito ou na polarização de um dielétrico (Cf. DITTMAN; ZEMANSKY, 1997, p.59-68). Mas tais formas fogem ao escopo deste trabalho.

³⁴ Assim como a realização de trabalho sobre o sistema só é possível se este possuir paredes móveis (fronteira), o calor só poderá ser transmitido se a parede que separa o sistema de sua vizinhança for diatérmica, bem como da própria definição do que é sistema e vizinhança.

é negativo, indicando a diminuição da energia do sistema. O processo que não envolve transmissão de energia através do calor ($Q = 0$) é denominado de *processo adiabático*.

Assim como o trabalho, o calor não é uma função de estado do sistema e sua quantidade depende do processo pelo qual o sistema evolui de seu estado inicial para o final. Matematicamente, a quantidade de calor transferido durante esse processo é dada por:

$$Q_{i \rightarrow f} = \int_i^f \delta Q \quad (6)$$

Há três formas possíveis de transmitir energia através da fronteira de um sistema por meio do calor, a saber: *condução*, *convecção* e *radiação*. As duas primeiras formas de propagação ocorrem através de um meio material, enquanto a última, não.

Em um meio material, as moléculas que o compõem possuem energia de translação, rotação e de vibração. Essa modalidade de energia, que é uma função da temperatura, é transmitida espontaneamente da região de maior para a de menor temperatura do meio material. Nos sólidos, a energia de vibração é transmitida devido a colisão entre os átomos vizinhos, sem que ocorra o movimento do meio material. Tal forma de transferência de energia é a condução de calor, cuja taxa de variação temporal é expressa pela *lei da condução de Fourier* (DITTMAN; ZEMANSKY, 1997; SONNTAG; BORGNAKKE; VAN WYLEN, 2003):

$$\frac{\delta Q}{dt} = -KA \frac{dT}{dx} \quad (7)$$

onde K é a *condutividade térmica* do material A é a área através da qual o calor é transmitido e dT/dx é o *gradiente de temperatura*. O sinal de negativo expressa o sentido de propagação do fluxo de calor da região de maior para a de menor temperatura.

No processo chamado de *convecção* o meio material é um fluido que, ao entrar em contato térmico com uma superfície cuja temperatura é maior que a do próprio fluido, este absorve o calor localmente aumentando a sua temperatura. Como a porção do fluido aquecido se expande, a sua densidade diminui em relação ao fluido a sua volta (de maior densidade) produzindo forças de empuxo que movimentam a porção menos densa para cima, que por sua vez é substituída pela porção do fluido de maior densidade. O calor, por conseguinte, é transmitido da superfície ao fluido através da combinação da condução e do movimento contínuo do próprio meio material por meio do contato térmico entre uma superfície de maior temperatura à outra de menor temperatura (NUSSENZVEIG, 2002; SONNTAG; BORGNAKKE; VAN WYLEN, 2003). A descrição matemática da taxa temporal de propagação do calor por convecção é dada por:

$$\frac{\delta Q}{dt} = hA\Delta T \quad (8)$$

onde A corresponde à área da superfície do corpo em contato térmico com o fluido, ΔT é diferença de temperatura entre eles e h é o *coeficiente de convecção*, que depende de diversos fatores, como formato da superfície (plana ou curva) e sua orientação (horizontal ou vertical), da natureza do fluido (gás ou líquido) entre outros fatores físicos, de modo que a determinação desse coeficiente depende do estudo detalhado dessas propriedades à luz da mecânica dos fluidos (DITTMAN; ZEMANSKY, 1997; SONNTAG; BORGNAKKE; VAN WYLEN, 2003).

Por fim, na *radiação térmica* ocorre a transferência de energia térmica de um corpo a outro (sólido ou líquido) através do espaço independentemente da existência de um meio material entre eles. Tal radiação é de natureza eletromagnética e pertence, majoritariamente, à faixa do infravermelho do espectro eletromagnético. Todo corpo emite radiação térmica para o espaço que o cerca e dele também a absorve. Se a taxa de emissão for maior que a taxa de absorção, ele esfriará; caso contrário, aquecerá. Com efeito, o equilíbrio térmico é atingido quando essas taxas se igualam (DITTMAN; ZEMANSKY, 1997; EISBERG; RESNICK, 1994; HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009).

A taxa líquida de transferência de calor por radiação térmica emitida por um corpo à temperatura T e sua vizinhança, à temperatura T_v , é dada por:

$$\frac{\delta Q}{dt} = A\varepsilon\sigma(T_v^4 - T^4) \quad (9)$$

onde A é a área superficial do corpo; ε é a *emissividade* (valor compreendido entre 0 e 1), que depende da área e da natureza desse corpo; e σ é a constante de *Stefan-Boltzmann*.

Portanto, em uma transformação termodinâmica, a transferência de energia através da fronteira que separa o sistema termodinâmico de sua vizinhança pode ocorrer através de dois métodos de transmissão de energia: através do trabalho e do calor³⁵.

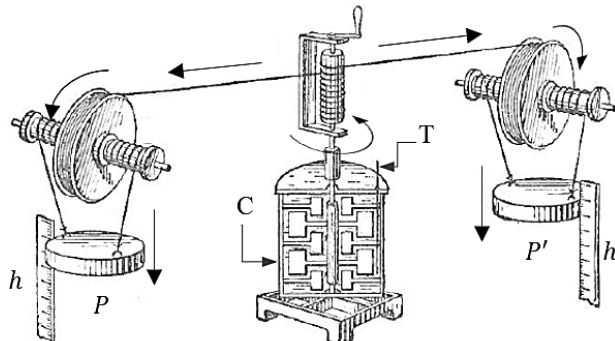
O fato de que o calor é uma forma de transmissão de energia, assim como o trabalho, é consequência dos estudos realizados por James Prescott Joule (1818-1889). Entre os anos de 1843 e 1878, Joule realizou uma série de experimentos minuciosos para obter a relação quantitativa entre o calor produzido a partir da transformação de uma determinada quantidade

³⁵ No Sistema Internacional (S.I), trabalho e calor possuem a mesma unidade de energia, o Joule (J). No entanto, não são formas de energia, mas sim, diferentes formas de transmissão de energia. Portanto, não são propriedades do sistema (Notas de aula).

de energia (mecânica ou elétrica) e, em todos eles, obteve valores muito próximos para essa relação, conhecida como *equivalente mecânico da caloria* (BRUHAT, 1966; PASSOS, 2009).

A Figura 4.2 mostra o esquema de um dos experimentos mais emblemáticos realizados por Joule para obter o equivalente mecânico da caloria. Em um calorímetro C de água cilíndrico de latão, Joule inseriu um agitador com dez palhetas e na parede interna do calorímetro havia palhetas verticais fixas, cuja função era impedir o movimento total do líquido. Três camadas de madeira revestiam o calorímetro a fim de evitar trocas de calor do sistema (água) com a vizinhança. O agitador era movimentado devido à queda dos pesos P e P' , com cerca de 13 kg cada, que caíam de forma lenta e uniforme a partir das alturas h e h' , de aproximadamente 1,60m. Após 20 repetições, Joule mediu a variação da temperatura da água, pelo atrito entre as palhetas do agitador com a água, com um termômetro (T). Posteriormente, esperou-se tempo suficiente para que o sistema trocasse calor com a vizinhança e retornasse ao estado inicial, realizando um ciclo (BRUHAT, 1966; JOULE, 1884; PASSOS, 2009).

Figura 4.2 - Esquema do experimento realizado por Joule para obter o equivalente mecânico do calórico. A queda dos pesos P e P' , a partir de h e h' , movimentam o agitador do calorímetro C. Após várias repetições a temperatura da água no calorímetro foi aferida por meio do termômetro T.



Fonte: Adaptado de BRUHAT, 1966.

Nesse experimento, os valores do trabalho W realizado pela queda dos pesos e o calor Q trocado entre o sistema e a vizinhança foram medidos para várias substâncias (água, mercúrio e óleo de esperma de baleia) e com palhetas de materiais diferentes. Em todas essas experiências Joule obteve valores próximos para a razão entre o trabalho realizado sobre o sistema e o calor transformado. Atualmente, o valor aceito para o equivalente mecânico da caloria é de (BRUHAT, 1966; JOULE, 1884; PASSOS, 2009):

$$\frac{W}{Q} = 4,186 \text{ J/cal} \quad (10)$$

Até então, a natureza do calor não era completamente conhecida, mas havia teorias que propunham explicá-la, como as teorias do *flogisto* e do *calórico*. Mas, em 1850, o trabalho de Joule foi reconhecido e, a partir do equivalente mecânico do calórico, o calor passou a ser entendido como uma forma de transmissão de energia. Com efeito, o Princípio da Conservação da Energia passou a ser generalizado a todos os fenômenos (BRUHAT, 1966; NUSSENZVEIG, 2002).

4.4 A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

Nos fenômenos puramente mecânicos (livres de atrito e sem a produção de calor), as transformações das energias de natureza mecânica (energias cinética, potencial gravitacional e potencial elástica) são regidas pela *lei da conservação da energia mecânica*, ou seja, a energia do sistema se conserva. Dentre as N -forças que agem sobre um ponto material deste sistema, a referida lei é descrita matematicamente por:

$$\sum_{i=1}^N W_N^e = (V - V_o) + \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} m_N v_N^2 - \sum_{i=1}^N \frac{1}{2} m_N v_{o,N}^2 \quad (11)$$

O primeiro termo do lado direito da Equação 11 corresponde a variação da energia potencial do sistema, e o segundo termo, à variação de energia cinética; ambos imediatamente antes e após a realização de trabalho pelas forças externas (caracterizadas pelo índice e), tidas como *forças conservativas*. Logo, nas transformações puramente mecânicas, o trabalho total realizado pelas forças externas conservativas é igual ao aumento da energia cinética e potencial do sistema, cuja soma corresponde a energia total desse sistema³⁶ (BRUHAT, 1966).

A Primeira Lei da Termodinâmica é a extensão do princípio da conservação da energia aos sistemas termodinâmicos. Tal generalização é obtida considerando-se os dois métodos de transmissão de energia (trabalho e calor) entre o sistema e a vizinhança e pela divisão da energia do sistema em externa e interna. A energia externa é constituída pela energia de movimento do sistema como um todo, E_{cin} , e na energia potencial do mesmo em um campo de forças, E_{pot} ,

³⁶ A distinção entre as forças externas e internas ao sistema é convencionalizada a partir da subdivisão entre *sistema* e *meio externo* ao sistema. Para uma pedra que cai, se convencionarmos apenas a pedra como sistema, a força gravitacional será classificada como uma força externa ao sistema, que estará livre de força internas. Caso, a Terra seja englobada no sistema (sistema Terra-pedra) a força gravitacional é considerada uma força interna. Portanto, a convenção entre sistema e meio externo é necessária para a aplicação da lei da conservação de energia. (BRUHAT, 1966).

como, por exemplo, em um foguete em lançamento. A segunda é constituída pelos parâmetros internos do sistema, como as formas de movimento e interação entre as partículas que o compõem (movimento de translação e rotação das moléculas, movimento oscilatório dos átomos, energia de interação molecular etc.). Acrescentando ao princípio da conservação da energia as considerações acima, a formulação matemática geral da *Primeira Lei da Termodinâmica* é dada por:

$$\dot{Q} + \dot{W} + \dot{m}_1 \left(u + pv + \frac{V^2}{2} + gz \right)_1 - \dot{m}_2 \left(u + pv + \frac{V^2}{2} + gz \right)_2 = \frac{d}{dt} \left[m \left(u + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right] \quad (12)$$

onde o índice 1 corresponde a energia que entra no sistema, e o índice 2, a energia que sai do VC; o termo entre parênteses corresponde a taxa da energia por escoamento de massa do fluido, composto pela energia interna (u), pelo trabalho de fluxo (pv), energia potencial (mgz) e cinética ($mV^2/2$) do fluido ao adentrar e sair do VC, que equivalem a taxa temporal da energia que corresponde a parcela do fluido que permanece no VC entre os estados inicial e final, também composta pela energia interna, potencial e cinética (ÇENGEL; BOLES, 2006; RANDALL, 1999).

Considerando um sistema fechado cuja variação das energias cinética e potencial são desprezíveis, e, adotando a convenção de sinal para o trabalho em termodinâmica, a Equação 12 pode ser reescrita como:

$$dU = \delta Q - \delta W \quad (13)$$

A Equação 13 estabelece que a energia interna de um sistema é uma função de único valor de seu estado e varia somente sob a influência de ações externas, sendo igual à quantidade de calor Q fornecida ao sistema através de sua fronteira, menos o trabalho W realizado pelo sistema. Isso significa que a energia interna do sistema não pode ser subdividida nas parcelas mecânica e térmica, pois o mesmo estado termodinâmico pode ser obtido a partir de processos arbitrários por meio do trabalho e/ou pelo calor.

4.5 A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

A Primeira Lei da Termodinâmica estabelece apenas que a energia de um sistema se conserva. Com efeito, nos processos cíclicos, por exemplo, tanto trabalho quanto calor podem

ser convertidos integralmente um no outro, sem limitações às transformações. De fato, é possível transformar integralmente trabalho em calor, conforme a experiência realizada por Joule. Entretanto, as experiências mostram que o mesmo não ocorre ao transformarmos calor em trabalho. Daí a importância da Segunda Lei da Termodinâmica³⁷, ao estabelecer o sentido natural da transformação da energia (FERMI, 1956; NUSSENZVEIG, 2002).

Historicamente, a descoberta da Segunda Lei da Termodinâmica está relacionada com a necessidade de se desenvolver uma teoria para o funcionamento das máquinas a vapor, a fim de se produzir a maior quantidade de trabalho mecânico possível a partir do calor. Nesta máquina (Figura 4.3), a água contida na caldeira absorve uma determinada quantidade de calor Q_1 de uma fonte quente (fornalha), à temperatura T_1 . A água se converte em vapor superaquecido que movimenta o pistão e realiza trabalho W sobre a vizinhança a partir de uma expansão adiabática. No condensador, o vapor frio cede a quantidade de calor Q_2 para a fonte fria (atmosfera) e a água resultante do processo de condensação retorna à caldeira por meio da bomba de alimentação e o ciclo recomeça.

Nicolas Sadi Carnot (1796-1832), engenheiro francês, ao estudar as máquinas térmicas, definiu os limites teóricos da transformação do calor em trabalho. Carnot desenvolveu uma máquina teórica (sem dificuldades técnicas) e obteve o seu rendimento máximo - inalcançável pelas máquinas térmicas reais. Tal rendimento ideal, η_{ideal} , que expressa a parcela de calor convertida em trabalho útil, depende apenas da diferença de temperatura entre a fonte quente, T_{quente} , e a fonte fria, T_{fria} , em que opera essa máquina (PIETROCOLA *et al.*, 2013).

Matematicamente, o rendimento de uma máquina de Carnot é dado por

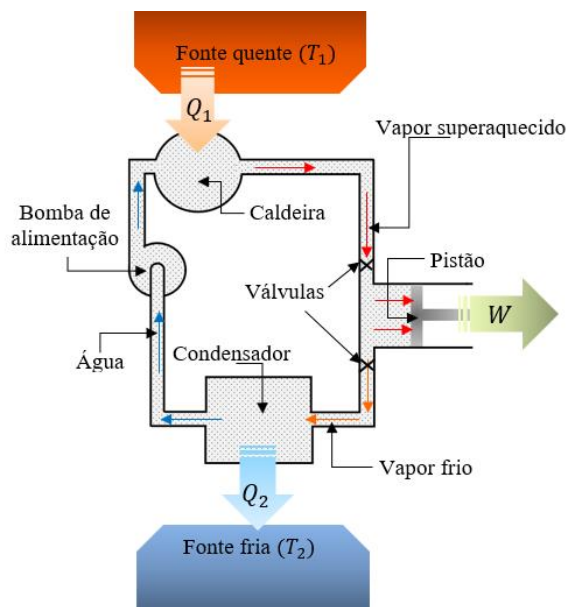
$$\eta_{ideal} = 1 - \frac{T_{fria}}{T_{quente}} \quad (14)$$

com a temperatura medida na escala Kelvin.

A ideia central dos trabalhos de Carnot repousa no fato que, assim como para obter trabalho a partir de uma máquina hidráulica é preciso uma diferença de nível de altura, para obter trabalho a partir de uma máquina térmica é preciso uma diferença de temperatura (BRUHAT, 1966). Apesar de ser impossível a obtenção de tal rendimento, os estudos de Carnot permitiram conhecer cientificamente o funcionamento das máquinas térmicas e obter outras conclusões sobre as trocas de calor (BRUHAT, 1966).

³⁷ Os problemas desenvolvidos podem ser resolvidos com base no Princípio da Conservação da Energia. Entretanto, a abordagem -ainda que discreta- da Segunda Lei da Termodinâmica faz-se necessário visto que este conceito pode se tornar conhecido dos alunos durante a investigação dos objetivos de aprendizagem.

Figura 4.3 - Esquema de funcionamento de um motor a vapor. A água contida na caldeira se transforma em vapor superaquecido devido a absorção da quantidade de calor Q_1 da fonte quente à temperatura T_1 . Dentro do cilindro, o vapor sofre expansão adiabática e movimenta o cilindro, realizando a quantidade de trabalho W sobre a vizinhança. No condensador, o vapor frio se liquefaz ao ceder a quantidade de calor Q_2 para a fonte fria à temperatura T_2 . Com o uso da bomba a água retorna à caldeira e o ciclo recomeça. (NUSSENZVEIG, 2002).



Fonte: Adaptado de NUSSENZVEIG, 2002.

Posteriormente aos estudos de Carnot, Rudolf J. Clausius (1822-1888) e Willian Thomson (1827-1907), também conhecido como Lord Kelvin, enunciaram de formas diferentes, porém equivalentes, a *Segunda Lei da Termodinâmica* (ou *Princípio de Carnot*). A seguir temos a combinação desses dois enunciados, conhecido como enunciado de Kelvin-Planck da Segunda Lei da Termodinâmica (DITTMAN; ZEMANSKY, 1997; NUSSENZVEIG, 2002):

“É impossível construir uma máquina térmica tal que, operando em ciclos, produza nenhum outro resultado que não seja a absorção de calor de uma fonte quente e transformá-lo numa quantidade equivalente de trabalho”.

A partir do estudo do ciclo da máquina de Carnot, Clausius constatou que a razão entre o calor recebido da fonte quente Q_1 , pela temperatura T_1 , é igual a razão do calor cedido à fonte fria, Q_2 , pela temperatura T_2 . A partir dessa razão, Clausius definiu uma nova grandeza, a *entropia*³⁸ S , como uma nova função de único valor de estado termodinâmico

³⁸ Etimologicamente a palavra *entropia* é de origem grega e se refere a “algo em transformação”

(NUSSENZVEIG, 2002). Matematicamente, a variação da entropia entre dois estados de equilíbrio termodinâmico inicial, i , e final, f , é definida por:

$$S_f - S_i = \int_i^f \frac{\delta Q}{T} \quad (15)$$

cuja unidade no sistema MKS é o Joule por Kelvin, J/K .

A variação da entropia é nula em sistemas isolados cujas transformações termodinâmicas sejam reversíveis (como o ciclo de Carnot), mas aumenta com as transformações irreversíveis. Como na natureza nenhum processo está livre de atrito ou da perda de calor por condução - que são processos irreversíveis -, isto implica que todos os processos naturais são irreversíveis. Logo, através da entropia, é possível definir o sentido em que ocorrem os processos naturais das transformações da energia: o sentido das transformações é naquele em que a entropia do sistema isolado aumenta (NUSSENZVEIG, 2002; PLANCK; OGG, 1990).

Ademais, a Segunda Lei da Termodinâmica pode ser expressa em termos da Entropia. Como não é possível converter totalmente o calor em trabalho útil pois parte do calor absorvido é necessariamente rejeitado em uma fonte fria, tem-se que esta parcela não utilizada se dissipa por condução ou irradiação, que são processos irreversíveis. Este fato implica no *Princípio do Aumento da Entropia*, que diz que a Entropia do *universo*³⁹ sempre aumenta (ANDRADE; PINHO, 2011; PLANCK; OGG, 1990).

Portanto, a entropia é uma grandeza que mede a dissipação da energia em função do tempo e que atinge o seu valor máximo quando o potencial do sistema em realizar trabalho se esgota, ou seja, quando o sistema atinge o estado de equilíbrio termodinâmico (BRUHAT, 1966; COVOLAN; SILVA, 2005; NUSSENZVEIG, 2002).

4.6 ANÁLISE TERMODINÂMICA DOS PROBLEMAS PBL

4.6.1 Conceitos trabalhados com o problema *A farsa da falta de energia*

A formulação das leis da Termodinâmica faz parte de um processo inerente à evolução tecnológica das máquinas a vapor no período da Revolução Industrial. Mas, as primeiras

³⁹ O conceito de *universo* na Termodinâmica está relacionado com a ampliação da vizinhança do sistema de tal modo que o conjunto sistema-vizinhança seja considerado um sistema isolado (NUSSENZVEIG, 2002)

máquinas, chamadas de máquinas simples, que ampliavam a força braçal de uma pessoa, datam desde a Antiguidade e intensificaram-se durante Idade Média. A necessidade de ultrapassar os limites do trabalho humano impulsionou o homem a desenvolver máquinas que utilizassem as forças da natureza na realização de trabalho mecânico a tal ponto que cogitou-se obtê-lo de maneira inesgotável. Tais máquinas ficaram conhecidas como *máquinas de moto-perpétuo* ou *moto-contínuo* e tiveram seu ápice durante a Idade Média. Contudo, apesar das incontáveis tentativas de inventores ao longo da história - como Leonardo da Vinci (1452-1519) -, essas máquinas jamais funcionaram (PIETROCOLA *et al.*, 2013).

Hoje sabemos que nenhum processo que viole as leis da Termodinâmica pode ocorrer - como acontece com os motos-perpétuos. Por exemplo, à luz da Primeira Lei temos que o trabalho mecânico W é dado por:

$$W = Q - \Delta U \quad (16)$$

Isso implica que o trabalho pode ser realizado pelo sistema ($W > 0$) às custas do fornecimento de calor ao sistema ($Q > 0$) ou pela diminuição de sua energia interna ($\Delta U < 0$). No caso de uma máquina térmica que opera a partir de transformações cíclicas, o estado termodinâmico final do sistema é o mesmo que o inicial, que em termos da energia interna implica em $\Delta U = 0$. Logo,

$$W = Q \quad (17)$$

Portanto, o trabalho só pode ser realizado por uma máquina térmica que opera em ciclos a partir da absorção de calor. Estes resultados conferem a impossibilidade de se conceber um moto-perpétuo de primeira espécie - um dispositivo que realizaria trabalho sem receber energia de sua vizinhança e que produziria a sua própria energia (PLANCK; OGG, 1990).

Ainda que projetassem uma máquina que não violasse o Princípio da Conservação da Energia ao transformar todo o calor absorvido em trabalho, ela seria igualmente impossível, pois a conversão do calor em trabalho é regida pela Segunda Lei da Termodinâmica, que enuncia que tal processo é impossível. Caso fosse possível, poder-se-ia construir um motor que funcionasse a partir da absorção de calor da atmosfera, ou dos oceanos (pois constituem uma fonte de energia térmica praticamente inesgotável), e convertê-lo em trabalho mecânico indefinidamente e à disposição de qualquer pessoa. Neste caso, tal máquina seria um moto-perpétuo de segunda espécie, pois violaria a Segunda Lei da Termodinâmica (NUSSENZVEIG, 2002; PLANCK; OGG, 1990).

A impossibilidade de se construir um moto-perpétuo de segunda espécie pode ser demonstrada analiticamente. Como o calor é retirado do sistema, da Equação 15, temos:

$$dS = \frac{-\delta Q}{T} \Rightarrow -\delta Q = TdS \quad (18)$$

Por se tratar de um reservatório térmico, temos que $T = C^{te}$, logo:

$$-Q = \int TdS = T\Delta S \quad (19)$$

Como $T > 0$, tal condição seria satisfeita se, e somente se, $\Delta S < 0$ - o que violaria o Princípio do Aumento da Entropia. Conforme dito anteriormente, nenhum processo que viole as leis da Termodinâmica pode ocorrer; daí a impossibilidade de se construir um moto-perpétuo de segunda espécie (NUSSENZVEIG, 2002).

Outro conceito importante a ser trabalhado a partir do problema PBL é a dissipação (ou degradação) da energia a partir de questionamentos como “Se as leis da Física dizem que a energia se conserva, por que devemos economizá-la?” A resposta para esta pergunta pode ser desenvolvida a partir do conceito de eficiência de uma máquina térmica. Considere uma máquina térmica que opera segundo o ciclo de Carnot entre as fontes quente, com $T_1 = 900K$, e a fonte fria, com $T_2 = 300K$. A partir da Equação 16 temos que a eficiência desta máquina seria de aproximadamente 66,7 %. Caso a temperatura da fonte quente diminuísse para $T_1 = 500K$ enquanto a temperatura da fonte fria permanece constante, o novo rendimento seria de aproximadamente 45,9 %. Portanto, quanto menor for a diferença de temperatura entre as fontes quente e fria, menor será o rendimento dessa máquina térmica, conforme mostra a Tabela 4.1 (ÇENGEL; BOLES, 2006; NUSSENZVEIG, 2002).

A variação no rendimento dessa máquina ideal mostra que a energia térmica possui, além de quantidade, uma *qualidade* que está relacionada às temperaturas da fonte quente e fria: quanto maior a diferença de temperatura entre as fontes quente e fria, melhor será a qualidade do calor e, portanto, maior será o rendimento dessa máquina em convertê-lo em trabalho (ÇENGEL; BOLES, 2006).

Enquanto a Primeira Lei da Termodinâmica afirma ser impossível converter a energia de um sistema fechado com rendimento acima de 100%, a Segunda Lei acrescenta uma restrição na eficiência de todos os processos de conversão de energia

Tabela 4.1 - Valores do rendimento de uma máquina térmica que opera segundo o ciclo de Carnot. Ao diminuir a temperatura da fonte quente T_1 e mantendo-se a temperatura da fonte fria constante em $T_2 = 300K$, observa-se a diminuição da eficiência dessa máquina em produzir trabalho a partir do calor absorvido da fonte quente.

$T_1(K)$	η (%)
900	66,6
800	62,5
700	57,1
600	50,0
500	40,0
400	25,5
300	0,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme mostra a Tabela 4.2, a limitação na conversão de energia varia de acordo com o processo, sendo mais severa nos processos que convertem energia térmica em mecânica ou elétrica. Daí a resposta à pergunta anterior: embora a energia esteja sujeita ao Princípio da conservação, sempre ocorrerá perdas em suas transformações (FORINASH, 2016; NUSSENZVEIG, 2002).

Tabela 4.2 - Eficiência de conversão da energia para alguns processos.

Processo	Forma de conversão de energia	Eficiência (%)
Gerador elétrico de larga escala	Mecânica em elétrica	98-99
Motor elétrico de larga escala	Elétrica em mecânica	90-97
Motor elétrico pequeno	Elétrica em mecânica	60-75
Motor a Diesel	Térmica em mecânica	30-35
Motor a gasolina	Térmica em mecânica	15-25
Luz incandescente	Elétrica em radiante	15-25

Fonte: Adaptado de FORINASH, 2016.

Apesar das restrições impostas não somente às máquinas, mas a todos os fenômenos que envolvem a transformação da energia em geral, é possível encontrar diversos vídeos no *YouTube* que fomentam a hipótese de se obter o moto-perpétuo, atualmente popularizado como máquinas *free energy* ou *energia livre*. A crença daqueles que defendem a sua construção implica no ceticismo sobre as leis da Física e no cultivo do pensamento anticientífico em prol

de um pensamento conspiracionista. Baseado neste cenário de aparente disputa de interesses entre aqueles a quem não é conveniente a construção do moto-perpétuo e os que perseguem a obtenção de energia livre como forma de emancipação de um sistema político e econômico, desenvolvemos o primeiro problema intitulado como *A farsa da falta de energia*, com o intuito de promover o aprendizado dos conceitos trabalhados nesta seção, entre outros aspectos formativos.

4.6.2 Conceitos trabalhados com o problema *O sino da morte*

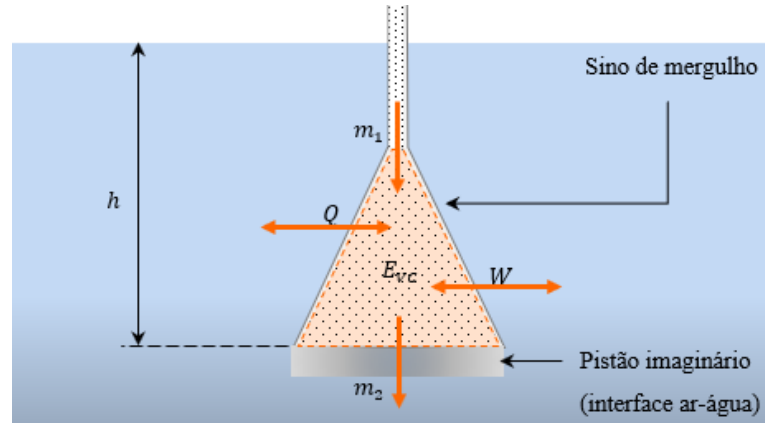
O segundo problema PBL aborda a análise termodinâmica de um equipamento de mergulho chamado *sino aberto*, que permite ao mergulhador trabalhar submerso por mais tempo sem precisar retornar à superfície. Nesse cenário problemático, dois mergulhadores morrem de insolação durante o mergulho com este tipo de sino.

Tal equipamento é um sistema termodinâmico aberto (ou *volume de controle, VC*), pois além da transferência de energia através da fronteira do sistema por trabalho e calor, há a transferência de massa que também altera o conteúdo energético do sistema. Durante a submersão do sino de mergulho aberto, a água tende a invadi-lo devido ao aumento da pressão hidrostática (lei de Stevin) em relação ao ar aprisionado em seu interior, ou seja, quanto maior a profundidade do mergulho, maior deve ser a pressão do ar no interior do sino. Para que isso não ocorra, é necessário pressurizar o ar respirável no interior do sino em baixa ou média pressão por meio de compressores (RANDALL, 1999). A Figura. 4.4 apresenta a modelagem do sistema termodinâmico para o sino de mergulho do cenário problemático em questão.

Entretanto, podemos simplificar o sistema ao admitirmos as seguintes condições de contorno: i) Para contrapor o aumento da pressão hidrostática sobre o sistema, é necessário que não ocorra a saída de massa de ar do VC, ou seja, que $\dot{m}_2 = 0$; ii) Com efeito, o volume do sistema permanece constante; logo $\dot{W} = 0$; iii) Desprezando-se as energias cinéticas e potencial do fluido ao adentrar o VC, bem como a variação dessas energias entre os estados final e inicial, somado ao fato do ar dentro do VC ser um isolante térmico, e, admitindo que o processo ocorre de forma suficientemente rápida⁴⁰, podemos aproximar o processo como sendo adiabático, com $\dot{Q} = 0$. A partir dessas suposições, o sistema se reduz ao processo de carregamento de um vaso de pressão com paredes rígidas, conforme ilustra a Figura 4.5.

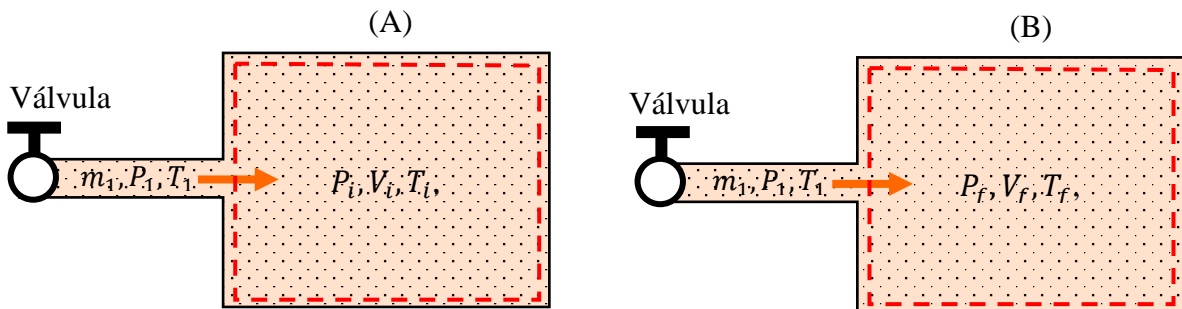
⁴⁰ No problema, uma das informações-chave é que o compressor de ar possui alta potência, o que nos permite fazer tal suposição.

Figura 4.4 - O sino de mergulho como sistema termodinâmico em regime não-estacionário. Através da fronteira do VC há a transferência de massa, calor e trabalho que variam à medida que o sino submerge. O aumento da pressão hidrostática sobre o sistema é contraposto ao aumento da pressão do ar no interior do sino devido o funcionamento do compressor de ar a bordo do navio.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.5 - Simplificação do sistema termodinâmico do sino de mergulho no sistema de carregamento de um vaso de pressão. A) ao abrir a válvula, a massa de ar comprimido, m_1 , com pressão P_1 e temperatura T_1 , adentra o sistema VC inicialmente preenchido com ar (m_i, P_i, V_i, T_i), sendo $P_1 > P_i$. B) A pressurização acontece até que a pressão final do sistema, P_f , se iguale à pressão do ar comprimido P_1 .



Fonte: Adaptado de ÇENGEL; BOLES, 2006.

A partir dessas suposições, a Equação 12 se reduz em:

$$m_f u_f - m_i u_i = (m_f - m_i) h_1 \quad (20)$$

onde $h_1 = u_1 + p_1 v_1$ equivale à entalpia do fluido ao adentrar o sistema e $m_1 = m_f - m_i$; i e f correspondem aos estados termodinâmicos inicial e final, respectivamente.

Para uma análise quantitativa, esse sistema pode ser considerado como uma garrafa PET de 2l ($2 \cdot 10^{-3} m^3$) com ar inicialmente a 25 °C (298 K) e pressão de 1 atm ($1 \cdot 10^5 Pa$), que será pressurizado com ar (por meio de uma bomba de ar manual) a 1,1 atm ($1,1 \cdot 10^5 Pa$) a 25 °C. Admitindo que o ar se comporta como um gás ideal, temos:

$$m_i = \frac{p_i V_i}{RT_i} = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{287 \cdot 298} = 2,34 \cdot 10^{-3} kg$$

e

$$m_i u_i = \left(\frac{p_i V_i}{RT_i} \right) (C_v T_i) = \left(\frac{1 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{287 \cdot 298} \right) \cdot (0,718 \cdot 298) = 0,5 KJ$$

e

$$m_f u_f = \left(\frac{p_f V_f}{RT_f} \right) (C_v T_f) = \left(\frac{1,1 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{287 \cdot 298} \right) \cdot (0,718 \cdot 298) = 0,55 KJ$$

com $R = 287 J/kg \cdot K$ e $C_v = 0,718$.

A entalpia h_1 do ar pressurizado que adentra o sistema é obtida por:

$$h_1 = C_p T_1 = 1,005 \cdot 298 = 301,5 kJ$$

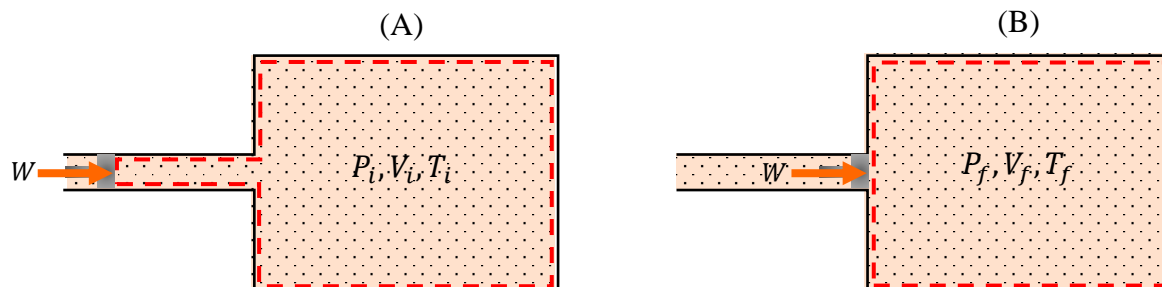
Ao substituímos esses resultados na Equação 20, temos que $m_f = 2,51 \cdot 10^{-3} kg$. A partir da equação de estado do gás ideal, temos:

$$T_f = \frac{p_f V_f}{R m_f} = 305,9 K$$

ou seja, $T_f = 32,9^\circ C$. Tal resultado mostra que, embora o ar que adentra o sistema tenha a mesma temperatura que o ar contido inicialmente na garrafa, a energia de fluxo é convertida no aumento da energia interna do sistema e, conseqüentemente, no aumento de sua temperatura.

A mesma situação pode ser analisada qualitativamente, como um sistema fechado, ao admitirmos que as regiões com a massa de ar até então destinada a adentrar o sistema, m_1 , e do recipiente com a massa de ar inicial, m_i , como um único sistema, conforme mostra a Figura 4.6 (ÇENGEL; BOLES, 2006).

Figura 4.6 - Sistema fechado equivalente. A) o sistema agora é composto pela região do recipiente mais a que é ocupada pela massa de ar comprimido, até então externa ao sistema. B) o restante do ar comprime adiabaticamente o sistema (cilindro imaginário) diminuindo o seu volume desse novo sistema.



Fonte: Adaptado de ÇENGEL; BOLES, 2006.

Nesse caso, como não há fluxo de massa entre as fronteiras, temos um sistema fechado. Durante o processo, o restante do ar comprimido externo ao sistema (representado como um pistão imaginário) exerce trabalho sobre este, diminuindo o seu volume de V_i para V_f . Considerando ainda que o processo é adiabático, a partir da Equação 12, temos que:

$$U_f = U_i + W \quad (21)$$

A partir da Equação 21 temos que, para um gás que sofre uma compressão adiabática, ocorre o aumento da energia interna do sistema (pois $\Delta U > 0$). Como a energia interna é função da temperatura, implica que $T_f > T_i$, ou seja, em uma compressão adiabática a temperatura do gás, que compõe o sistema, aumenta. Em contrapartida, se o gás sofrer uma expansão adiabática ($W > 0$), a temperatura do gás diminuirá ($\Delta U < 0$).

Portanto, apesar da modelagem matemática da situação descrita no problema relacionar equações de calor e trabalho à Primeira Lei em sua forma diferencial - cuja solução depende de métodos numéricos que fogem ao escopo deste trabalho - podemos simplificar o sistema a fim de tornar possível o ensino e aprendizagem dos principais conceitos relacionados a análise desse sistema termodinâmico em nível de EM.

Capítulo 5

DESENVOLVIMENTO DOS PROBLEMAS PBL, APLICAÇÃO E RESULTADOS

5.1 O PRIMEIRO PROBLEMA: “A FARSA DA FALTA DE ENERGIA”

Seguindo o roteiro dos *nove passos* proposto por Hung (2009), elaboramos o primeiro cenário problemático, intitulado *A Farsa da Falta de Energia* (Apêndice A). Estabelecemos, no primeiro passo, como metas de ensino-aprendizagem com o módulo PBL, a introdução do conceito de energia, suas formas e leis de conservação e degradação, seus processos de transformação e transferência em sistemas mecânicos e não-mecânicos, além da expectativa de tratar o viés unificador deste conceito com outros fenômenos pertinente às disciplinas de Biologia e Química, condições de vida e questões sociais, por exemplo. (SÃO PAULO, 2010)

O conceito “energia” (Passo 2), ao mesmo tempo que faz parte do vocabulário cotidiano dos alunos, é de difícil definição conceitual, pois requer alto grau de abstração e conhecimento acerca de sistemas, eventos e processos (BARBOSA; BORGES, 2008). Acreditamos que o contexto das *Fake News* seria adequado para tratar o conteúdo em questão (Passo 3) e temos motivos para justificar esta escolha.

A partir de nossa vivência no ambiente escolar, frequentemente vemos os alunos sendo enganados, especialmente no período que antecede as feiras de ciências, pelos famigerados geradores de *Free Energy*, amplamente divulgados no YouTube. Mas isso não é fato exclusivo da nossa realidade escolar.

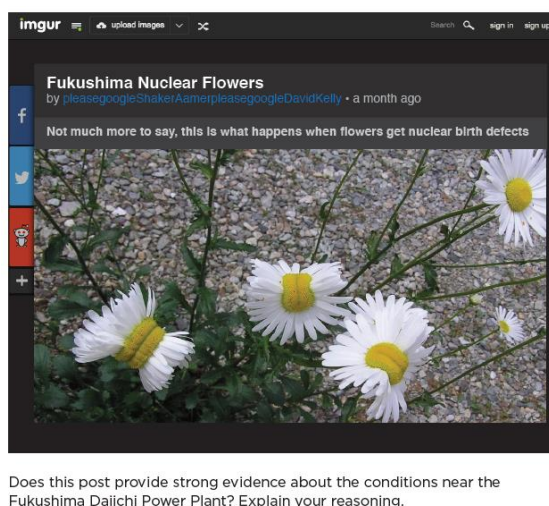
Conforme aponta o relatório realizado pelo Grupo de História da Educação de Stanford⁴¹, estudantes de todos os níveis educacionais, embora nativos digitais, mostraram-se inábeis em discernir a veracidade das informações encontradas na internet. Um dos testes, por

⁴¹ Disponível em:

<<https://stacks.stanford.edu/file/druid:fv751yt5934/SHEG%20Evaluating%20Information%20Online.pdf>>
Acesso em: 17 mar. 2018.

exemplo, visou analisar a capacidade dos estudantes em discernir se uma dada informação provém de uma fonte confiável ou não. Para isso, os pesquisadores mostraram uma foto de margaridas (Figura 5.1), encontrada em um site de compartilhamento de fotos que, segundo o título da publicação, sofreram mutação por terem crescido nas proximidades da usina nuclear de Fukushima após o desastre nuclear em 2011. A partir da imagem em questão, 170 alunos do EM foram questionados a responder se seria possível concluir se aquelas flores estavam realmente próximas à usina. Cerca de 40% responderam que a publicação continha elementos suficientes que asseguram tal afirmação. Portanto, entendemos que o contexto das *Fake News* faz parte da realidade formativa dos alunos (Passo 4).

Figura 5.1 - Publicação retirada do site de compartilhamento de fotos *Imgur*. A partir da imagem, os alunos precisaram responder sobre a veracidade desta publicação.



Fonte: Evaluating Information: the cornerstone of civic online reasoning (2016).

Para o desenvolvimento do cenário problemático (Passo 5), fizemos o recorte de uma matéria publicada no site da Revista Galileu⁴², intitulada “Infinita busca pela energia infinita”. Trata-se de uma crítica à insistência de inventores contemporâneos, inclusive brasileiros, em construir um moto-perpétuo, apesar do histórico de fracassos de outros inventores que tentaram violar as leis da Termodinâmica.

Para criar o cenário, sintetizamos a matéria e excluímos os trechos que tratam sobre a conservação de energia (Primeira lei da Termodinâmica) e sua degradação (Segunda Lei da Termodinâmica), assim como os trechos a respeito dos inventores mais antigos e suas máquinas miraculosas. Deste modo, o problema possui as informações factuais mais recentes e nenhuma

⁴² Disponível em: < <http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,ERT343608-17773,00.html>>. Acesso em: 02 fev. 2017.

informação explícita sobre os conteúdos a serem estudados em Física. Ademais, prezamos pela elaboração de um texto cuja leitura seja de fácil interpretação, de acordo com o nível de aprendizagem dos alunos (Passo 6).

O texto, apesar de citar empresas e inventores que possuem projetos para obterem “energia infinita”, afirma que isso seria impossível. Contudo, comentários enviados por leitores contrários ao texto, dão a entender que se trata de *Fake News*, pois sugerem uma teoria da conspiração que impede que tal tecnologia seja desenvolvida. Selecionamos alguns comentários que poderiam reforçar a hipótese da *Fake News* e os reescrevemos na íntegra (incluindo os erros ortográficos). Acrescentamos a opinião do leitor fictício *Paulo de Sá*, argumentando ser possível obter energia infinita e que, segundo ele, vídeos no *YouTube* mostram o suposto funcionamento de tais máquinas (Passo 7).

A tarefa dos estudantes seria investigar a veracidade das informações, tanto da reportagem quanto dos comentários, com o intuito de reunirem informações consistentes para que o grupo consiga propor uma solução para o conflito de ideias presentes no cenário problemático. A expectativa com a proposta é que, durante as etapas de investigação, os alunos acessem os conteúdos disciplinares de Física que justificam a impossibilidade de funcionamento do moto-perpétuo, busquem informações sobre as empresas mencionadas e se posicionem criticamente diante das discussões sobre anticência (Passo 8).

A seguir, listamos os objetivos de aprendizagem referentes a este primeiro problema. Tais objetivos se referem as nossas expectativas de ensino e de aprendizagem com o ambiente PBL. Buscamos saber se os alunos, a partir de seus conhecimentos prévios, seriam capazes de atingi-los, tanto em quantidade, quanto em qualidade. Por isso, tal lista de objetivos não foi explicitada inicialmente para os estudantes.

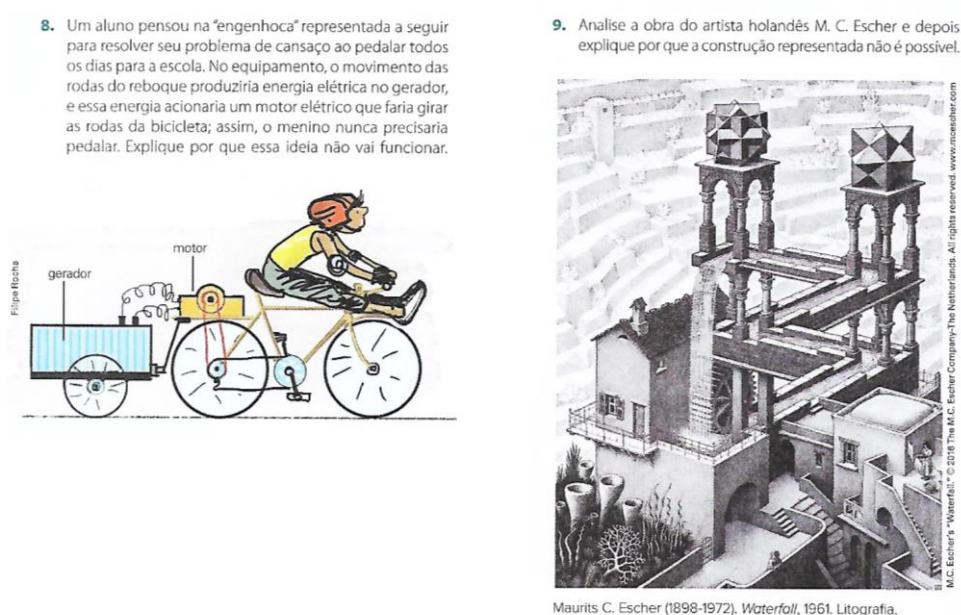
Objetivos de aprendizagem esperados para este problema:

1. Pesquisar sobre as empresas mencionadas na reportagem;
2. Pesquisar sobre o pensamento anticientífico;
3. Pesquisar sobre o funcionamento do moto-perpétuo;
4. Estudar as formas de manifestação da energia,
5. Estudar as leis da conservação de energia;
6. Estudar os métodos de transferência de energia;
7. Estudar sobre a degradação da energia.

No tocante aos espaços destinados para a realização das aulas, utilizamos a sala de informática, que possui 12 computadores com acesso à internet e a sala de aula tradicional⁴³.

Como instrumentos avaliativos, propusemos a apresentação da solução do problema em forma de seminário e um teste com duas questões (Questões 8 e 9), cujo objetivo foi analisar a forma com que os alunos ressignificariam os conhecimentos adquiridos durante as aulas e após a apresentação e discussão das soluções dos outros grupos. As duas questões (Figura 5.3) foram retiradas da coleção *Física em Contextos*⁴⁴, de Maurício Pietrocola e colaboradores (2016).

Figura 5.2 - Exercícios aplicados como método avaliativo pós-discussão sobre o Problema 1 (Questão 8 à esquerda e Questão 9 à direita).



Fonte: PIETROCOLA *et al.*, 2016.

A Questão 8 trata sobre a ineficiência da engenhoca, devido às sucessivas perdas de energia pelo sistema, e a Questão 9, da impossibilidade da água retornar para cima apenas com a energia do sistema (o moinho, que é movimentado pela própria queda d'água, que por sua vez movimenta a água novamente para cima), caracterizado na imagem como um moto-perpétuo (PIETROCOLA *et al.*, 2016). Para a avaliação atitudinal e procedimental elaboramos uma

⁴³ A escola também possui uma pequena biblioteca, mas no período em que o presente trabalho foi desenvolvido não dispúnhamos de bibliotecária para nos ajudar recebendo os alunos. Por este motivo não utilizamos este espaço.

⁴⁴ Devido a organização da coleção *Física em contextos*, alguns dos conteúdos da mecânica clássica (leis de conservação de energia mecânica, trabalho e potência, quantidade de movimento e impulso) encontram-se no Volume 2, destinado ao segundo ano do EM. Tal organização se deve ao entendimento dos autores de unir tais conteúdos (comumente organizados na grade curricular do 1º ano do EM) à temática mais ampla da conservação da energia: a Primeira Lei da Termodinâmica.

autoavaliação grupal, para que os integrantes dos grupos tutoriais avaliassem a si mesmos e a seus colegas, conforme mostramos no Apêndice B.

A fim de realizarmos a avaliação do método PBL ao final da aplicação deste primeiro problema, elaboramos outra avaliação (Apêndice C), adaptada de Ferreira e Coelho (2016), em escala Likert, contendo 25 assertivas. As 12 primeiras referem-se à aprendizagem dos alunos; de 13 a 17, ao cenário problemático; e de 18 a 25, sobre o papel do professor como tutor e do formato das aulas e recursos disponibilizados.

5.2 RELATOS DA APLICAÇÃO DO PRIMEIRO PROBLEMA

O desenvolvimento da sequência didática do primeiro problema, que ocorreu no segundo bimestre de 2018, está descrito no cronograma na Tabela 5.1. As atividades foram desenvolvidas com três turmas da segunda série do EM de uma escola da rede pública no interior de São Paulo, que serão identificadas por *Turma A*, *Turma B* e *Turma C*. As duas aulas de Física da Turma A ocorriam nas quintas e sextas-feiras; da Turma B, às terças e quintas-feiras; e para a Turma C, as duas aulas às sextas-feiras. Tal informação se faz necessária pois o calendário escolar de 2018 contou com muitos feriados, que reduziram significativamente a quantidade de aulas destinadas a essas turmas, o que dificultou o andamento das atividades.

Tabela 5.1 - Cronograma de desenvolvimento do primeiro problema

Atividades	Descrição	Duração
Etapas do grupo tutorial:		
1	Leitura do texto <i>A farsa da falta de energia</i> e identificação do problema	1 aula
	Formulação das hipóteses e dos objetivos de aprendizagem	1 aula
	Estudo dos objetivos de aprendizagem	2 aulas
	Discussão e solução do problema	1 aulas
2	Apresentação da solução do problema	2 aulas
3	Discussão final sobre as apresentações	2 aulas
	Demonstração experimental	
Avaliação:		
4	Avaliação teórica dos conteúdos estudados	1 aula
	Autoavaliação grupal e do método PBL	1 aula

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas três turmas iniciamos as atividades com uma explicação resumida sobre a metodologia PBL, sobre as características do método, o papel do professor e dos alunos e as formas de avaliação. Reforçamos a importância do coordenador como o responsável por envolver os demais estudantes nas discussões entre os integrantes do grupo tutorial. Foi esclarecido, também, que haveria um secretário, responsável por registrar a presença dos integrantes do grupo, as datas das aulas e as demais informações consideradas relevantes pelo grupo a partir da leitura e interpretação do texto. Em seguida, solicitamos aos alunos que formassem os grupos tutoriais, contendo entre quatro e seis alunos.

5.2.1 Relato da aplicação - Atividade 1

Nessa primeira atividade, todas as turmas reagiram de forma semelhante ao ambiente PBL: muitos estudantes resistiram em se reunir em seus respectivos grupos tutoriais, que eles mesmos definiram. Quanto ao cenário problemático, alguns estudantes ficaram intrigados com o problema, enquanto outros alunos estavam cabisbaixos ou ficaram utilizando o aparelho celular durante a leitura do texto pelo coordenador. Conseqüentemente, poucos grupos conseguiram interpretar o problema coletivamente, levantar suas hipóteses e definir os primeiros objetivos de aprendizagem. Nos grupos com baixa funcionalidade, a atuação do professor tutor foi necessária no sentido de esclarecer a natureza do problema (contradição entre a reportagem e os comentários), ajudar no levantamento de hipóteses e encaminhar os objetivos de aprendizagem.

Mas houve grupos cuja discussão se deu em torno do moto-perpétuo, conforme esperado. Um aluno disse que seu pai tinha feito uma máquina de movimento perpétuo e que, portanto, os inventores mencionados no texto estavam corretos. Outros alunos direcionaram os seus objetivos de aprendizagem para os conteúdos de Física, a fim de saber sobre o funcionamento dessa máquina.

Durante a etapa de investigação, os grupos usaram, exclusivamente, a sala de informática para pesquisar sobre seus objetivos de aprendizagem. Nessa etapa, notamos que muitos alunos não possuem critérios que garantam que a informação acessada pela internet provém de uma fonte confiável. Outros tiveram mais dificuldades em obter informações por não saberem quais palavras-chave utilizar no buscador, e uma minoria não sabia utilizar o computador (fazer buscas na internet ou dificuldade com a digitação). Os estudantes que não se engajaram no processo de elaboração das hipóteses em sala de aula, quando na sala de

informática, quase que na sua totalidade, utilizaram a internet para se distrair com outros assuntos (redes sociais, jogos, vídeos, música etc.).

Pouco mais da metade dos alunos conseguiram realizar pesquisas mais direcionadas e efetivas, variando de visitas a sites diversos, como o *Wikipédia* e o *Centro de Referência para o Ensino de Física*, CREF, a vídeos no YouTube. No entanto, notamos que alguns deles copiavam o texto da internet no caderno, muito provavelmente condicionados a copiar os textos escritos na lousa.

5.2.2 Relato da aplicação -Atividade 2

Foram destinadas duas aulas para a apresentação dos resultados da pesquisa, de cunho avaliativo. A primeira turma a se apresentar foi a Turma A. Os grupos fizeram apresentações discursivas, sem o recurso de Datashow. Os critérios avaliados foram baseados na expectativa do professor sobre os sete objetivos de aprendizagem, listados anteriormente.

O primeiro grupo a se apresentar utilizou a lousa para escrever o princípio da conservação da energia: “Na natureza, a energia não pode ser criada nem destruída. A energia pode apenas transformar-se!” A apresentação da solução do problema se constituiu na leitura de um texto, elaborado a partir de recortes de outros textos retirados da internet, que tratava sobre o Princípio da Conservação da Energia. Durante a divisão da leitura do texto, uma das integrantes incrementou a explicação utilizando argumentos astronômicos, de que cada galáxia possui uma quantidade finita de energia, por isso com a Via Láctea não é diferente. À luz da teoria vigotskiana, percebemos que os alunos utilizaram conceitos científicos para resolver o problema de forma reprodutora, o que significa que o estudante tem consciência do que vem a ser um conceito, mas este não foi internalizado totalmente em sua estrutura cognitiva; ou seja, o conceito se refere ao pensamento de outrem (BARBOSA; BATISTA, 2018).

Em outro grupo, a apresentação recaiu sobre um aluno. Durante as aulas investigativas, ele pesquisou sobre o funcionamento do moto-perpétuo assistindo vídeos no YouTube que revelam a farsa por trás do “funcionamento” dessas máquinas. Portanto, em sua apresentação, ele mencionou a impossibilidade de funcionamento dessa máquina a partir do que aprendeu com os vídeos, mas não mencionou as leis da Termodinâmica. Trata-se, portanto, de uma explicação espontânea, cujo foco está no objeto e não no próprio ato de pensar sobre ele, o que caracteriza o pensamento por complexo.

O terceiro grupo a se apresentar realizou a leitura de um texto retirado de um site, explicando o funcionamento do moto-perpétuo e sua impossibilidade de funcionamento, mas

quando interrogados sobre seu posicionamento diante do problema, não conseguiram relacionar suas opiniões com o texto lido. Na sequência, outro grupo defendeu a possibilidade real de obter energia infinita, apresentando uma defesa elaborada somente com os recortes do texto que compõe o cenário problemático. A apresentação causou surpresa, pois demonstrou que as orientações para o encaminhamento do problema não foram compreendidas. Em ambos os casos, entendemos que o pensamento dos alunos está mais próximo do pensamento sincrético do que do pensamento por complexos, pois ainda não há uma lógica objetiva aplicada somente aos objetos concretos.

O último grupo iniciou a apresentação expondo o Princípio da Conservação da Energia, que justifica a impossibilidade de se construir o moto-perpétuo. Demonstrando uma ótima linha de raciocínio, mencionaram os resultados da pesquisa feita sobre as empresas e encerraram opinando sobre o porquê de as pessoas insistirem (no caso, as empresas em questão) em construir o moto-perpétuo.

Na Turma B, apenas dois grupos apresentaram a solução para o problema. O primeiro realizou a leitura de textos retirados da internet sobre a impossibilidade da construção do moto-perpétuo. O segundo grupo (majoritariamente feminino) fez uma boa apresentação, utilizando o recurso do Datashow e PowerPoint. Demonstraram como orientaram a pesquisa dos objetivos de aprendizagem, apresentaram as leis da termodinâmica e concluíram, com base nestas leis, a inviabilidade de se obter energia infinita. Quando perguntados sobre o porquê de as empresas mencionadas no texto-problema insistirem na ideia do moto-perpétuo, a coordenadora do grupo respondeu que eles (empresários) o fazem por ignorância e invocaram a informação obtida de que nenhum escritório de patente registra mais projetos que façam alusão à energia infinita e concluíram que tais homens estão “jogando dinheiro fora”. Nesses dois grupos, notamos a manifestação do pensamento conceitual, sendo que a possível internalização dos signos permitiu aos alunos discorrerem sobre suas opiniões com base nesses conceitos.

Dos cinco grupos formados na Turma C, três realizaram a apresentação e, dentre estes, apenas um respondeu às expectativas do professor quanto aos objetivos de aprendizagem. Um desses dois grupos direcionou as suas pesquisas para o projeto da Energia Universal dos inventores do Maranhão (conforme consta no texto), mas não conseguiram ser claros quanto à finalidade de suas pesquisas. Outro grupo optou por estudar a cura do câncer, devido ao comentário feito pelo pseudônimo de Paulo de Sá. Após definirem os seus objetivos de aprendizagem, elaboraram um pequeno texto como solução do problema, no qual apontaram que não há a cura para o câncer, mas sim tratamento. Portanto, estes dois grupos não estudaram os conteúdos relativos à disciplina de Física. O terceiro e último grupo expôs como resultado

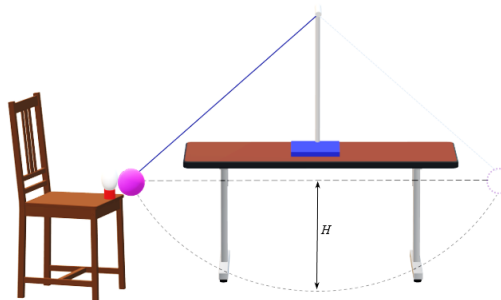
de sua pesquisa a impossibilidade de se obter energia infinita como o texto (problema) se refere. Após refutar tal possibilidade com base em opiniões (sem utilizar os conceitos relativos à Física, como as leis da Termodinâmica), o grupo apresentou como solução para o problema do consumo energético outras fontes de energia de longa duração, como a pilha nuclear que, segundo um dos alunos, dura cerca de 100 anos. Ou seja, o grupo associou a ideia da “alimentação sem fim” proposta pelo projeto Energia Universal (problema) para aparelhos eletrônicos com tais fontes de energia de longa duração. Neste último caso, notamos que o pensamento relacionado ao conhecimento físico se aproxima do pensamento por complexos pois visa agrupar os objetos em torno de uma propriedade concreta comum. Embora o grupo não tenha feito referência aos conteúdos disciplinares de Física, é possível concluir que eles interpretaram o problema e apontaram uma solução real para mesmo.

5.2.3 Relato da aplicação -Atividade 3

Ao final das apresentações realizamos uma a discussão geral do problema a partir do que fora exposto pelos alunos, para então “costurar” as soluções individuais e transformá-las em uma única solução mais ampla e com maior profundidade conceitual sobre o Princípio da Conservação da Energia, conceito chave para a resolução do problema.

Na ocasião, preparamos uma experiência sobre a conservação de energia utilizando um pêndulo feito com uma bola de bilhar presa a um barbante, que por sua vez foi fixado a um suporte universal (Figura 5.4). Pedimos que os alunos fizessem um semicírculo com as carteiras e cadeiras em torno do experimento, seguindo o exemplo de Gaspar e Monteiro (2005).

Figura 5.3 - Esquema do experimento realizado pelo professor para demonstrar o princípio de conservação da energia. Uma bola de bilhar foi fixada em uma das extremidades de um fio, sendo a outra extremidade presa ao suporte universal, apoiado sobre a mesa. Colocamos um ovo sobre uma cadeira, apoiado sobre uma tampa de garrafa PET. Mantendo-se o fio esticado, elevamos a bola de bilhar na altura H até que ela tocasse o ovo. Solta-se a bola de bilhar, que ao retornar, não o atinge. Os alunos realizaram outros testes variando-se os valores de H .



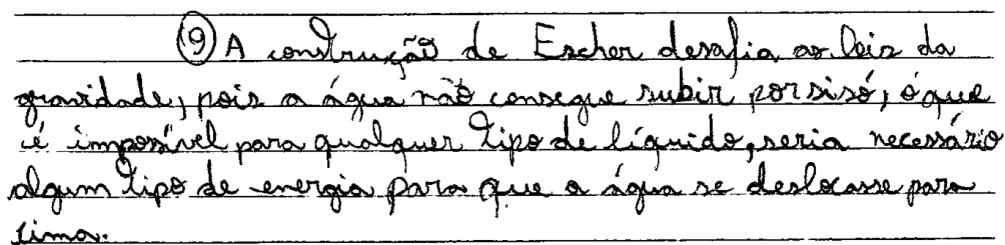
Fonte: Elaborado pelo autor.

Prosseguimos com as explicações sobre os tipos de energia manifestas na experiência (potencial gravitacional e cinética) e a perda de energia devido ao atrito com o ar. Para demonstrar a confiabilidade do princípio de conservação de energia, colocamos um ovo sobre uma tampa plástica de refrigerante sobre uma cadeira. Elevamos o pêndulo até tocar o ovo e então o soltamos. Ao retornar, o pêndulo se aproxima muito, mas não toca o ovo. A experiência foi realizada com diferentes níveis de altura para o ovo. A expectativa do ovo vir a quebrar foi um fator estimulante e promoveu o engajamento dos alunos.

5.2.4 Relato da aplicação -Atividade 4

A atividade foi encerrada com uma avaliação teórica, na qual pedimos aos alunos que respondessem as Questões 8 e 9 (conforme consta na sessão 1.1). As respostas para essas questões nos mostraram que todos os alunos refutaram a possibilidade de funcionamento daquelas máquinas, mas não apontaram explicitamente para a transposição dos objetivos de aprendizagem estudados com o problema *A Farsa da Falta de Energia*. A seguir, algumas dessas respostas (Figuras 5.4 a 5.6).

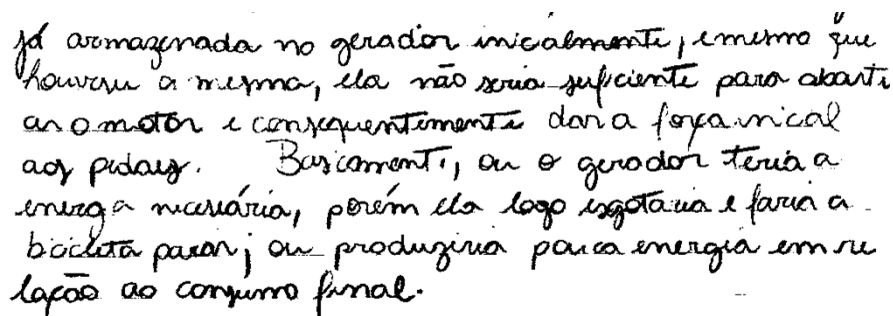
Figura 5.4 - Resposta à Questão 9 (Aluna 1, Turma C)



⑨ A condição de Escher desafia as leis da gravidade, pois a água não consegue subir por si só, o que é impossível para qualquer tipo de líquido, seria necessário algum tipo de energia para que a água se deslocasse para cima.

Fonte: Arquivo do autor

Figura 5.5 - Resposta à Questão 8 (Aluna 1, Turma A)



já armazenada no gerador inicialmente, mesmo que houver a mesma, ela não seria suficiente para abastecer o motor e consequentemente dar a força inicial aos pedais. Basicamente, ou o gerador teria a energia necessária, porém ela logo esgotaria e faria a bicicleta parar; ou produziria pouca energia em seu tempo ao consumo final.

Fonte: Arquivo do autor

Figura 5.6 - Resposta à Questão 8 (Aluna 2, Turma A)

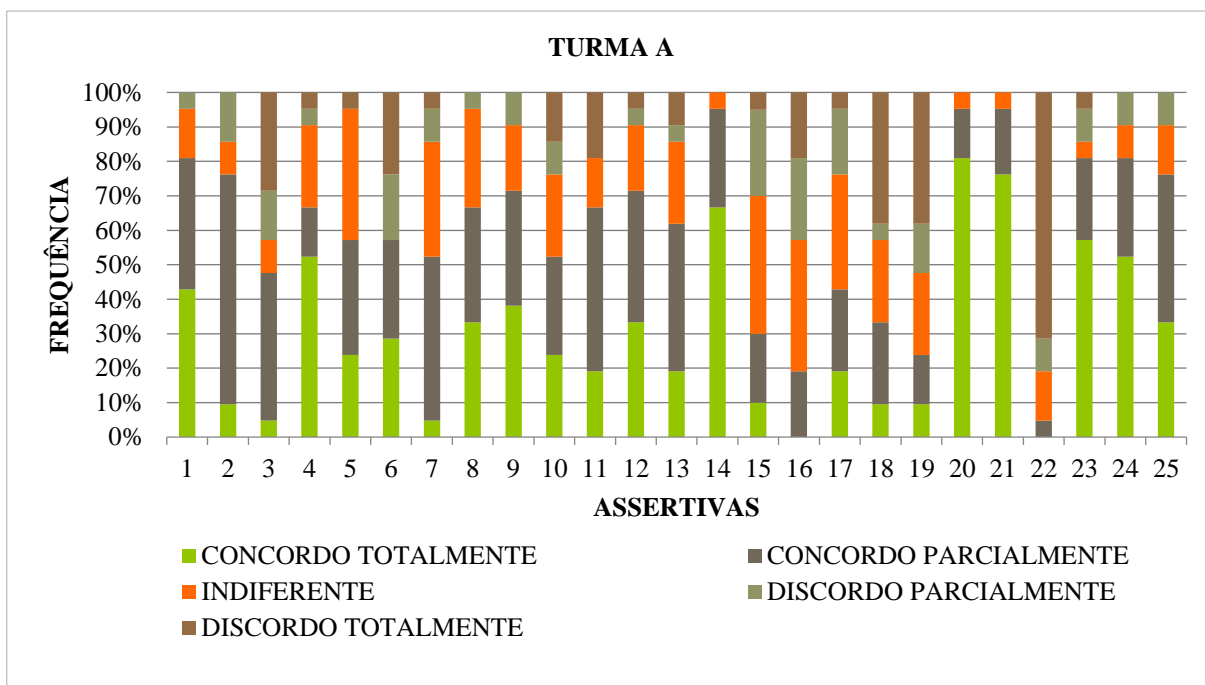
g) Como existe atrito entre o eixo, resistência ao movimento e do fio, perda de energia do motor (atrito, som e calor), entre outras coisas, isso não funciona. Pois não existe motor, fio ou gerador perfeito, e quando a energia elétrica é transformada em energia de movimento ela perde boa parte da energia.

Fonte: Arquivo do autor.

Tanto na primeira como na segunda resposta - bem como na grande maioria das demais respostas analisadas - notamos que o pensamento associado ao conhecimento físico trabalhado no primeiro problema (energia) está mais organizado a partir dos objetos concretos (na água, na construção, no gerador e motor etc.) do que nos objetos abstratos e de forma lógica (na gravidade, na energia e suas leis de conservação), o que se aproxima do pensamento por complexos. Na terceira resposta (Figura 5.6), notamos que a aluna manipulou mentalmente os objetos, associando-os de forma lógica com propriedades abstratas (atrito, perda de energia pelo som e calor, motor e fios ideais, perda de energia devido a sua transformação), o que caracteriza o desenvolvimento do pensamento conceitual. As respostas indicam também que o pensamento dos alunos se desenvolve de formas diferentes e que eles apresentam dificuldades em realizar a transposição dos conceitos a novas situações, pois ninguém identificou as máquinas dessas perguntas como máquinas de moto-perpétuo, estudadas no problema.

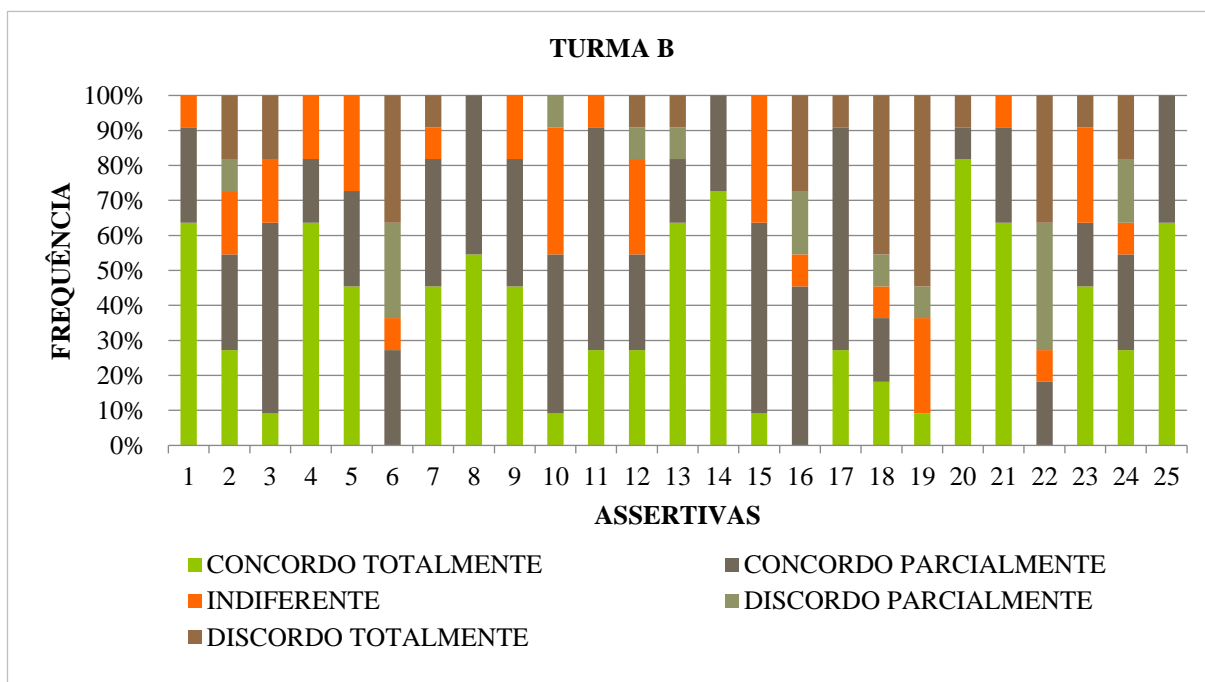
Na aula seguinte, os alunos realizaram, individualmente, duas avaliações: a autoavaliação do grupo tutorial e a avaliação do método (Apêndices B e C, respectivamente). A primeira visa conferir uma nota aos alunos em função da participação durante as etapas do grupo tutorial. A segunda avaliação trata sobre as reflexões dos alunos com relação à autoaprendizagem com o método PBL, à avaliação do cenário problemático, do método PBL e do professor como tutor. A seguir (Figuras 5.7, 5.8 e 5.9) temos três gráficos com a dispersão das respostas dos alunos para a autoavaliação do método PBL após a aplicação do primeiro problema.

Figura 5.7 - Resultados da avaliação do ensino e aprendizagem pelo método PBL para a Turma A (N=21 alunos) após a aplicação do primeiro problema.



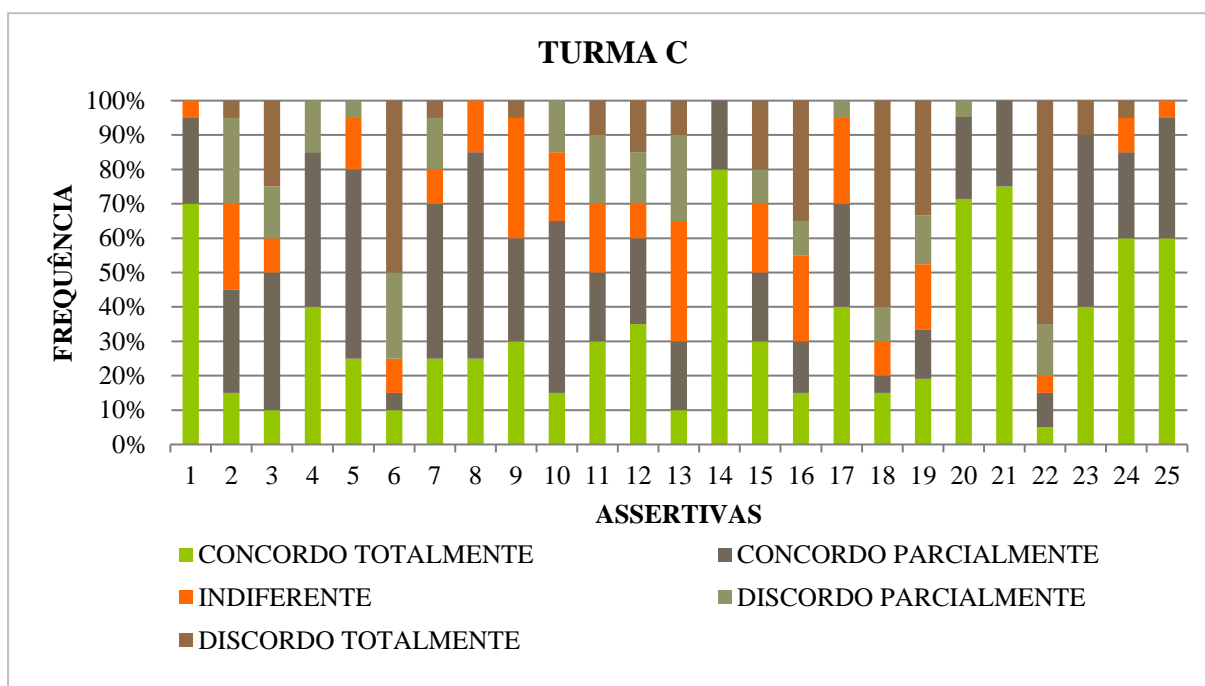
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5.7 - Resultados da avaliação do ensino e aprendizagem pelo método PBL para a Turma B (N=11 alunos) após a aplicação do primeiro problema.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5.8 - Resultados da avaliação do ensino e aprendizagem pelo método PBL para a Turma C (N=20 alunos) após a aplicação do primeiro problema.



Com estes dados, avaliamos as principais características da PBL: a atividade centrada no aluno, aprendizagem em grupos tutoriais e autoaprendizagem; o professor como tutor; o cenário problemático como estímulo ao aprendiz; e habilidades relacionadas à resolução de problemas (ANDRADE, 2007; BARROWS, 1996).

Atividade centrada no aluno: a metodologia foi considerada mais ativa (assertiva 1) e mais atrativa pela maioria dos alunos em relação às aulas tradicionais (assertiva 19); cerca da metade dos alunos possuía certo grau de entendimento sobre o tema “energia” (assertiva 3) e puderam aplicá-lo durante a resolução do problema (15).

Aprendizagem em grupos tutoriais: Notamos que o maior grau de liberdade oferecido aos alunos, em contraste com as aulas tradicionais, produziu indecisão, desconforto e irresponsabilidade entre alguns, o que pode ser explicado pela distribuição das respostas para a assertiva 18. Entretanto, a maioria afirmou que seus conhecimentos prévios sobre o conceito de energia foram aperfeiçoados (assertiva 4) e que estudaram os conceitos relativos à energia (assertiva 12).

Autoaprendizagem: A grande maioria não se preocupou em estudar fora do horário de aulas, visando a resolução do problema (assertiva 6) e poucos conseguiram entender os processos pelos quais aprendem (assertiva 5), apesar de perceberem o tempo necessário para a

autoaprendizagem (assertiva 7). Notamos ainda que o estudo autodirigido dos conceitos específicos de Física variou entre as três turmas (assertiva 13).

O professor como tutor: os alunos avaliaram muito bem a atuação do professor em seu papel de tutor (assertivas 20 e 21) e, contrariando as nossas expectativas, julgaram suficiente o tempo de atendimento do professor junto ao grupo tutorial (assertivas 22 e 23).

O cenário problemático como estímulo à aprendizagem: O cenário problemático foi bem aceito nas três turmas (assertiva 14); a linguagem do texto foi considerada de fácil compreensão pela maioria dos alunos (assertiva 13) e seu nível de dificuldade mostrou-se bem distribuído (assertiva 16), o que é um ótimo resultado, pois atendeu aos critérios da literatura de que não deveria ser demasiadamente fácil ou demasiadamente difícil.

Habilidades relacionadas à resolução de problemas: No que se refere ao desenvolvimento do pensamento crítico e analítico voltado para a resolução de problemas, os alunos responderam, em sua maioria, que passaram a avaliar melhor as fontes de informação (assertiva 8) e essa primeira atividade produziu uma grande expectativa de atuação da maioria deles para o enfrentamento de uma nova situação – problema, conforme mostram as assertivas 10 e 11.

5.3 O SEGUNDO PROBLEMA: “O SINO DA MORTE”

Para dar continuidade aos conceitos tratados anteriormente, as metas do segundo problema foram trabalhar o princípio da conservação de energia à luz da Termodinâmica e introduzir os conceitos de calor, trabalho, energia interna e temperatura (Passo 1).

A diferenciação entre os conceitos de temperatura e calor é entendida como requisito básico para a compreensão da teoria, pois permite que os alunos realizem a construção segura dos demais conceitos macroscópicos e microscópicos que envolvem a Física Térmica (MARTINS; RAFAEL, 2007). Logo, o papel do professor tutor neste cenário é de ajudar os alunos aproximando-os dos conceitos partilhados pela comunidade científica por meio de situações-problema adequadas (Passo 2) (GRINGS; CABALLERO; MOREIRA, 2007).

A busca de informações para o desenvolvimento do cenário problemático nos levou ao livro *As Aventuras Científicas de Sherlock Holmes*, escrito por Colin Bruce⁴⁵. Neste livro,

⁴⁵ BRUCE; BORGES; CHERMAN; 2002.

encontramos 12 casos que remetem às mudanças de paradigmas da Física no decorrer de seu desenvolvimento na astronomia, termodinâmica, física moderna e física quântica (Passo 3).

No segundo capítulo do livro, *O caso da energia desaparecida*, a narrativa descreve um misterioso acidente em que dois mergulhadores morreram de insolação após utilizarem um sino de mergulho. Tal estória foi baseada em um acidente real ocorrido na década de 60, como sugere a metodologia da PBL, quando dois mergulhadores morreram no Mar do Norte (Passo 4) (BRUCE; BORGES; CHERMAN, 2002).

A partir da seleção de eventos específicos da narrativa e de fotografias obtidas da internet como elementos cênicos, conseguimos sintetizar a estória em um cenário problemático que contemplou os conteúdos relacionados a Primeira Lei da Termodinâmica. O viés histórico do desenvolvimento da Termodinâmica, descrito no texto original, foi abordado de outra forma no problema. Acrescentamos a data de 1850 ao texto para encaixá-lo dentro do período de desenvolvimento da Termodinâmica, especialmente ao que se refere às contribuições de Joule para a consolidação da Primeira Lei, em 1860. Essa relação nos permitiu conduzir a solução através de um olhar histórico da evolução do conceito de energia e das leis que governam as suas transformações (Passo 5).

O problema proposto consiste em investigar a causa da morte dos dois mergulhadores a partir das informações presentes no texto, que podem ser classificadas como fatos e opiniões. O cenário problemático explora outros tipos de conhecimentos, como a geografia local (Mar de Barents), o folclore nórdico (a lenda do *Kraken*) e conceitos de patologia (insolação). No que tange aos conteúdos específicos de Física, além do período histórico (era das máquinas a vapor e desenvolvimento da termodinâmica), o problema trata sobre pressão atmosférica e pressão hidrostática, transformações gasosas, temperatura e calor, trabalho e calor e formas de transmissão de calor (Passos 6 e 7).

A seguir listamos os objetivos de aprendizagem esperados para o problema em questão (Passo 8):

1. Pesquisar sobre a geografia local;
2. Desmistificar a lenda do *Kraken*;
3. Pesquisar sobre o funcionamento do sino de mergulho (pressão atmosférica e hidrostática);
4. Estudar o sistema sino de mergulho - bomba de ar;
5. Estudar o contexto histórico da relação entre calor e trabalho (Primeira Lei da Termodinâmica).

Após a elaboração do segundo problema, a próxima etapa foi reestruturar os grupos tutoriais. A partir das observações do professor e da autoavaliação grupal feita pelos alunos a respeito do primeiro problema, eles foram redistribuídos com a finalidade de tornar os grupos mais funcionais. Para isso, levou-se em consideração interesse, participação, assiduidade, espírito de equipe etc., além de uma distribuição mais equilibrada de meninas e meninos. Definimos, conjuntamente com os alunos, que o formato da apresentação da solução do problema deveria utilizar o recurso do PowerPoint. Mantivemos as avaliações procedimentais e atitudinais e a realização da autoavaliação grupal (Apêndice B); para a avaliação do método PBL alteramos somente as assertivas 3, 4 e 12, que tratam sobre os conceitos básicos da Termodinâmica, conforme consta no Apêndice D.

5.4 RELATOS DA APLICAÇÃO DO SEGUNDO PROBLEMA

A Tabela 5.2, a seguir, descreve o cronograma de aplicação do segundo problema.

Tabela 5.2 - Cronograma de desenvolvimento do segundo problema

Atividades	Descrição	Duração
	Etapas do grupo tutorial:	
1	Leitura do texto <i>O sino da morte</i> e identificação do problema	1 aula
	Formulação das hipóteses e dos objetivos de aprendizagem	1 aula
	Etapas do grupo tutorial:	
2	Estudo dos objetivos de aprendizagem	4 aulas
	Discussão e solução do problema	1 aula
3	Apresentação da solução do problema	1 aula
4	Discussão final sobre as apresentações	1 aula
	Demonstração experimental	
5	Avaliação:	
	Autoavaliação grupal e do método PBL	1 aula

Fonte: Elaborado pelo autor.

5.4.1 Relato da aplicação -Atividade 1

Nesta nova aplicação houve poucas objeções dos alunos em se reunirem em seus novos grupos tutoriais. Com mais autonomia e organização, os alunos compartilharam suas

impressões sobre o problema e identificaram palavras desconhecidas. Baseados em seus conhecimentos prévios, levantaram hipóteses como, por exemplo, o que poderia ter causado o acidente foi a energia de movimento de rotação da pá, que aqueceu as águas matando os mergulhadores; ou que foi a pressão do ar bombeado para o sino que matou os mergulhadores (aproximando-se da resposta correta); ou o *Kraken* ter sido o causador da morte dos mergulhadores.

De igual modo, formularam alguns objetivos de aprendizagem; por exemplo, saber qual seria a profundidade do mergulho a fim de relacionar a pressão hidrostática sobre o sino de mergulho com o acidente. O primeiro contato com o problema gerou muita curiosidade e estranhamento por parte dos alunos, que quiseram saber se aquilo realmente ocorreu.

5.4.2 Relato da aplicação -Atividade 2

Na sala de informática, diferentes possibilidades foram investigadas: se os mergulhadores poderiam ter morrido queimados pela água gelada; qual seria o material do traje usado pelos mergulhadores, a fim de deduzir qual era a temperatura no interior do sino, já que as roupas estavam rasgadas. Muitos não entenderam que o sino de mergulho é aberto na parte inferior e ficaram impressionados pelo fato de a água não adentrar o seu interior. Por isso sugerimos alguns vídeos⁴⁶ para que os alunos assistissem. Alguns deles pediram ajuda ao professor de química, o qual orientou-os a pensar na transferência de calor entre a bomba de ar e o sino.

Na última aula destinada para a pesquisa, alguns alunos chegaram ao estudo dos gases para relacionarem o aumento da pressão do ar no interior do sino com o aumento da temperatura do ar, mas a definição dos conceitos e a relação entre as grandezas não foram bem compreendidas. Por isso orientamos que eles realizassem simulações no site PHET Colorado⁴⁷ - particularmente o simulador *Estados da Matéria e Propriedade dos Gases* - para controlarem algumas variáveis de estado e suas relações com as demais variáveis.

Por fim, um grupo encontrou, após realizar buscas na internet com as palavras-chave *Matilda Briggs* e *sino de mergulho*, o texto original do qual foi retirado o problema, pois trechos

⁴⁶ Estes foram orientados a estudar sobre a lei de Stevin. Também sugerimos um vídeo do YouTube que mostra uma experiência didática sobre o princípio de funcionamento do sino de mergulho e reúne bons trechos de vídeos com mergulhadores fazendo uso deste equipamento. O vídeo está disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=DgMrp9dAf6w&t=203so>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

⁴⁷ O PHET Colorado é um site de simulações interativas de conteúdos relativos à Ciência (Biologia, Física e Química e Matemático. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/>. Acesso em: 06 set. 2018.

do livro *As aventuras científicas de Sherlock Holmes* estão disponíveis para a leitura no Google Books.

5.4.3 Relato da aplicação -Atividade 3

Na Turma A, o primeiro grupo a se apresentar expôs as hipóteses formuladas inicialmente, antes dos objetivos de aprendizagem, buscando associar reservas de petróleo, vulcões submarinos e aumento da pressão da água ao aquecimento do sino de mergulho. Além dessas hipóteses, após consultar um dos professores do colégio, investigaram também a possibilidade de o calor ter saído do barco e passado para o sino através da corrente de sustentação. A explicação propunha que a energia cinética das pás do motor havia sido transformada em calor devido à Segunda Lei da Termodinâmica. O calor produzido, por sua vez, foi transferido pela corrente até chegar ao sino, devido a diferença de temperatura entre essas duas regiões. Ao final da apresentação, eles foram indagados sobre a plausibilidade da solução, lembrando que a corrente de sustentação do sino estava mergulhada na água, o que impediria a transmissão do calor até o sino, como eles afirmavam. Apesar dessa resposta estar fisicamente incorreta, constatamos que no seu processo de elaboração, há a manifestação do pensamento lógico-dedutivo aplicado tanto aos objetos concretos (o movimento das pás, a corrente de sustentação e o sino) quanto aos abstratos (a transformação da energia mecânica em calor e a sua condução através da corrente), o que na teoria vigotskiana caracteriza o processo de desenvolvimento do pensamento por conceitos. Os slides desta apresentação constam no Anexo A.

A apresentação do segundo grupo iniciou-se com a refutação da hipótese de o *Kraken* ter sido o causador da morte dos mergulhadores. A partir dos estudos dos objetivos de aprendizagem e do uso de simuladores, chegaram à Primeira Lei da Termodinâmica. A solução apresentada pelo grupo foi correta; embora com alguns erros conceituais, como a expressão “*conforme a pessoa mandasse mais ar as moléculas se aqueciam*”. Quando interrogados sobre o significado dos termos *energia interna* e *trabalho*, expressos na solução, eles não souberam responder. Portanto, eles conseguiram relacionar o sino de mergulho com outro sistema termodinâmico - pressurizar um pneu utilizando uma bomba de ar manual - à luz da Primeira Lei da Termodinâmica não foi explorada adequadamente (Anexo B). Neste caso, notamos que que além de manipular objetos abstratos (como o comportamento das moléculas) eles assimilaram o sino de mergulho com um sistema termodinâmico relativamente simples, uma transposição que é característica do pensamento por conceitos.

O terceiro grupo refutou a hipótese do *Kraken*, apresentou informações sobre o mar de Barents (as reservas de petróleo, que são quentes), explicou o funcionamento do sino de mergulho e forneceu informações sobre os riscos relacionados à atividade de mergulhar (como a doença de descompressão), bem como a máxima profundidade possível para o mergulho com o sino. Como a máxima profundidade possível atingida por um sino de mergulho é de 200 metros e a profundidade média do mar de Barents é de 230 metros, concluíram que os mergulhadores chegaram próximos do leito do mar e por isso morreram devido ao calor proveniente das reservas de petróleo abaixo do leito. Nesta solução, notamos novamente a manifestação do pensamento lógico-dedutivo aplicado aos objetos concretos, o que pode caracterizar a transição entre o pensamento por complexos e o pensamento conceitual.

Finalmente, o grupo que encontrou o texto do qual fora tirado o problema apresentou explicações sobre o significado do nome da embarcação, o funcionamento do sino de mergulho, o estuário, sobre o *Kraken* e sobre insolação. Por terem tido acesso ao texto original, descreveram algumas formas de energia; mas ao apresentarem a solução para o problema, não conseguiram interpretar o texto e utilizaram a teoria do flogisto para explicar o acidente, sendo que esta teoria fora a versão contestada na história. Ao final, o professor comentou, brevemente, sobre o que foi a teoria do flogisto, explicando que a data introduzida ao problema (1855) teve grande importância na história da Física, em especial para a termodinâmica, derrubando as teorias do flogisto e do calórico.

Na Turma B, apenas um grupo apresentou a solução do problema. A partir dos fatos relacionados à causa da morte (pele mosqueada e insolação), descartaram a possibilidade de morte por descompressão e atribuíram ao calor advindo do petróleo o aumento da temperatura no interior do sino⁴⁸.

O primeiro grupo a se apresentar da Turma C tratou da lenda do Kraken sem desmistificá-lo; descreveu o funcionamento do sino de mergulho e mencionou que a pressão da água mantém o ar preso no interior do sino, bem como os efeitos da pressão hidrostática sobre os mergulhadores. Apresentaram imagens de pessoas com a pele mosqueada e, a partir de uma imagem com a escala de queimaduras, concluíram que os mergulhadores sofreram queimaduras de primeiro grau. Entretanto, associaram a insolação com a queimadura por gelo (devido a informação de que a água estava próxima de zero grau Celsius). Concluíram que os mergulhadores morreram devido a condução de calor entre o motor do barco ao sino através da corrente que o sustentava.

⁴⁸ Para essa turma, cogitamos em não aplicar o segundo problema pois as duas aulas estavam concentradas nas sextas-feiras, mas os feriados (às quintas ou sextas-feiras) prejudicaram o andamento das atividades.

Na apresentação do segundo grupo, a novidade foi a informação da quantidade de energia que é transferida para o mar de Barents, o que lhe confere a maior temperatura em relação aos outros que compõem o Oceano Ártico. Concluíram que a causa da morte dos mergulhadores se deve tanto ao aumento da temperatura do ar no interior do sino, causada pelo aumento da pressão da água sobre ele à medida que submergia, quanto aos fatores geotérmicos, como a temperatura das reservas de petróleo e do mar de Barents.

Seguindo a ordem similar para a apresentação, o terceiro grupo trouxe como informação adicional a degradação dos materiais (borracha e metal) pela salinidade da água do mar, mas em nada avançaram na solução do problema. Na aula destinada ao levantamento das hipóteses este grupo pareceu ser promissor, mas se desorganizou durante as etapas de investigação dos objetivos de aprendizagem.

Na apresentação seguinte, iniciada com a indagação “*O mar de Barents é quente?*” os alunos explicaram que o mar de Barents é dividido em duas regiões, uma mais fria e outra mais quente. A partir desta informação, eles inferiram que tais regiões são divididas em níveis de profundidades diferentes (e não em termos da latitude e longitude do oceano). Daí a explicação para a morte dos mergulhadores: à medida que o sino submergiu, este adentrou na “zona meridional”, que aqueceu o sino de metal com os mergulhadores presos em seu interior.

O último grupo a se apresentar argumentou a partir de uma das simulações do PHET Colorado. Por meio desta simulação, os estudantes demonstraram a relação entre o aumento da pressão do ar dentro do sino (simulado com as moléculas de oxigênio) com a temperatura. Um dos alunos estabeleceu um paralelo com o que acontece com o cilindro automotivo de GNV ao abastecer. Ele contou que o pai lhe pediu para colocar a mão sobre o cilindro para sentir o aquecimento dele enquanto era abastecido. Nesta ocasião, pedimos para que eles alterassem a temperatura do sistema e observassem a relação desta grandeza com o comportamento das moléculas no simulador. Após algumas mudanças (aquecimento e resfriamento) um dos alunos percebeu que a temperatura e a pressão estavam relacionadas com o grau de agitação das moléculas.

5.4.4 Relato da aplicação -Atividade 4

Para demonstrar a sua solução para o problema, explicamos quais eram as nossas expectativas sobre os conteúdos a serem aprendidos e como estes poderiam ter sido estudados ao longo das aulas. Mostramos que, a partir do estudo da patologia de insolação, os alunos concluiriam que o ambiente (o sino de mergulho) em que os mergulhadores estavam se aqueceu

além do permitido e que, para tentar diminuir a temperatura corporal, eles retiraram os trajes de mergulho, mas não fora o suficiente. A partir da comparação de informações sobre morte por insolação e sobre o *Kraken*, seria possível descartar a hipótese de que este teria sido o causador da morte dos mergulhadores.

Em seguida, explicamos como o sino de mergulho se aqueceu a ponto de matar os dois mergulhadores por insolação. Para isso, foi tratado o conceito de *calor* como um método de transferência de energia entre dois corpos com temperaturas diferentes. Identificamos o barco à vapor (no caso a fornalha) como a fonte quente e o sino como a fonte fria e posteriormente mostramos que a hipótese de o calor ter se propagado por condução até o sino não seria plausível. Portanto, deveria haver outra forma de se produzir calor no interior do sino.

A partir do estudo sobre o sino de mergulho, realizamos um experimento para simular o que aconteceu com o ar dentro dele: fizemos um furo na base de uma garrafa PET na qual foi introduzido um termômetro culinário. No gargalo da garrafa colocamos uma rolha transpassada por uma agulha de encher bola conectada a uma bomba de ar manual. Explicamos que a garrafa PET e a bomba de ar manual representavam, respectivamente, o sino de mergulho e o compressor de ar mencionados no problema. Então, bombeamos ar para dentro da garrafa e pelo termômetro conferimos que a temperatura do ar no interior da garrafa aumentava (Figura 5.10). Os alunos manipularam o experimento e um deles sugeriu que colocássemos um pouco de água dentro da garrafa, simulando o sino imerso, como no problema. Neste caso constatamos que a temperatura aumentou mais lentamente à medida que bombeávamos o ar.

Finalizamos tal demonstração explicando-a à luz da Primeira Lei da Termodinâmica, em que a energia mecânica do movimento do pistão é transformada em energia térmica, implicando no aumento da temperatura do ar dentro da garrafa, em analogia com o que ocorreu no interior do sino.

Finalmente, explicamos que à época em que o problema ocorreu os estudos sobre transformação de energia estava em vias de ser consolidado com as leis da Termodinâmica e mencionamos o trabalho de Joule. Por isso, não seria possível esclarecer a causa da morte dos mergulhadores, pois o conhecimento para tal ainda não tinha sido produzido.

Figura 5.9 - Experimento realizado para demonstrar o aquecimento do ar no interior do sino. (A) Colamos uma rolha no interior do gargalo de uma garrafa PET e em seguida perfuramos a rolha com o bico da bomba de ar; por fim perfuramos a base da garrafa para o encaixe do termômetro culinário. (B) medida da temperatura do ar ($27,5^{\circ}\text{C}$) antes do acionamento da bomba; (C) medida da temperatura do ar ($31,8^{\circ}\text{C}$) após repetidos acionamentos da bomba de ar.



Fonte: O autor

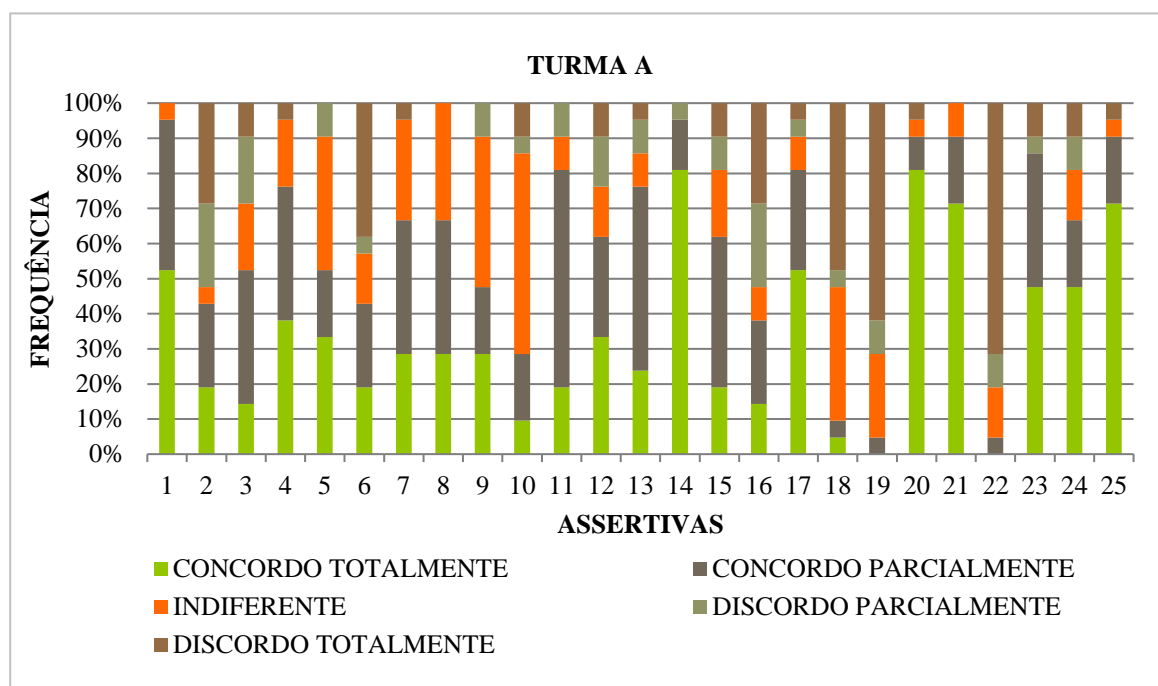
Explicamos a solução do problema em todas as turmas utilizando os principais apontamentos sobre os acertos e erros dos grupos ao buscarem pela sua solução. Convém aqui mencionar que, ao contrário do problema anterior, neste os alunos cultivaram grande expectativa em saber qual seria a solução correta, o que produziu grande engajamento da maioria durante as explicações.

5.4.5 Relato da aplicação -Atividade 5

Os alunos das três turmas realizaram a autoavaliação grupal e a avaliação do método PBL (Apêndices B e D, respectivamente). Semelhantemente ao o que ocorreu com a avaliação do primeiro problema, os alunos manifestaram seriedade ao realizar tais avaliações.

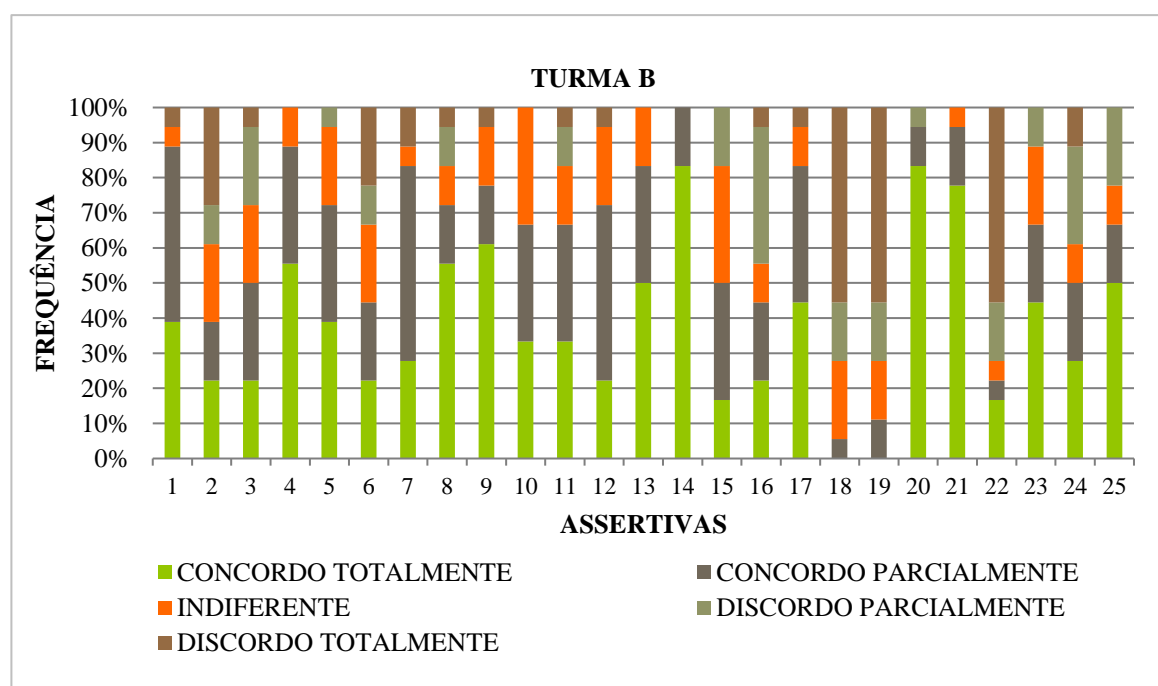
Analogamente, os gráficos a seguir mostram os resultados da segunda autoavaliação do método pelos alunos, após a aplicação do segundo problema (Figuras 5.11, 5.12 e 5.13).

Figura 5.11 - Resultado da autoavaliação sobre o ensino e aprendizagem com o método PBL para a Turma A (N=21 alunos) após a aplicação do segundo problema.



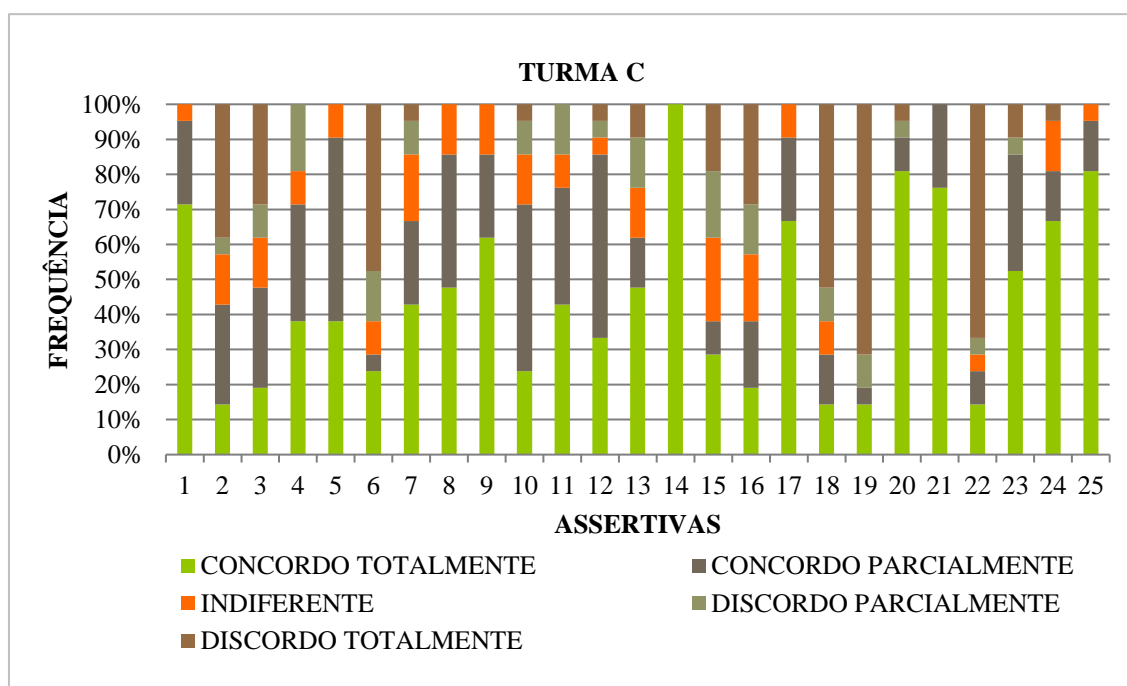
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5.10 - Resultados da autoavaliação sobre o ensino e aprendizagem com o método PBL para a Turma B (N=18 alunos) após a aplicação do segundo problema.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 5.11 - Resultados da autoavaliação sobre o ensino e aprendizagem com o método PBL para a Turma C (N=21 alunos) após a aplicação do segundo problema.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Atividade centrada no aluno: A partir da assertiva 1 temos que a dinamicidade das aulas se manteve, apesar do aumento da dependência dos alunos junto ao professor (assertiva 2). Cerca da metade dos alunos afirmou possuir conhecimentos prévios sobre o tema (assertiva 3) e menos da metade pôde aplicá-los durante a resolução do problema (assertiva 15).

Aprendizagem em grupos tutoriais: Nesta segunda aplicação, notamos que os alunos se sentiram mais familiarizados com o ambiente PBL (assertiva 18), fato que, na opinião do professor, tornou os grupos mais funcionais quando comparados ao problema anterior. Contudo, ainda assim alguns alunos não se adaptaram ao modelo de aula (assertiva 19).

Autoaprendizagem: No tocante à aprendizagem, os alunos alegaram ter seus conhecimentos prévios aperfeiçoados durante as aulas (assertiva 4) e a maioria dos alunos pôde refletir sobre a autoaprendizagem (assertivas 5 e 7). Houve um aumento entre os alunos que estudaram fora do horário escolar (assertivas 6 e 12). Interessante notar aqui a relação entre as assertivas 23 e 24 para a Turma B, que dentre as três turmas foi a mais prejudicada devido ao número reduzido de aulas.

O professor como tutor: Na opinião dos alunos o professor se sentiu mais seguro e pôde desempenhar melhor o seu papel de tutor (assertivas 20 e 21). Embora a dificuldade em lidar

com vários grupos tenha persistido, a maioria dos alunos julgou o tempo de tutoria adequado (assertiva 22).

O cenário problemático como estímulo à aprendizagem: O cenário problemático teve grande aceitação e superou as expectativas do professor (assertiva 14). Considerado de leitura fácil (assertiva 13), sua interpretação proporcionou diferentes graus de dificuldade por parte dos alunos (assertiva 16).

Habilidades relacionadas à resolução de problemas: Quanto às habilidades relativas à resolução de problemas e tomadas de decisão (assertivas 10 e 11), os gráficos mostram que a maioria dos alunos se sentiu mais confiante diante de novas situações, exceto a turma A, cuja maioria alegou não saber proceder diante de uma nova situação problemática em contraste com a mesma assertiva (10) para o problema anterior. Tal constatação reforça a importância de se trabalhar com os conhecimentos atitudinais e procedimentais dos alunos dentro das etapas do grupo tutorial.

Capítulo 6

CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi desenvolver e testar um produto educacional baseado na Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), cuja aplicação nos permitiu delimitar algumas possibilidades, limites e perspectivas dessa metodologia para o ensino de Termodinâmica na educação básica.

Os problemas foram elaborados para contemplarem, principalmente, conteúdos referentes à Primeira Lei da Termodinâmica, como o princípio da conservação da energia, temperatura, propriedades dos gases, calor e trabalho. Dois fatores foram considerados para a escolha destes conteúdos: i) a intenção de desenvolver a atividade com turmas da segunda série do EM, o que implicou na escolha de assuntos pertencentes a um dos dois blocos temáticos do currículo do estado de São Paulo, a saber: *Calor, ambiente e usos de energia* ou *Som, imagem e comunicação*; ii) a necessidade de mudança da prática docente ao lecionar conteúdos relativos à Termodinâmica, até então ministrados de forma tradicional e pouco contextualizada.

De acordo com o referencial utilizado, a eficiência do uso da PBL repousa sobre a qualidade do cenário problemático, amparado didática e metodologicamente. Logo, o primeiro objetivo específico foi elaborar os problemas. A princípio, nossa experiência mostrou que o cenário problemático de carácter investigativo/misterioso teve maior aceitação do que o de carácter jornalístico/informativo, de forma que o livro, “*As aventuras científicas de Sherlock Holmes*”, mostrou-se um recurso potencialmente apropriado para a elaboração de outros problemas PBL. Entretanto, apesar de sua aceitação pela maioria dos alunos, esta não foi condição suficiente para que todos os grupos se engajassem satisfatoriamente na resolução do problema.

Destacamos, porém, que o engajamento das meninas durante o desenvolvimento das aulas foi maior em relação aos meninos e que os grupos com número maior de meninas apresentaram melhor desempenho em relação aos grupos de maioria masculina, ou exclusivamente masculina. Neste sentido, acreditamos que as aulas de Física no formato PBL podem colaborar para aumentar o interesse das meninas nesta disciplina e que seria

necessário investigar a relação ideal entre o número de meninos e o de meninas que pode tornar os grupos tutoriais mais funcionais.

A organização dos alunos em grupos tutoriais e a valorização de seus conhecimentos prévios durante o levantamento de hipóteses revelaram-se como um fator motivacional no ambiente PBL. As interações discursivas foram facilitadas em torno de uma situação-problema e foram marcadas pela dialogicidade e argumentação, que modificaram consideravelmente a relação tradicional entre aluno e professor. Com efeito, houve situações em que alunos o procuraram para tratar sobre a resolução do problema fora da sala de aula (durante o intervalo, nas trocas de aula e pelas redes sociais).

Embora possa parecer que no desenvolvimento de nossa proposta a aprendizagem dos conteúdos disciplinares de Física tenha sido superficial – fato comumente relatado na literatura - o referencial teórico adotado não visa a aprendizagem como um resultado, um produto; mas sim, como um processo. Neste sentido, identificamos indícios dos estágios de desenvolvimento do pensamento conceitual dos alunos a partir da resolução dos problemas no ambiente PBL.

Notamos que a maioria dos estudantes manifesta o conhecimento físico através do pensamento por complexos. Contudo, durante a resolução do segundo problema, verificamos indícios da transição desse modo de pensamento para o pensamento por conceitos. Destacamos ainda que, apesar da metodologia não ser centrada na figura do professor, este é de fundamental importância tanto para o desenvolvimento das atividades do grupo tutorial, quanto na função de indivíduo mais capaz nas interações sociais, como um dos fatores importantes no salto qualitativo do pensamento conceitual dos alunos.

Ainda sobre a função do professor tutor, nos deparamos com situações que exigiram um espectro de competências não desenvolvidas nos cursos de licenciatura, relacionadas à gestão de dinâmica de grupos e argumentação. Conforme relatado, após o primeiro problema, percebemos a necessidade de tornar os grupos mais funcionais, baseando sua organização não apenas na cognição dos alunos, mas também em suas subjetividades (motivação, afetividades, relacionamento aluno-aluno e aluno-professor) e que o desempenho dos novos grupos melhorou em relação aos anteriores. Consideramos que isso está intimamente relacionado à nova função do professor como tutor, cuja conduta seleciona e reforça as atitudes dos alunos em conformidade com o molde PBL. É importante destacar que essas ações foram conduzidas sem fundamentação teórica, por isso nosso produto educacional contém sugestões sobre como o professor pode se preparar para trabalhar com atividades em grupos colaborativos de alunos.

No que concerne aos recursos disponíveis para a realização das aulas, ter uma sala de informática com bons computadores e acesso à internet mostrou-se fundamental para as pesquisas dos objetivos de aprendizagem. Com efeito, se a escola contar - no mínimo – com este recurso, a aplicação do método PBL é viável. Entretanto, é preciso ressaltar que a maioria dos alunos não sabe utilizar este recurso de forma eficiente, ou seja, não possuem critérios para selecionar fontes confiáveis de informação. Diante desta dificuldade, sugerimos que os alunos realizem as pesquisas dos objetivos de aprendizagem de forma direcionada.

Constatamos, conforme a literatura, que o número reduzido de aulas representa um fator de dificuldade para a aplicação da proposta em questão. Portanto, consideramos que - além da sugestão de Montanher (1967), de que trabalhar um problema por bimestre seria uma forma de se contornar o pequeno número de aulas destinadas à disciplina de Física no EM nas escolas públicas -, a aplicação do método PBL seria mais adequada em escolas de tempo integral. Ou, ainda, caso seja aplicada em escolas regulares, que se utilize uma variação do método em que aulas tradicionais, relacionadas aos conceitos abordados pelo problema, sejam inseridas entre as etapas de resolução do problema, a fim de complementar os objetivos de aprendizagem dos grupos tutoriais, conforme sugerem Souza e Dourado (2015).

Finalmente, nossos relatos apontam para a PBL como uma proposta de metodologia potencialmente adequada à formação do jovem contemporâneo nas escolas de educação básica. Portanto, esperamos que este trabalho possa contribuir tanto com os professores que atuam nesse nível de ensino quanto com pesquisadores do tema. No que cabe a nós, inseridos na proposta do programa do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, oferecemos aos professores que aceitarem o desafio de renovar a sua prática docente com uma metodologia ativa, no caso a PBL, um produto educacional que explora os pontos positivos e reduz as dificuldades encontradas no decorrer da aplicação, visando a ressignificação de nosso produto e o desenvolvimento de novas competências, tanto de professores quanto de alunos.

REFERÊNCIAS

ALLEN, D. E.; DUCH, B. J.; GROH, S. E. The power of problem-based learning in teaching introductory science courses. **New Directions for Teaching and Learning**, v. 1996, n. 68, p. 43–52, 1996.

ANDRADE, M. A. B. S. DE. **POSSIBILIDADES E LIMITES DA APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS NO ENSINO MÉDIO**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências, 2007. Disponível em: Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/90926>>. Acesso em: 27 out. 2018

ANDRADE, R. F. S.; PINHO, S. T. R. DE. Evolução das ideias da termodinâmica e da mecânica estatística. In: ROCHA, J. F. (Ed.). . **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador, BA: EDUFBA, 2011. p. 374.

ANGOTTI, J. A.; DELIZOICOV, D. **Física**. 2 ed. rev. ed. São Paulo: Cortez, 1992.

BARBOSA, J. P. V.; BORGES, A. T. O entendimento dos estudantes sobre energia no início do ensino médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, Florianópolis, v. 23, n. 2, p. 182-217, set. 2008. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6275>>. Acesso em: 29 out. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5007/%x>.

BARBOSA, R. G.; BATISTA, I. D. L. Vygotsky: Um Referencial para Analisar a Aprendizagem e a Criatividade no Ensino da Física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 2, p. 49–67, 30 abr. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4614>>. Acesso em: 18 ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec201818149>.

BARROWS, H. S. A taxonomy of problem-based learning methods. **Medical education**, v. 20, n. 6, p. 481–486, 1986.

BARROWS, H. S. Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview. **New directions for teaching and learning**, v. 1996, n. 68, p. 3–12, 1996.

BATISTA, N. et al. O enfoque problematizador na formação de profissionais da saúde. **Revista de Saúde Pública**, v. 39, n. 2, p. 231–237, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-89102005000200014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 08 jan. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-89102005000200014>

BERBEL, N. A. N. A problematização e a aprendizagem baseada em problemas. **Interface (Botucatu)**, Botucatu, v. 2, n. 2, p. 139-154, fev. 1998. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1414-32831998000100008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 02 nov. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1414-32831998000100008>.

BORGES, M.; CHACHÁ, S.; QUINTANA, S. M.; FREITAS, L. C.; RODRIGUES, M. DE L. Aprendizado baseado em problemas. **Medicina (Ribeirão Preto. Online)**, v. 47, n. 3, p.

301–307, 2014. Disponível em: < <http://www.revistas.usp.br/rmrp/article/view/86619>>. Acesso em: 02 nov. 2017. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2176-7262.v47i3p301-307>

BRUCE, C.; BORGES, M. L. X. DE A.; CHERMAN, A. **As aventuras científicas de Sherlock Holmes: paradoxo de Einstein e outros mistérios**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2002.

BRUHAT, G. **Curso de Física Geral: Termodinâmica I**. Tradução de Nelson de Jesus Parada. São Paulo, SP: DIFEL, 1966. v. 1

BRUNER, J. S. Introdução. In: **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2005.

CAVALCANTI, L. S. Cotidiano, mediação pedagógica e formação de conceitos: uma contribuição de Vygotsky ao ensino de geografia. **Cadernos CEDES**, v. 25, n. 66, p. 185–207, ago. 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ccedes/v25n66/a04v2566.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2018

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Thermodynamics: an engineering approach**. 5th ed ed. Boston: McGraw-Hill Higher Education, 2006.

COLE, M.; SCRIBNER, S. Introdução. In: **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. 6. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

COSTA, M. I. M. Psicologia da adolescência. Contribuições para um estado da arte. **Interações**, n. 10, p. 25–51, 2000.

COVOLAN, S. C. T.; SILVA, D. DA. A entropia no Ensino Médio: utilizando concepções prévias dos estudantes e aspectos da evolução do conceito. **Ciência & Educação (Bauru)**, Bauru, v. 11, n. 1, p. 97-117, abr. 2005 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132005000100009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 11 mai. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-73132005000100009>.

DELIZOICOV, D. Problemas e problematizações. In: PIETROCOLA, M. (Ed.). **Ensino de física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora**. Florianópolis, SC: Ed. da UFSC, 2006. p. 236.

DITTMAN, R.; ZEMANSKY, M. W. **Heat and thermodynamics: an intermediate textbook**. 7th ed ed. New York: McGraw-Hill, 1997.

DOS ANJOS, R. E. A educação escolar de adolescentes e a formação dos conceitos científicos. **Temas em Educação e Saúde**, v. 7, 2011.

ECHAVARRIA, M. V. Problem-Based Learning Application In Engineering. **Rev.EIA.Esc.Ing.Antioq**, Envigado, n. 14, p. 85-95, dez. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-12372010000200008&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 16 jan. 2018.

EDENS, K. M. Preparing Problem Solvers for the 21st Century through Problem-Based Learning. **College Teaching**, v. 48, n. 2, p. 55–60, abr. 2000.

EISBERG, R. M.; RESNICK, R. **Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. Rio de Janeiro (RJ): Campus, 1994.

FELDER, R. M.; BRENT, R. Designing and teaching courses to satisfy the ABET engineering criteria. **Journal of Engineering Education**, v. 92, n. 1, p. 7–25, 2003.

FERMI, E. **Thermodynamics**. New York, NY: Dover Publications, 1956.

FERRAZ, A. P. DO C. M.; BELHOT, R. V. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. **Gest. Prod.**, São Carlos. v17, n. 2, p. 421-431, 2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2010000200015&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 17 jul. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X2010000200015>.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de física: the Feynman lectures on physics**. Porto Alegre (RS): Bookman, 2008. v. 1

FORINASH, K. A few ideas for teaching environmental physics. **Physics Education**, v. 51, n. 6, p. 065024, 2016.

GALANTE, A. C. et al. A vinheta como estratégia de coleta de dados de pesquisa em enfermagem. **Revista Latino-Americana de Enfermagem, Rev. Latino-Am. Enfermagem**, Ribeirão Preto, v. 11, n. 3, p. 357-363, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-11692003000300014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 17 jan. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-11692003000300014>.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. DE C. Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 2, p. 227–254, 2005. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/518/315>>. Acesso em: 31 jul. 2018.

GEHLEN, S. T.; DELIZOICOV, D. A dimensão epistemológica da noção de problema na obra de Vygotsky: implicações no ensino de ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 17, n. 1, p. 59–79, 2016. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/207>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

GRINGS, E. T. DE O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Significados dos conceitos da termodinâmica e possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes do ensino médio e técnico. **Revista Liberato**, v. 8, n. 10, 2007. Disponível em: <[http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%208,%20n.%2010%20\(2007\)/1.%20Significados%20dos%20conceitos%20da%20termodin%20e%20poss%20veis%20indicadores.pdf](http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%208,%20n.%2010%20(2007)/1.%20Significados%20dos%20conceitos%20da%20termodin%20e%20poss%20veis%20indicadores.pdf)> Acesso em: 26 fev. 2018.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica**. 8. ed. Rio de Janeiro (RJ): LTC, 2009. v. 2

HMELO-SILVER, C. E.; EBERBACH, C. Learning Theories and Problem-Based Learning. In: BRIDGES, S.; MCGRATH, C.; WHITEHILL, T. L. (Eds.). . **Problem-Based Learning**

- in Clinical Education: The Next Generation.** Dordrecht: Springer Netherlands, 2012. p. 3–17.
- HUNG, W. The 3C3R Model: A Conceptual Framework for Designing Problems in PBL. **Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning**, v. 1, n. 1, 22 maio 2006. Disponível em: <<https://docs.lib.purdue.edu/ijpbl/vol1/iss1/6/>>. Acesso em: 20 dez. 2017.
- HUNG, W.; JONASSEN, D. H.; LIU, R. Problem-based learning. **Handbook of research on educational communications and technology**, v. 3, p. 485–506, 2008. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/8642/84970bebcd0d62bf0d31a26a1a67ba0e7883.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2017.
- JOULE, J. P. **The Scientific Papers of James Prescott Joule.** London: Physical Society, 1884. v. 1
- LEFRANCOIS, G. R. **Teorias da aprendizagem: o que a velha senhora disse.** 5. ed. São Paulo, Brasil: Cengage Learning, 2008.
- MARTINS, A. F. P.; RAFAEL, F. J. Uma investigação sobre as concepções alternativas de alunos do ensino médio em relação aos conceitos de calor e temperatura. In: XVII SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 2007, São Luís. **Anais.** São Luís: SBF, 2007. Disponível em: http://www.cienciamao.usp.br/dados/snef/_calortemperaturaconcepco.trabalho.pdf. Acesso em: 17 fev. 2018.
- MONTANHER, V. C. **Aprendizagem baseada em casos nas aulas de física do ensino médio.** Campinas, SP: Universidade Estadual de Campinas, 2012.
- MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem.** São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, EPU, 2011.
- MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino. **Investigações em ensino de ciências**, v. 7, n. 3, p. 283–306, 2002.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física básica: fluidos, oscilações e ondas, calor.** 4. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2002. v. 2
- OSTERMANN, F.; REZENDE, F. Projetos de desenvolvimento e de pesquisa na área de ensino de ciências e matemática: Uma reflexão sobre mestrados profissionais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, 19 maio 2009. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2009v26n1p66>>. Acesso em: 05 nov. 2018. DOI:<https://doi.org/10.5007/2175-7941.2009v26n1p66>.
- PASSOS, J. C. Os experimentos de Joule e a primeira lei da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, p. 3603.1-3603.8, set. 2009. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172009000300013&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 27 nov. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172009000300013>.
- PEDUZZI, L. O. Q.; PEDUZZI, S. S. Sobre o papel da resolução literal de problemas em Ensino de Física: exemplos em Mecânica. In: **Ensino de Física: Conteúdo, metodologia e**

epistemologia em uma concepção integradora. Florianópolis, SC: Ed. da UFSC, 2006. p. 236.

PEREIRA, A. P. DE; LIMA JUNIOR, P. Implicações da perspectiva de Wertsch para a interpretação da teoria de Vygotsky no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, p. 518, 12 maio 2014. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2014v31n3p518>>. Acesso em: 21 jul. 2018. DOI:<https://doi.org/10.5007/2175-7941.2014v31n3p518>.

PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o papel do conhecimento físico no entendimento do mundo. In: **Ensino de física: metodologia e epistemologia em uma concepção integradora.** Florianópolis, SC: Ed. da UFSC, 2006. p. 236.

PIETROCOLA, M. et al. **Física: conceitos e contextos: pessoal, social, histórico: energia, calor, imagem e som: 2.** 1. ed. São Paulo: FTD, 2013. v. 2

PIETROCOLA, M. et al. **Física em contextos, 2: ensino médio.** 1. ed. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

PIETROCOLA, MAURICIO PINTO DE OLIVEIRA et al. **Física: conceitos e contextos: pessoal, social, histórico.** 1. ed. São Paulo: FTD, 2013.

PINHEIRO, T. DE F.; PIETROCOLA, M.; FILHO, J. DE P. A. Modelização de variáveis: uma maneira de caracterizar o papel estruturador da Matemática no conhecimento científico. In: **Ensino de física: metodologia e epistemologia em uma concepção integradora.** Florianópolis, SC: Ed. da UFSC, 2006. p. 236.

PLANCK, M.; OGG, A. **Treatise on thermodynamics.** 3. ed. Transl. from the 7. German ed. New York: Dover, 1990.

POZO, J. I.; CRESPO, M. Á. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico.** 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

RANDALL, R. E. Diving and Underwater Life Support. In: **Developments in Offshore Engineering.** [s.l.] Elsevier, 1999. p. 472–560.

REGO, T. C. **Vygotsky: uma perspectiva historico-cultural da educacao.** Petropolis: Vozes, 2009.

RIBEIRO, L. R. DE C. Aprendizagem baseada em problemas (PBL) na educação em engenharia. **Revista de Ensino de Engenharia**, v. 27, n. 2, p. 23–32, 2008.

RICARDO, E. C. Problematização e contextualização no ensino de física. **Ensino de Física (Coleção Ideias em Ação).** São Paulo: Cengage Learning, p. 29–51, 2010.

ROSA, C. W.; ROSA, A. B. Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, p. 18, 2005. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/94808/000913294.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 30 mar. 2018

SÃO PAULO, E. **Currículo do Estado de São Paulo: Ciências da Natureza e suas tecnologias,** 2010. Disponível em:

<<http://www.rededosaber.sp.gov.br/portais/Portals/43/Files/CNST.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2018

SONNTAG, R. E.; BORGNAKKE, C.; VAN WYLEN, G. J. **Fundamentals of thermodynamics**. 6. ed., internat. ed ed. New York: Wiley, 2003.

SOUZA, S. C. DE; DOURADO, L. Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP): um método de aprendizagem inovador para o ensino educativo. **HOLOS**, v. 5, p. 182, 1 out. 2015. ISSN 1807-1600. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/2880>>. Acesso em: 18 dez. 2017. doi:<https://doi.org/10.15628/holos.2015.2880>.

TATAR, E.; OKTAY, M. The effectiveness of problem-based learning on teaching the first law of thermodynamics. **Research in Science & Technological Education**, v. 29, n. 3, p. 315–332, nov. 2011.

VIGOTSKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2005.

VIOLA, D. T. D. Vygotsky com Lacan: considerações sobre a formação dos conceitos na adolescência. **Psicologia USP**, v. 28, n. 3, p. 432–440, dez. 2017.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. Tradução: José Cipolla Neto; Tradução: Luiz Silveira Menna Barreto; Tradução: Solange Castro Afeche. 6. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

WERTSCH, J. V. Computer Mediation, PBL, and Dialogicality. **Distance Education**, v. 23, n. 1, p. 105–108, 2002. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/James_Wertsch/publication/228598090_Computer_Mediation_PBL_and_Dialogicality/links/55af8a6008ae11d31037bbd4/Computer-Mediation-PBL-and-Dialogicality.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2018.

ZABALA, A.; ROSA, E. F. DA F.; FARENZENA, N. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: ARTMED, 2007.

Apêndice A

PRODUTO EDUCACIONAL”



Prefácio

Caro professor, temos presenciado, talvez mais do que em outras épocas, o questionamento, por parte dos alunos, da utilidade do saber transmitido pela escola. Tal questionamento é reflexo das dúvidas que eles possuem sobre a formação que, supostamente, estão recebendo para enfrentar as exigências do mundo contemporâneo.

Sabemos que a solução para essa crise de sentido do sistema educacional brasileiro é complexa, pois envolve interesses políticos e econômicos. Enquanto aguardamos por isso, o que nós, professores, temos são alternativas e estratégias metodológicas que podem nos ajudar a enfrentar os desafios que se impõem à prática docente de ensino e à aprendizagem dos estudantes.

Voltado para o Ensino de Física, especificamente para o ensino de Termodinâmica, esperamos que este Produto Educacional possa ampliar tal repertório docente ao oferecer outra possibilidade de construção do conhecimento pelos alunos em seus anos escolares por meio da *Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL)*.

Este Produto Educacional está dividido em duas partes. Inicialmente, no *Guia para o Professor* oferecemos um panorama sobre as bases teóricas e metodológicas que fundamentam a PBL. Posteriormente, mostramos como o professor, em sua função de tutor, poderá conduzir seus alunos na aquisição do conhecimento por meio da resolução dos problemas. Posteriormente, mostramos como o professor, em sua função de tutor, poderá conduzir os alunos por meio dos objetivos de aprendizagem propostos em cada problema. Na segunda parte temos o *Módulo PBL*, composto por dois problemas e outros recursos a serem utilizados no decorrer das resoluções em sala de aula.

Caso tenha interesse em saber detalhadamente as etapas de elaboração do Produto Educacional e o relato de sua aplicação, vide a dissertação "*Aprendizagem Baseada em Problemas: um roteiro para o Ensino de Termodinâmica na Educação Básica*" que resultou neste trabalho.

Para dúvidas ou informações adicionais, envie-nos um e-mail no endereço:

arena.professor@gmail.com

Os autores.

Este material foi produzido no Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba (PROFIS-So).

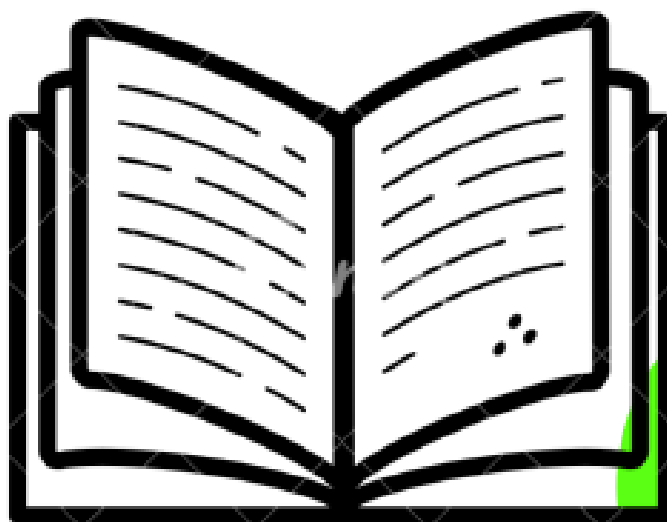
Março de 2020

Sumário

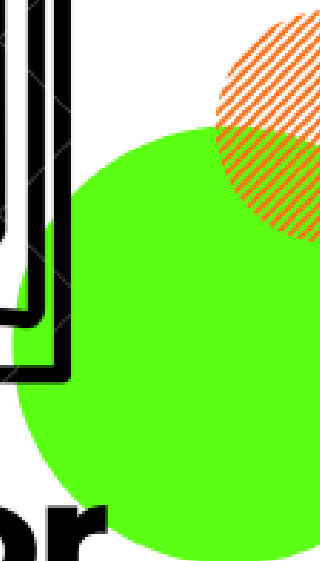
1	FUNDAMENTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS DO PRODUTO EDUCACIONAL	5
1.1	INTRODUÇÃO À APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS	5
1.2	PRINCÍPIOS DA PBL	6
1.3	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA PBL	6
	O papel dos estudantes	7
	Trabalho em grupo	7
	O papel do professor: professor tutor	8
1.4	ETAPAS ESTRUTURANTES DA PBL	10
	Como desenvolver o cenário problemático	10
	Interpretação do cenário problemático	12
	O processo de resolução do problema	13
	Apresentação da solução do problema e avaliação do processo de aprendizagem	13
1.5	VARIAÇÕES DA PBL	16
1.6	A PBL APLICADA AO ENSINO DE FÍSICA	19
1.7	A TEORIA DE VIGOTSKI PARA O DESENVOLVIMENTO COGNITIVO	20
1.8	IMPLICAÇÕES EDUCACIONAIS DA TEORIA VIGOTSKIANA	21
1.9	A ABORDAGEM VIGOTSKIANA E O MÉTODO PBL NESTE PRODUTO EDUCACIONAL	24
2	GUIA DE APLICAÇÃO DO PRIMEIRO PROBLEMA	27
2.1.	CONHECENDO O PROBLEMA	27
	Sobre as empresas mencionadas na reportagem	28
	Sobre o moto-perpétuo	29
	Sobre as formas de energia, sua conservação e degradação	29
	Sobre o pensamento anticiência	30
2.2.	PLANO DE AULA PARA A APLICAÇÃO DO PRIMEIRO PROBLEMA	33
3	GUIA DE APLICAÇÃO DO SEGUNDO PROBLEMA	36
3.1.	CONHECENDO O PROBLEMA	36
	Sobre a geografia do local	37
	Sobre a relação do kraken com a morte dos mergulhadores	39
	Sobre o funcionamento do sino de mergulho	39
	Sobre o sistema bomba de ar-sino de mergulho e a Primeira Lei da Termodinâmica	41
	Sobre a relação entre a data do acidente com a Primeira Lei da Termodinâmica	43
3.2.	CRONOGRAMA DE APLICAÇÃO	47
4	MÓDULO PBL	48
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57



Guia para o



professor



1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS E METODOLÓGICOS DO PRODUTO EDUCACIONAL

Na década de 1970, logo após a Universidade de McMaster, as universidades de Maastricht (Holanda) e Newcastle (Austrália) incluíram a PBL nos currículos dos cursos de medicina (BARROWS, 1996). Desde então, devido ao seu carácter inovador, a PBL tem sido amplamente difundida na estrutura curricular de várias escolas de medicina em todo mundo (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008). No Brasil, na década de 1990, a Universidade de Medicina de Marília e a Universidade Estadual de Londrina foram as primeiras a incluir a PBL em seus currículos (BATISTA et al., 2005).

1.1 INTRODUÇÃO À APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS

A Aprendizagem Baseada em Problemas, traduzido do inglês *Problem Based Learning*, PBL¹, é uma metodologia que foi desenvolvida para sanar o desempenho clínico insatisfatório² dos estudantes da *McMaster University's Faculty of Health Sciences*, no Canadá (BARROWS, 1996). Howard Barrows, considerado o principal articulador da equipe de professores que reformulou o currículo do curso da Escola Médica dessa universidade (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015), inseriu a metodologia da PBL, por três anos, na proposta curricular do curso, tendo a primeira turma concluído a graduação em 1972 (BARROWS, 1996).

A PBL é fundamentada na resolução de problemas contextualizados, preferencialmente com o cotidiano dos estudantes, a fim de que eles sejam estimulados a se envolverem no processo de investigação. Os problemas compõem um módulo (ou unidade temática), no qual se espera que os alunos aprendam determinados conteúdos de forma dirigida e orientada. Trata-se de uma metodologia formativa, centrada no aluno, que estimula a constante busca pelo conhecimento, ao contrário do ensino tradicional que é informativo (BERBEL, 1998; BORGES et al., 2014).

Ademais, a PBL tem sido utilizada em cursos superiores de diversas áreas, como engenharia, matemática, física, biologia entre outros; podendo ser aplicado a todos os níveis de ensino (BARROWS, 1996; BORGES et al., 2014; HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015). Trata-se de um método versátil, cujas variações permitem atingir objetivos educacionais diferentes a depender do currículo do curso que, por exemplo, pode ser focado

¹ Utilizaremos a sigla PBL, comumente utilizada para se referir a essa metodologia; apesar do equivalente em português, ABP. Em citações a sigla original do texto foi mantida.

² Como resultado de um ensino teórico baseado na memorização de conteúdos fragmentados, juntamente com experiências didáticas obsoletas, observou-se que durante o período de residência médica os estudantes demonstravam grande dificuldade em relacionar a teoria com a prática profissional. Em contrapartida, sentiam-se estimulados a solucionar os problemas reais dos pacientes (BARROWS, 1996; EDENS, 2000; HUNG; JONASSEN; LIU, 2008).

completamente na PBL ou tão dentro de uma sequência didática (BARROWS, 1996; EDENS, 2000).

1.2 PRINCÍPIOS DA PBL

A PBL parte do princípio de que o ser humano se depara, diariamente, com problemas e que, segundo Barrows e Tamblyn (1990, *apud* HUNG; JONASSEN; LIU, 2008), “ao solucionar problemas do cotidiano, a aprendizagem acontece” (tradução nossa). Se viver implica em enfrentar problemas – de ordem pessoal e profissional – então a vida é uma fonte de oportunidades de aprendizagem. A partir de tal princípio, a PBL desenvolveu-se como uma metodologia em que o enfrentamento e resolução de problemas conduzem os processos de aprendizagem (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008).

Tal metodologia é fundamentada na teoria socioconstrutivista de aprendizagem (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; TATAR; OKTAY, 2011). Hung, Jonassen e Liu (2008) listam alguns aspectos dessa teoria que se aplicam à PBL: 1) o conhecimento não pode ser transmitido, mas sim, construído individualmente e socialmente por meio das interações com o meio; 2) cada fenômeno pode ser contemplado a partir de vários pontos de vista; 3) significado e pensamento são produtos da cultura, da comunidade e das ferramentas que se utiliza para interagir com o meio; 4) o conhecimento é eficientemente ancorado e fixado na estrutura cognitiva por meio de contextos relevantes.

Por exemplo, como mencionado anteriormente, muito frequentemente nós lidamos com problemas cotidianos cuja solução não é óbvia. Isso mobiliza-nos a pensar sobre objetivos, critérios e métodos diversos para sua solução. A busca da solução do problema torna-se, portanto, a motivação para aprender. Conseqüentemente, os conhecimentos adquiridos durante o processo de solução integram-se ao grupo de conhecimentos significativos, firmemente ancorados (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; TATAR; OKTAY, 2011).

1.3 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DA PBL

A partir dos princípios que fundamentam a PBL, podemos inferir que os papéis do aluno, do professor e da avaliação recebem novos significados em relação ao método tradicional de ensino e aprendizagem (BORGES *et al.*, 2014; HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015; TATAR; OKTAY, 2011).

O papel dos estudantes

Ao contrário de métodos tradicionais, nos quais o professor é o centro do processo de ensino e o aluno um reprodutor das informações transmitidas, a PBL permite o protagonismo do aluno como o principal responsável pela construção do próprio conhecimento (SOUZA; DOURADO, 2015). Outro diferencial reside no fato de que, em métodos tradicionais, o aluno acumula conhecimentos fragmentados para só então resolver um problema; na PBL ele é exposto ao problema antes do processo de aprendizagem (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008).

A mudança de foco do professor para o aluno permite a compreensão, por parte deste, de que aprender implica em transformar informações em conhecimento. Dos estudantes espera-se, portanto, que saibam analisar e oferecer uma solução para o problema; definir quais fontes de informações serão utilizadas e compartilhar suas ideias com o grupo (TATAR; OKTAY, 2011). Tal protagonismo é desenvolvido em todas as etapas na PBL. Por exemplo, a partir da inserção do cenário problemático, contextualizado com a realidade dos alunos, permite-se o levantamento de soluções hipotéticas (ou questões-problema) em função de seus conhecimentos prévios e a discussão faz com que os alunos direcionem e controlem o processo de investigação, estimulando-os a se sentirem responsáveis pela própria aprendizagem (SOUZA; DOURADO, 2015).

Trabalho em grupo

O trabalho colaborativo em grupo é a base da PBL (BORGES *et al.*, 2014). Souza e Dourado (2015) afirmam que o sucesso do método está na sua estruturação, fundamentada na intensa interação dos alunos entre si, com o contexto problemático e com o professor.

O convívio colaborativo pode ser alcançado a partir da divisão dos alunos em grupos, chamados de grupos tutoriais (BORGES *et al.*, 2014). Segundo a literatura consultada, a quantidade de alunos por grupo não é claramente definida, variando entre 4 e 10 estudantes (BARROWS, 1996; BORGES *et al.*, 2014; HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015).

No entanto, a quantidade de alunos por grupo interfere diretamente na qualidade dos objetivos de aprendizagem. Estudos feitos por Lohman e Finkelstein (2000, *apud* HUNG; JONASSEN; LIU, 2008) avaliaram os efeitos do tamanho do grupo tutorial na aprendizagem autodirigida e revelaram que um grupo formado por seis alunos obteve melhores resultados em relação a outro com nove. A partir de informações da literatura, estimamos o número ideal em quatro ou cinco alunos por grupo, pois favorece a participação nas discussões de forma criativa e igualitária entre todos os alunos (HMELO-SILVER; EBERBACH, 2012; SOUZA; DOURADO, 2015).

Alguns integrantes do grupo tutorial podem receber funções, como o estudante coordenador, responsável por articular e facilitar as discussões no grupo; e o estudante secretário, responsável por anotar as decisões tomadas durante as discussões a fim de orientar os objetivos; sendo que, para cada novo encontro do grupo tutorial, tais funções podem ser alternadas entre todos os membros (BORGES *et al.*, 2014). Ademais, após a conclusão de cada módulo novos grupos são organizados a fim de que os estudantes possam trabalhar de forma cooperativa com diferentes colegas e professores (BARROWS, 1996).

No entanto, o trabalho cooperativo não está isento da possibilidade de ocorrerem divergências entre os membros do grupo (SOUZA; DOURADO, 2015), pois os alunos, segundo Zabala (2007, p.61), “encontram-se diante de uma série de conflitos pessoais e grupais de sociabilidade que é preciso resolver, o que implica que devam ir aprendendo a “ser” de uma determinada maneira: tolerantes, cooperativos, respeitosos, rigorosos etc.”.

Com efeito, a experiência do convívio colaborativo pelo trabalho em grupo é o meio pelo qual ocorre a aprendizagem dos conteúdos disciplinares e dos atributos relativos à formação pessoal e social dos alunos (BORGES *et al.*, 2014; SOUZA; DOURADO, 2015).

O papel do professor: professor tutor

Tendo em vista o estímulo da aprendizagem por investigação e a socialização do conhecimento adquirido, a postura do professor na PBL é de mediador na relação dos alunos com o conhecimento e caracteriza-se tanto pelo domínio do conteúdo quanto em desenvolver habilidades interpessoais; daí o atributo de *professor tutor*² (BARROWS, 1996; HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015)

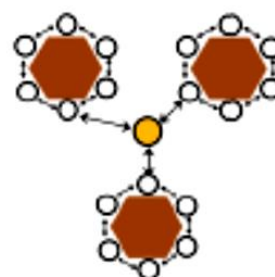
A função do professor tutor é sugerir quais estratégias poderão ser utilizadas pelos estudantes a fim de obter resultados satisfatórios; além de agir como um facilitador durante as tomadas de decisão ao expressar suas opiniões e predições (TATAR; OKTAY, 2011).

Além do conhecimento específico de sua disciplina, é necessário que ele seja capaz de atualizar-se constantemente, a fim de responder às demandas de sua disciplina para o desenvolvimento tecnológico, social e econômico (SOUZA; DOURADO, 2015). A atualização constante permitirá ao professor tutor relacionar situações reais com o processo de ensino e aprendizagem (SOUZA; DOURADO, 2015; TATAR; OKTAY, 2011).

Outra característica importante é que o professor tutor tenha conhecimentos sobre métodos e estratégias de ensino e de processos psicológicos, a fim de orientar, significativamente, os alunos durante o processo

Figura 11: O papel do professor tutor na PBL.

No esquema abaixo, as setas representam possíveis formas de interação comunicativa entre o professor (círculo amarelo) com os estudantes (círculos brancos) e entre eles mesmos. A mudança no papel do professor e dos alunos nesta metodologia implica em novas formas de organização da sala de aula.



Fonte: elaborado pelo autor.

² Deverante, a palavra *professor* se refere ao profissional da educação alinhado com a perspectiva tradicional de ensino, enquanto *professor tutor* se refere ao perfil do profissional conforme descrito nesta sessão

de aprendizagem (SOUZA; DOURADO, 2015). Cabe a ele garantir que cada membro do grupo seja tratado com respeito e não seja interrompido ou replicado durante a avaliação grupal, cuja finalidade é esclarecer possíveis desentendimentos durante o processo de aprendizagem e permitir que cada membro desenvolva competências interpessoais, colaborando para que o grupo seja funcional (BORGES et al., 2014).

Em suma, a atribuição do professor tutor junto aos alunos é de estimulá-los a construir o próprio conhecimento por meio do acompanhamento do processo investigativo, como uma espécie de “técnico cognitivo” (EDENS, 2000), ou seja, estimular a participação dos alunos com provocações que podem ser feitas através de perguntas, por exemplo, mas sem explicitar os objetivos a serem alcançados. Esse é o perfil esperado do professor tutor: que domine os conteúdos disciplinares e saiba orientar os alunos durante as etapas de resolução do problema (BARROWS, 1996).



Como se preparar para o trabalho em grupo

Conforme tratado até aqui, o desempenho dos alunos com o método da PBL está relacionado às competências profissionais do professor tutor em sustentar e conduzir os grupos tutoriais no processo de aprendizagem. A produção de conhecimento sobre o trabalho em grupo é bem diversificada, variando desde aspectos práticos quanto psicológicos.

A seguir listamos alguns sites e artigos de periódicos - não exclusivos à PBL - que oferecem subsídios teóricos e metodológicos ao professor para iniciar o trabalho com grupos de aprendizagem. Para acessar os conteúdos pressione Ctrl+clique sobre os temas abaixo!

1. Aprendizagem a partir do trabalho em grupo
2. Grupos Interativos
3. Introdução à Teoria dos Grupos Operativos
4. Exemplo de um caso de dinâmica de grupos com enfoque psicanalítico no Ensino de Física
5. Aprendizagem colaborativo por grupos de consenso
6. Aprendizagem Baseada em Equipes

1.4 ETAPAS ESTRUTURANTES DA PBL

A aprendizagem baseada em problemas é regida por princípios norteadores estruturados em etapas básicas, adaptáveis ao nível de ensino e disciplina a ser cursada. (SOUZA; DOURADO, 2015).

A primeira etapa consiste na elaboração do cenário problemático pelo professor tutor; na segunda etapa, cada grupo de alunos (grupo tutorial) recebe o cenário problemático para que, em função de seus conhecimentos prévios, realizem o levantamento de hipóteses que respondam, provisoriamente, o problema exposto e definam, em conjunto, o planejamento da investigação. Após essas etapas, ocorre o processo de investigação com os recursos disponíveis; e, finalmente, na quarta etapa, temos a síntese do processo de investigação, cujo propósito é apontar uma solução que deverá ser apresentada para a turma e a avaliação do processo de ensino-aprendizagem por meio da PBL (SOUZA; DOURADO, 2015).

Como desenvolver o cenário problemático

Como a PBL parte de uma situação-problema, a qualidade do cenário problemático consiste em uma das etapas mais importantes (BORGES *et al.*, 2014; HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015). Hung, Jonassen e Liu (2008) alertam que um problema mal formulado pode induzir os alunos a estabelecerem objetivos de aprendizagem que, ou não fazem parte do conteúdo programático, ou o conhecimento adquirido durante o processo de resolução do problema é insuficiente. Os autores citam quatro estudos relacionados à área médica em que, de todos os objetivos de aprendizagem estabelecidos pelos estudantes, em média 40% não faziam parte do conteúdo programático da disciplina.

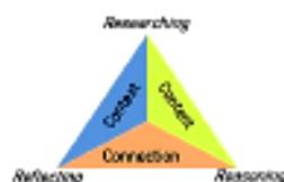
Devido à importância da situação-problema, pesquisadores em PBL têm sugerido algumas orientações para se elaborar problemas eficazes (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008). Recomenda-se que o problema esteja relacionado com algum aspecto do cotidiano dos estudantes, pois assim os alunos são estimulados a se envolverem no processo de investigação do problema, cujo objetivo é a aprendizagem dos conteúdos esperados pelo professor (BORGES *et al.*, 2014; SOUZA; DOURADO, 2015). Inúmeras fontes, como textos, histórias em quadrinhos, fotos, vídeos, filmes etc. podem ser utilizados como elementos para a elaboração do cenário problemático (EDENS, 2000). Um título atraente, que permita a identificação imediata do tema a ser estudado é igualmente importante (SOUZA; DOURADO, 2015).

A seguir, listamos outras características consideradas fundamentais para a elaboração do cenário problemático (SOUZA; DOURADO, 2015; TATAR; OKTAY, 2011), sujeitas a adaptações:

- a) ser atraente para os alunos, desafiando-os a buscarem por novos conhecimentos para solucioná-lo;
- b) relacionar o conhecimento prévio dos estudantes com a situação-problema;
- c) estar de acordo com o nível intelectual do grupo e não ser muito simples ou muito complexo, o que impediria a reflexão e discussão entre os alunos sobre o tema a ser aprendido;
- d) a linguagem utilizada (escrita, verbal ou por imagem) precisa ser clara e sem distratores; a fim de permitir tomadas de decisões baseadas nas informações contidas no problema;
- e) ser consistente com o conteúdo programático e os objetivos de aprendizagem;
- f) permitir mais de um meio de resolução, ou seja, ser um problema aberto;
- g) proporcionar aos estudantes as condições para melhorarem suas habilidades de análise, síntese e avaliação de dados.

Apesar de tais características serem úteis, elas não apontam para uma estrutura conceitual completa e sistemática que possa ser utilizada para o desenvolvimento de problemas considerados eficientes (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008). Hung (2006) justifica que tal carência é consequência de poucas pesquisas em desenvolvimento de problemas quando comparadas com outras linhas de pesquisa sobre a PBL, como resultados de aprendizagem, técnicas tutoriais e o papel do professor tutor, trabalho em grupo, e percepções de estudantes e professores. Hung (2006) propõe o modelo chamado 3C3R de desenvolvimento de problemas para a PBL, que pode ser aplicado a todos os níveis de ensino em qualquer disciplina. Tal modelo é dividido em duas categorias: componentes principais e componentes procedimentais. As componentes principais são *conteúdo*, *contexto* e *conexão* (do inglês *content*, *context* e *connection*), que estão relacionados com o aprendizado satisfatório do conteúdo e conceitos da disciplina. Por sua vez, as componentes procedimentais, *investigando*, *raciocinando* e *refletindo* (*researching*, *reasoning* e *reflecting*), têm a finalidade de proporcionar o envolvimento dos estudantes nos processos de investigação e desenvolvimento das habilidades de resolução de problemas. Com este trabalho, Hung (2006) demonstra a importância de equilibrarmos tais componentes durante o desenvolvimento do problema a fim de evitar dilemas inerentes à metodologia, como *amplitude versus profundidade* do conteúdo a ser aprendido ou *adquirir conhecimentos factuais versus habilidades de resolução de problemas*, devido à limitação do tempo. A Figura 1 mostra como tais componentes estão relacionadas de forma equilibrada no modelo 3C3R (HUNG, 2006)⁴.

Figura 1.2 Esquema visual do modelo 3C3R



Fonte: Adaptado de Hung (2006).

⁴ Em seu trabalho, Hung (2006) desenvolveu dois problemas, um para do Ensino Médio e outro para o Fundamental, para exemplificar o método 3C3R.

A partir desse modelo, Hung (2009) desenvolveu uma sequência de nove passos a serem observados durante o processo de formulação de problemas para a PBL, a fim de tornar o método 3C3R operacional.

Sequência dos 9 Passos para a elaboração de um problema PBL

- 1º **Passo:** definir as metas e objetivos da disciplina/curso;
- 2º **Passo:** analisar o tipo de conteúdo/tarefa a ser ensinado (conceitos, princípios, procedimentos etc.);
- 3º **Passo:** escolher um contexto específico adequado ao conteúdo;
- 4º **Passo:** gerar um problema real em função do "3º Passo" que seja próximo da realidade dos estudantes;
- 5º **Passo:** construir o cenário problemático e analisar sua viabilidade;
- 6º **Passo:** analisar se o problema estabelece correspondência entre o conteúdo a ser aprendido e o nível de aprendizagem dos estudantes;
- 7º **Passo:** fazer os devidos ajustes em função do "6º Passo";
- 8º **Passo:** incluir no problema os componentes de ordem formativa e somativa;
- 9º **Passo:** examinar a relação entre as componentes de acordo com o modelo 3C3R.

Interpretação do cenário problemático

De posse do cenário problemático, os alunos devem ser apresentados, efetivamente, ao problema; o que pode ser feito por um aluno apenas, que lê o problema em voz alta para todos do grupo, por exemplo; ou, pela análise individual do problema por cada membro do grupo. O objetivo desta etapa é a interpretação do cenário problemático à luz dos conhecimentos prévios dos alunos (BORGES *et al.*, 2014; TATAR; OKTAY, 2011).

Em seguida, temos a etapa conhecida como "brainstorming", quando os integrantes do grupo, juntamente com o professor tutor, compartilham suas interpretações do problema - que devem ser organizadas e sintetizadas para delimitar sua natureza - cuja finalidade é identificar as questões-problema (como uma palavra desconhecida, por exemplo) e elaborar as hipóteses que irão orientar os objetivos de aprendizagem e sua divisão entre os membros do grupo (BORGES *et al.*, 2014; SOUZA; DOURADO, 2015). Uma estratégia a ser seguida para orientar esta etapa é obter as respostas para as perguntas "O que nós sabemos sobre o problema?", "O que precisamos saber?" e "O que nós precisamos fazer?" (EDENS, 2000).

Nessa etapa, o professor tutor deve garantir que todos os membros do grupo estejam envolvidos no processo de discussão e elaboração das questões-problema para que todos sejam estimulados a prosseguir com a etapa investigativa (BORGES et al., 2014).

O processo de resolução do problema

Na etapa em questão, os alunos iniciam o processo de investigação individual ou em grupo. Para tal, os alunos deverão utilizar os recursos e espaços disponíveis (BORGES et al., 2014), conforme estabelecido na etapa anterior. Os próprios alunos são responsáveis pelo controle do tempo para cada atividade, e, para aqueles que optaram em estudar em grupos, pelo conteúdo comum a ser estudado ou pela divisão do mesmo (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015).

Após o período de estudos, definido pelo professor tutor, os alunos se reencontram para discutir o produto de suas pesquisas a fim de esclarecer as questões-problema e o problema à luz dos novos conhecimentos adquiridos. Nesta etapa, os alunos precisam ter a habilidade da escuta empática, para que, por meio da socialização do conhecimento, possam compreender as novas ideias trazidas pelos colegas do grupo, que devem ser entendidas como a complementariedade de suas pesquisas individuais. Ao final desta etapa os estudantes deverão entender que os conhecimentos adquiridos, depois de sintetizados pelo grupo, permitem a compreensão de novos contextos e situações (BORGES et al., 2014). As etapas do grupo tutorial, descritas no item anterior e neste, podem ser organizadas em passos. Borges et al. (2014) classificam-nas em sete passos; Tatar e Oktay (2011), em oito. Apesar da diferença quantitativa das etapas, elas se sobrepõem ou se complementam. A seguir estão sintetizados os passos realizados pelo grupo tutorial.

Apresentação da solução do problema e avaliação do processo de aprendizagem

A solução do problema deverá sintetizar o conjunto de ideias e a sistematização do processo de investigação e ser apresentado, por exemplo, na forma de uma apresentação em slides pelo grupo (SOUZA; DOURADO, 2015). Alternativamente, temos a apresentação de projetos que representem ou complementem a solução do problema. Tais projetos podem ter ênfase utilitarista, científica, econômica, tecnológica ou cultural³ (PIETROCOLA et al., 2013). Ao final desta etapa são feitas as avaliações individuais dos objetivos de aprendizagem e a avaliação grupal juntamente com o professor tutor, que

³ Tais propostas de produtos são utilizadas na Aprendizagem Baseada em Projetos (PIETROCOLA et al., 2013).

deverá verificar as respostas das questões-problema levantadas pelo grupo no decorrer das aulas (SOUZA; DOURADO, 2015).



Etapas do Grupo Tutorial

1. **Leitura do problema:** O grupo de alunos deve ser apresentado ao problema. Isso deve ser feito pelo aluno-coordenador, que, que lê o problema em voz alta para todos do grupo.
2. **Identificação do problema proposto:** Em grupo, os estudantes compartilham suas sugestões de interpretação do problema. A finalidade desta etapa é entender os limites e natureza do problema.
3. **Formulação de hipóteses para a solução do problema:** Nesta etapa, também conhecida como *brainstorming*, os alunos realizam o levantamento de soluções hipotéticas (ou questões-problema) em função de seus conhecimentos prévios. As hipóteses devem ser organizadas, sintetizadas e registradas (função do estudante secretário) a fim de orientar a escolha dos objetivos de aprendizagem.
4. **Formulação dos objetivos de aprendizagem:** A discussão dessas ideias pelo grupo tutorial permitirá a formulação e a divisão dos objetivos de aprendizagem entre os membros. Os objetivos de aprendizagem são os conteúdos que deverão ser estudados a fim de validar (ou não) as hipóteses.
5. **Estudo dos objetivos de aprendizagem:** Os alunos iniciam o processo de estudo individual, ou em dupla, cuja finalidade é a aprendizagem dos conceitos disciplinares relativos aos seus respectivos objetivos de aprendizagem. O tempo destinado a essa etapa deve ser pré-estabelecida pelo professor.
6. **Rediscussão do problema à luz dos novos conhecimentos adquiridos:** Após esse período de estudos, os alunos se reencontram para discutir o resultado das pesquisas feitas referentes aos seus objetivos de aprendizagem, para então e reinterpretar o problema à luz dos novos conhecimentos adquiridos.
7. **Síntese da solução do problema:** A solução conjunta do problema é obtida a partir da socialização do conhecimento adquirido individualmente. Os alunos precisam sintetizá-las de forma que se complementem e ofereçam a solução contextualizada do problema.

A PBL pressupõe mudanças no método avaliativo a fim de convergir com os princípios formativos da metodologia (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015), ou seja, os instrumentos avaliativos devem desafiar as habilidades de compreensão científica, das estratégias de raciocínio utilizadas na resolução de problemas, bem como as estratégias relacionadas à aprendizagem autorregulada e autodirigida (BARROWS, 1996; SOUZA; DOURADO, 2015). Portanto, além dos conteúdos conceituais relacionados ao “saber”, as atividades desenvolvem conteúdos procedimentais e atitudinais que precisam ser avaliados (ZABALA; ROSA; FARENZENA, 2007).

Uma forma de avaliar aquisição de conteúdos na PBL é por meio da diversificação dos instrumentos avaliativos, como: relatórios/diários sobre o andamento das atividades, portfólios, testes objetivos, exames baseados nos problemas, observação do desempenho nas atividades colaborativas, entrevista individual ou em grupo, autoavaliação e avaliação grupal, elaboração de artigos, resumos, apresentação oral; vídeos curtos entre outros (ECHAVARRIA, 2010; FELDER, BRENT, 2003; SOUZA, DOURADO, 2015).

A avaliação dos conteúdos conceituais, ao contrário de uma avaliação tradicional com ênfase, apenas, no reconhecimento de conteúdos factuais, precisa enfatizar a aplicação e a transferência dos conhecimentos adquiridos ao longo do processo de aprendizagem em novas situações problemáticas (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008). Este tipo de avaliação nos permite averiguar o grau de compreensão de um determinado conceito a partir da sua integração à estrutura interpretativa dos alunos. Outra forma de averiguação ocorre através da observação do uso de exemplos que ajudem na compreensão dos conteúdos conceituais, o que ocorre durante o todo o processo de aprendizagem, desde as explicações espontâneas dentro do trabalho em grupo até a apresentação formal sobre a solução do problema (ZABALA; ROSA; FARENZENA, 2007).

Os conteúdos procedimentais referem-se ao “saber fazer”: saber dialogar, saber fazer uma pesquisa, um relatório, um questionário etc. Portanto, a avaliação da aprendizagem está relacionada com o domínio que se tem desses conteúdos ao transferi-los para a prática. Assim, a análise do grau de domínio dos conteúdos procedimentais pode ser feita nas atividades práticas que utilizem tais conteúdos, como, por exemplo, quando dialogam com os colegas do grupo tutorial e com o professor tutor, quando fazem uma pesquisa bibliográfica etc. As avaliações em papel também podem ser utilizadas com a finalidade de aferir os procedimentos dessa modalidade avaliativa, como a escrita, a representação na forma de gráficos etc. Contudo, o principal meio de avaliação dos conteúdos procedimentais é a observação sistêmica do comportamento dos alunos pelo professor tutor (ZABALA; ROSA; FARENZENA, 2007).

Por fim, determinar o grau de aprendizagem de conteúdos atitudinais dos alunos por meio de avaliações é extremamente complexo, pois são conteúdos cognitivos relacionados à conduta e à afetividade. A dificuldade reside na subjetividade das posições ideológicas do professor sobre os conteúdos atitudinais, de modo que, dificilmente, dois professores usariam os mesmos critérios para avaliar a tolerância e a solidariedade, por exemplo. Apesar dessa dificuldade, é possível estabelecer a carência destes conteúdos por parte dos estudantes como parâmetro para a avaliação atitudinal. Por meio da análise do comportamento dos alunos em situações conflituosas é possível saber os valores e atitudes cultivados por eles. Igualmente à avaliação anterior, a PBL tem na observação sistêmica do professor tutor do trabalho em grupo, do comportamento dentro e fora da sala de aula, da distribuição das atividades, dentre outras, as principais fontes de observação para avaliação dos conteúdos atitudinais (ZABALA; ROSA; FARENZENA, 2007).

Portanto, na PBL todo o processo avaliativo da aprendizagem dar-se-á em função da resolução de problemas (BARROWS, 1986; EDENS, 2000). Como em outras metodologias, a avaliação é outro desafio para o professor tutor, visto que é o responsável por estabelecer os critérios e as atividades que serão utilizadas como instrumentos avaliativos (SOUZA; DOURADO, 2015).

Ademais, como na avaliação individual e grupal, é importante que se realize a avaliação do professor tutor e do método de ensino, a fim de obter informações que permitam o replanejamento e atualização dos cenários problemáticos pelo professor tutor, com o objetivo de aperfeiçoar o método e suas práticas para as turmas seguintes. (SOUZA; DOURADO, 2015).

1.5 VARIAÇÕES DA PBL

O método da Aprendizagem Baseada em Problemas foi concebido, inicialmente, para atender uma proposta curricular, mas o termo 'PBL' não se refere ao método específico de ensino empregado na Universidade de McMaster (BARROWS, 1986). Conforme mencionado anteriormente, devido à sua popularidade, o método original recebeu alterações a fim de se adequar aos objetivos educacionais de cada instituição de ensino. As taxonomias⁶ do método tornaram flexível o termo 'Problem-Based Learning' de modo que ele possui vários significados, a depender dos objetivos de aprendizagem e das habilidades do professor; podendo, ainda, ser empregado em todo o curso ou apenas em uma unidade de estudo. Portanto, segundo Barrows (1986), tal termo pode ser relacionado com qualquer método de ensino que tenha na resolução de um problema o motivo da aprendizagem. Trata-se de um método versátil, cujas variações permitem atingir objetivos educacionais diferentes a depender do currículo do curso e das formas com que o problema pode ser desenvolvido (BARROWS, 1986; EDENS, 2000).

No primeiro caso, o currículo pode ser focado completamente na PBL ou tê-lo dentro de uma sequência didática. Na Universidade de McMaster, por exemplo, o curso seguia o *Currículo da PBL*, caracterizando a *PBL Pura*. Neste formato, todo o currículo é desenvolvido em função dessa metodologia e os problemas são elaborados por uma comissão de professores. Assim, os problemas aumentam gradativamente a sua complexidade e interdisciplinaridade, culminando em situações semelhantes às que deverão ser enfrentadas pelos futuros profissionais em seus primeiros anos de carreira (BERBEL, 1998; EDENS, 2000; RIBEIRO, 2008). A tradicional Universidade de Harvard, entretanto, desenvolveu um currículo híbrido entre a PBL e métodos convencionais de ensino. A *PBL Híbrida*, ocorre quando o núcleo curricular é baseado na aprendizagem em problemas conjuntamente com disciplinas isoladas que servem ao núcleo curricular, mesmo com práticas tradicionais de ensino (BARROWS, 1996; RIBEIRO, 2008).

A *PBL Parcial*, por sua vez, é caracterizada pela utilização desse método em disciplinas isoladas de cursos com currículo tradicional. Neste caso,

⁶ A palavra taxonomia, no contexto aqui empregado, faz referência à classificação estruturada e orientada aplicada a alguma teoria instrucional, com o propósito de se obter informações sobre a funcionalidade da mesma (FERRAZ; BELHOT, 2010).

os problemas têm por finalidade introduzir, estruturar e aprofundar os conteúdos para apenas um componente da proposta curricular, de modo que os demais componentes podem ser trabalhados separadamente, sem vínculo com os problemas e com metodologias diferentes. Quando se utiliza o problema em momentos específicos de uma disciplina - que pertence a um componente curricular tradicional - para aprofundar e/ou integrar conceitos, temos a *PBL Pontual*; também conhecida como *post-holing*. Esses dois últimos casos devem ser entendidos como estratégias de ensino, pois não implicam em alterações no currículo (BARROWS, 1986; EDENS, 2000; RIBEIRO, 2008).

◊O tipo de variação do método depende da forma com que o cenário problemático será apresentado e solucionado. Por exemplo, em um estudo de caso do tipo *vinheta*⁷ os estudantes organizam os fatos fornecidos a fim de saber do que se trata o problema, e, então, decidir o que deveria ser feito com base nessas informações. Outro exemplo seria o caso em que os estudantes são apresentados ao problema, e, a partir da livre investigação deste, selecionam as informações que conduzirão à melhor linha de raciocínio para sua solução. Tais exemplos são dois extremos: no primeiro caso, é preciso conhecer o problema a partir das informações obtidas; no segundo, tem-se o problema, mas não as informações. Assim, qualquer formato do problema e sua respectiva adaptação estão limitados por esses dois extremos (BARROWS, 1986).

◊Outra variação está relacionada a qual sujeito será responsável por definir os conteúdos a serem abordados ao longo do processo de ensino-aprendizagem: se o professor tutor, que definirá a quantidade e a sequência dos conteúdos a serem estudados - semelhante ao que ocorre nas aulas tradicionais -; ou pelos alunos, que assumem as responsabilidades sobre o próprio aprendizado e definem os seus objetivos de aprendizagem a partir do problema proposto. Por fim, a sequência em que os problemas são introduzidos e as informações disponibilizadas também implicam em variações do método (BARROWS, 1986).

A seguir estão listadas algumas possibilidades, descritas por Barrows (1986), comumente utilizadas para combinar tais variáveis:

⁷ A *vinheta* é conceituada como a descrição estruturada de eventos, narrativas, que permitem elicitar informações para conhecer o fenômeno estudado (GALANTE et al, 2003).

Caso baseado em palestras: o professor apresenta as informações que deseja transmitir aos estudantes por meio de uma palestra. Utiliza, então, um caso para demonstrar a importância das informações. Pede-se que os estudantes, a partir das informações fornecidas ou de sua reformulação, entendam o problema (caso). É permitido aos estudantes formular hipóteses, analisar dados e tomar decisões, ainda que limitadas. No entanto, não atende aos princípios instrucionais da PBL.

Estudo de caso: os estudantes recebem um caso completo que deve ser estudado e pesquisado para uma posterior discussão em sala de aula. Durante a discussão sobre o caso, intermediada pelo professor, os alunos aprendem com o professor e por si próprios. Este método desenvolve aprendizagem autodirigida, formulação de hipóteses, análise de dados e tomadas de decisão.

Estudo de caso modificado: neste método, os estudantes em pequenos grupos tutoriais são apresentados ao problema que passará a ser estudado. Este modelo desenvolve mais as habilidades mencionadas nos modelos anteriores (levantamento de hipóteses, pensamento investigativo, análise de dados, tomada de decisão e síntese de resultados). No entanto, o formato dos problemas empregados, a falta de acompanhamento durante o processo de investigação e a não aplicação dos resultados obtidos, limitam o pleno desenvolvimento dessas habilidades. Geralmente, tal método é empregado quando o objetivo instrucional é desenvolver a aprendizagem autodirigida.

Aprendizagem baseada em problemas: trata-se do método mundialmente conhecido pela sigla PBL. Os estudantes, em grupos tutoriais, são apresentados ao problema acompanhados pelo professor tutor. Baseados em seus conhecimentos prévios, os estudantes são desafiados pelo professor tutor a desempenhar, livremente, as habilidades supracitadas, relativas à resolução do problema. A definição das estratégias de investigação pelo grupo tutorial conduz à aprendizagem autodirigida e autorregulada dos conteúdos, cuja finalidade é a aquisição de dados que sustentem, ou não, as hipóteses feitas. A aquisição de novos conhecimentos pelos estudantes é facilitada neste método devido à ativação de seus conhecimentos prévios, os quais, durante o processo de aprendizagem, se mostrarão úteis ou inúteis para a resolução do problema. Neste método, os resultados obtidos não são utilizados para reinterpretar o problema.

Aprendizagem baseada em problemas por meio de processos reiterativos: Trata-se da complementação do método anterior. Após a etapa da aprendizagem autodirigida e autorregulada, pede-se aos estudantes que reavaliem as suas fontes de pesquisa, para então retornarem ao problema inicial e reavaliá-lo, a fim de perceberem o ganho no desenvolvimento de suas habilidades em relação ao início do processo de aprendizagem bem como seus conhecimentos prévios. Ademais, espera-se que ocorra uma nova etapa de aprendizagem autodirigida a fim de que seja elaborada uma segunda análise e síntese do problema.

Portanto, há várias possibilidades de aplicação da PBL, sendo que a escolha dependerá dos objetivos educacionais, habilidades do professor, sequência didática que se pretende utilizar, grau de liberdade que se pretende dar aos alunos, tempo disponível, suporte pedagógico e infraestrutura (BARROWS, 1986; SOUZA; DOURADO, 2015).

1.6 A PBL APLICADA AO ENSINO DE FÍSICA

As variações do método PBL permitem a sua transposição para diversos contextos educacionais (BARROWS, 1986). No que tange ao Ensino de Física em nível superior, a transposição comumente utilizada é a PBL Parcial, em que um ou mais problemas constituem módulos de ensino mencionam sua aplicação para a aprendizagem dos conteúdos sobre sólidos, pressão, gases, mecânica newtoniana, força e movimento, tensão superficial, viscosidade e condutividade.

A título de exemplo, o *Institute of Physics* (IOP), em parceria com a *Leicester University*, disponibiliza em seu site 15 módulos PBL para o ensino aprendizagem de conteúdos sobre energia, radiação térmica, eletromagnetismo, indução eletromagnética, força de atrito, introdução à teoria AC, óptica, semicondutores, dinâmica entre outros. O site também disponibiliza um curso introdutório sobre como implementar o método da PBL no Ensino de Física, tratando desde as bases teóricas, o desenvolvimento do problema, avaliação e as variações do método. O *Collegial Center for Educational Materials Development* (CCEMD) também disponibiliza em um website 34 problemas de física elaborados e testados para o método PBL pelo *Québec College System*. São 16 problemas sobre mecânica; 9 sobre eletricidade e magnetismo; ondas, óptica e física moderna totalizam 9 problemas.

Tatar e Oktay (2011) apresentam um módulo composto por seis problemas para o ensino aprendizagem da Primeira Lei da Termodinâmica. A Tabela 2.2 contém o conjunto dos cenários utilizados como problemas e seus respectivos objetivos de aprendizagem, que constituem um módulo de aprendizagem dentro do curso Calor e Matéria.

Dentre esses cenários problemáticos, no problema Conservação de energia, os alunos são convidados a se colocarem na posição de um jornalista turco recém-contratado, que foi incumbido de escrever uma reportagem sobre a crise energética no País. Entretanto, o jornalista enfrenta um dilema, pois suspeita que a finalidade da reportagem seria para difamar o governo pois, pelo o que se recorda das aulas quando estava no Ensino Médio, a energia se conserva. O problema consiste em decidir sobre qual o teor da reportagem que o jornalista precisa escrever (TATAR; OKTAY, 2011).

Montanher (2012) descreve a elaboração e resultados de dois casos aplicados no decorrer de dois bimestres (um caso por bimestre), em turmas do terceiro ano do Ensino Médio. O primeiro caso, denominado "Banho quente e barato", trata de uma conversa entre amigos que culmina em uma espécie de desafio entre os personagens do caso. Os alunos precisam internalizar a posição destes personagens a fim de demonstrar qual deles ofereceu a melhor solução para se tomar um banho quente. Tal caso compreende os conteúdos relativos ao tema Equipamentos Elétricos, a serem estudados dentro do período de um



bimestre. O segundo caso trata sobre uma conversa, via correspondência, entre dois membros da mesma família. Um deles, por ser estudante de física, deve responder ao remetente (um agricultor) que está com dúvidas sobre um suposto uso de radiação nos alimentos como um tipo de defensivo agrícola. A tarefa dos alunos foi responder às dúvidas do remetente a partir do estudo dos conteúdos relativos ao tema *Matéria e Radiação*, compreendido em um bimestre.

1.7 A TEORIA DE VIGOTSKI PARA O DESENVOLVIMENTO COGNITIVO

Na tentativa de fazer com que o conhecimento em Física seja vinculado às estruturas cognitivas dos alunos é importante compreendermos o alcance de diferentes teorias de aprendizagem⁸ enquanto se dá o processo de ensino aprendizagem. Assim, poderemos interpretar os mecanismos pelos quais ocorre a compreensão dos conceitos e fenômenos físicos (OSTERMANN; REZENDE, 2009; ROSA; ROSA, 2005).

Este produto educacional tem por referencial teórico de aprendizagem a teoria Histórico-Cultural do psicólogo soviético Lev Semiónovitch Vigotski (1896-1934). Segundo essa teoria psicológica, o desenvolvimento intelectual humano é um processo sócio-histórico, que está vinculado à interação social entre os sujeitos, cujas implicações educacionais ocorrem no âmbito da interrelação da aprendizagem como condição para o desenvolvimento cognitivo (MOREIRA, 2011; ROSA; ROSA, 2005).

A teoria vigotskiana pode ser organizada em três temas gerais:

1. A tese de que os processos mentais que envolvem a atividade humana, tanto no plano social quanto individual, são mediados por instrumentos e signos;
2. A tese de que o desenvolvimento das funções mentais superiores do indivíduo tem sua origem na interação social;
3. A confiança no método genético-experimental para analisar o desenvolvimento cognitivo do ser humano (MOREIRA, 2011; PEREIRA; LIMA JUNIOR, 2014).

⁸ Segundo Moreira (2011), uma teoria de aprendizagem é uma construção humana cujo objetivo é interpretar, sistematicamente, a área de conhecimento a qual chamamos de aprendizagem (MOREIRA, 2011).

1.8 IMPLICAÇÕES EDUCACIONAIS DA TEORIA VIGOTSKIANA

A abordagem Histórico-Cultural para o desenvolvimento psicológico humano também é considerada uma teoria da educação (BRUNER, 2005). Ao estabelecer, à luz de sua teoria, a relação geral entre a aprendizagem e o desenvolvimento cognitivo, Vigotski apontou novas diretrizes para os processos educacionais; mas não um método educacional com aplicações práticas. Ademais, sua teoria coloca a escola como protagonizadora do pleno desenvolvimento dos indivíduos, pois é a partir de atividades intencionalmente educativas que se promove o pensamento conceitual como o modo mais sofisticado de interpretar a realidade (REGO, 2009).

A teoria vigotskiana divide o conhecimento em duas categorias: todo conhecimento sistemático e hierarquizado relacionado a um sistema que pertence às diversas áreas do conhecimento (ciências sociais, ciências exatas e línguas) são denominadas de *conceitos científicos*; o conhecimento não organizado, não sistemático, baseado em experiências cotidianas, são os *conceitos espontâneos*. Embora sejam conceitos distintos, o desenvolvimento de ambos é um processo único, não excludente, no qual um tipo de conhecimento influencia o outro (GASPAR; MONTEIRO, 2005; VIGOTSKY, 2005).

Segundo Vigotski (2005), a origem dos conceitos reside no desenvolvimento da interdependência entre o ato de falar e pensar, que são funções mentais superiores mediadas pelo mesmo signo, que é a *palavra*. A análise ontogenética mostrou que no ser humano o pensar e o falar possuem raízes genéticas diferentes (novamente, no sentido de *gênese*). Inicialmente uma criança desenvolve a função da fala social durante o primeiro ano de idade, que caracteriza a fase pré-intelectual do desenvolvimento desta função. Aos dois anos de idade a ela passa a manifestar o desejo de dominar a linguagem, na medida em que descobre que tudo tem um "nome". A partir deste momento, o ato de falar começa a servir ao intelecto e a criança busca ativamente ligar os signos com os atributos dos objetos. A fala, que até então exercia uma função social, passa a ter uma função intelectual. Disso advém a tese da *gênese social* das funções mentais superiores, em que o desenvolvimento intelectual do

indivíduo depende da aprendizagem que ele realiza em seu grupo cultural por meio das interações sociais (MOREIRA, 2011).

A partir da função social da fala, a criança realiza uma série de aprendizados que culminam em seu desenvolvimento. Por meio de experiências cotidianas de observação e de interação social com as pessoas mais capazes, ou seja, que já internalizaram os signos culturais do seu grupo social, ela passa a operar física (com objetos concretos) e mentalmente (ideias, conceitos e valores) sobre o ambiente que a cerca, adquirindo um conjunto de conceitos espontâneos sobre a realidade antes mesmo da aprendizagem escolar formal (VIGOTSKY, 2005).

Por esse motivo, a teoria vigotiskiana sugere uma diferenciação entre o aprendizado pré-escolar do escolar: este, além de ser mais sistematizado, produz elementos novos que desenvolvem um determinado tipo de cognição: o pensamento conceitual; com novas formas de operação intelectual, como as abstrações e generalizações que transformam a sua relação cognitiva com o mundo (COLE; SCRIBNER, 1998; REGO, 2009).

A principal diferença psicológica entre os conceitos espontâneos e os científicos é a presença de um sistema de generalização nestes últimos, regido pelas relações de generalização entre os conceitos. Com efeito, devido à interdependência entre eles, o processo de sistematização, que tem origem no aprendizado dos conceitos científicos, é transferido gradualmente para a estrutura dos conceitos espontâneos, organizando-a num sistema. Por consequência, a criança ascende em níveis de desenvolvimento por meio do pensamento conceitual (VIGOTSKY, 2005).

A investigação de Vigotski sobre a formação de conceitos mostrou que se trata de um processo longo, criativo e complexo, de intensa atividade mental, geralmente orientada para a solução de problemas. Esse processo tem início na infância precoce, mas as funções intelectuais que não de formar a sua base psicológica se configuram, amadurecem e se desenvolvem apenas na adolescência. Tal processo perpassa as etapas do pensamento infantil sincrético, caracterizada pelas percepções vagas e subjetivas sobre a percepção imediata; do pensamento por complexos, caracterizada pelas relações concretas e factuais, abstratas e não lógica sobre a percepção imediata; e culmina, na adolescência, em uma nova

"Na adolescência, a entrada no pensamento conceitual abre para o sujeito a possibilidade da consciência social e política, da meditação existencial e do interesse mais profundo pela música e pelas artes mais abstratas. Ademais, nessa idade, os jovens, em geral, passam a se atrair pela física, pela filosofia e pela lógica (...) essas transformações e aquisições não podem ser tomadas de forma universal, pois dependem fundamentalmente das circunstâncias históricas, sociais e culturais" (VIOLA, 2017).

forma de pensamento, que relaciona e sintetiza os pensamentos abstratos e concretos por meio do pensamento conceitual³. A manifestação fundamental dessa nova forma de pensamento no adolescente dar-se-á pelo progressivo desenvolvimento do pensamento lógico-dedutivo, com a incorporação de abstrações que permitem discernir os diferentes significados de um objeto e de produzir uma nova representação mental dele (BARBOSA; BATISTA, 2018; VIGOTSKY, 2005; VIOLA, 2017).

Em síntese, por meio da interação com as demais pessoas em um ambiente colaborativo, o aprendiz internaliza os significados compartilhados pelo seu grupo cultural, que irão desenvolver funções mentais e, conseqüentemente, após esse processo de internalização simbólica, ele se tornará capaz de operar com essas novas ferramentas psicológicas em momentos posteriores (CAVALCANTI, 2005; COLE; SCRIBNER, 1998; MOREIRA, 2011).

Ademais, na teoria vigotiskiana, a aprendizagem está associada ao grau de internalização dos signos: embora o adolescente aprenda a manipular o conceito de forma lógica no nível abstrato, ele pode apresentar dificuldades de expressá-lo verbalmente ou ao realizar a transposição desse conceito a outras situações - transferência essa que geralmente é dominada somente no fim da adolescência - devido ao grau de internalização desse conceito (DOS ANJOS, 2011; VIOLA, 2017).

Portanto, surgem na adolescência os interesses cognoscitivos (necessidades culturais), científicos e socioculturais, que direcionam o desenvolvimento psicológico do adolescente. Daí a necessidade da prática docente em desenvolver tais necessidades de conhecimento de forma sistematizada. Tem-se ainda que o desenvolvimento do pensamento conceitual do adolescente não é universal, pois é uma função de suas relações sociais e culturais que facilitam - ou não - o seu acesso aos bens materiais e simbólicos (COSTA, 2000; DOS ANJOS, 2011).

Na interação aluno - professor, este já internalizou o sistema de signos (conceitos, leis, algoritmos etc.) que são aceitos e compartilhados pela comunidade científica e utiliza-os conscientemente em suas operações mentais. O professor deverá, portanto, verificar ao longo das

³ Para a descrição detalhada do processo de formação de conceitos vide o capítulo "Um estudo experimental da formação de conceitos" do livro *Pensamento e Linguagem* de Vigotski (2005).

interações que envolvem estratégias didáticas se o estudante cria novas habilidades mentais que estão associadas ao uso dos signos científicos, os quais se pretende ensinar. Ao fim do processo de internalização ambos compartilham dos mesmos significados e o aluno terá se apropriado de conhecimentos culturais e científicos que lhe permitirão operar com novas ferramentas psicológicas de forma mais independente e desenvolver novas funções intelectuais (CAVALCANTI, 2005; MOREIRA, 2011; PEREIRA; LIMA JUNIOR, 2014; REGO, 2009).

Portanto, a formulação de Vigotski para o processo de formação de conceitos revela implicações educacionais importantes. Ao conhecer este processo o professor pode buscar métodos de ensino que favoreçam o desenvolvimento intelectual do aluno por meio do pensamento conceitual (CAVALCANTI, 2005; REGO, 2009).

1.9 A ABORDAGEM VIGOTSKIANA E O MÉTODO PBL NESTE PRODUTO EDUCACIONAL

Após a breve apresentação de alguns conceitos da teoria de Vigotski para o desenvolvimento humano e suas implicações educacionais, buscamos estabelecer as relações entre essa teoria e a metodologia PBL, a fim de orientar o desenvolvimento do nosso produto educacional.

Geralmente, em uma aula de Física, os conceitos são apresentados de maneira breve, em seguida vêm os exercícios para a fixação dos conceitos, para, então, serem aplicados a uma situação problema. Mas, de acordo com a abordagem Histórico-Cultural, o ensino direto de conceitos, através da memorização ou por treinamento mecânico, é infrutífero; pois eles são partes ativas dos processos mentais que estão a serviço da comunicação social, do entendimento e da solução de problemas (VIGOTSKY, 2005).

Faz-se necessário, portanto, que os meios pelos quais ocorre o processo de formação dos conceitos possuam características de enfrentamento de problemas, cuja solução somente poderá ser alcançada pela internalização de novos signos, novos conceitos. Logo, interpretamos tal implicação na direção de que nosso produto deve apontar para o ensino e aprendizagem conceitual em Física, tendo em

vista que a resolução de problemas é fator comum entre a teoria vigotiskiana e a metodologia da PBL.

Sob o ponto de vista dessa teoria, a aprendizagem dos conceitos científicos em Física¹⁰ induz o pensamento generalizante na atividade mental dos alunos, o que implica no desenvolvimento de funções mentais superiores e que esta nova percepção interior da atividade mental permite novas formas de ver e manipular a natureza através dos signos da Física, ou seja, o aprofundamento conceitual do conhecimento físico, além de descortinar a visão sobre a natureza, fornece critérios para a interpretação do mundo físico e sua percepção crítica (SÃO PAULO, 2010; VIGOTSKY, 2005). Ainda, segundo Cavalcanti (2005), “o desenvolvimento de conceitos é, ao mesmo tempo, uma mudança na forma de lidar praticamente, empiricamente com o objeto e na forma de pensar teoricamente”.

Como a abordagem Histórico-Cultural desloca a análise do entendimento que os estudantes possuem sobre determinados fenômenos para o processo em ele é construído no contexto de interação social no ambiente escolar, convém ressaltar que não podemos afirmar que a aprendizagem de um conceito esteja totalmente concluída ao final das etapas do grupo tutorial. Mas podemos definir certo grau de conceitualização para tal, ou seja, definir níveis de profundidade e compreensão dos conceitos ao longo do processo de resolução do problema (POZO; CRESPO, 2009; ZABALA; ROSA; FARENZENA, 2007).

Decorre desse processo de internalização programas de pesquisas em Educação em Ciências que visam compreender a importância das interações discursivas¹¹ no plano social da sala de aula (MORTIMER;

¹⁰ Um conceito científico em Física é a representação de um objeto de conhecimento, que permite a explicação e previsão de diversos fenômenos e pode ser expresso através da linguagem escrita (frases) e/ou da linguagem matemática; por códigos gráficos; ou, ainda, ser formulado de maneiras diferentes, a depender do campo conceitual a que pertence. As teorias físicas, por sua vez, são estruturas que organizam e unificam conceitos, leis e princípios aos fatos de forma coerente, cuja finalidade é oferecer uma perspectiva de análise do mundo físico (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008; PIETROCOLA, 2006; PINHEIRO; PIETROCOLA; FILHO, 2006)

¹¹ Segundo Mortimer e Scott (2002), interações discursivas são as práticas por meio das quais os sujeitos buscam construir significados sobre o objeto de conhecimento em questão.

SCOTT, 2002). Segundo Bozelli e Nardi (2016), em sala de aula, o principal padrão de interação discursiva entre professor e aluno é tipo *Indagação-Resposta-Avaliação*, em que aquele faz uma pergunta cuja resposta ofertada por este é validada, ou não, de modo que a fala do professor prevalece sobre a dos alunos. Esses autores também afirmam que “os contextos de interação são construídos pelas ações das pessoas que participam e atuam no mesmo”. Portanto, com a proposta da PBL, é possível explorar outras formas de interações discursivas entre aluno-aluno e professor-aluno que corroborem para o ensino e aprendizagem de Física, como o diálogo, a discussão e a argumentação.

Durante as primeiras etapas do grupo tutorial, por meio do diálogo, os alunos manifestam os seus conhecimentos prévios entre si e os tornam conhecidos ao professor; ao levantarem as hipóteses e decidirem sobre os objetivos de aprendizagem, o fazem por meio da discussão e argumentação; no processo de investigação, professor tutor, a par das dúvidas e suposições feitas pelos alunos sobre os significados que estão sendo atribuídos aos objetivos de aprendizagem, terá meios para iniciar uma argumentação que os conduzam corretamente, e conscientemente, à internalização dos conceitos físicos relacionados à solução do problema. Neste ambiente de interação social, o papel do professor como o par mais capaz - aquele que sabe operar com os conceitos e procedimentos relativos à disciplina - é fundamental, pois será por meio desta interação que os alunos poderão ter acesso a cultura científica ao entrarem em contato com o pensamento intelectual do professor (COLE; SCRIBNER, 1998)

Ademais, na teoria vigotiskiana a principal ferramenta psicológica para o desenvolvimento cognitivo é a palavra, mas a internalização de outros signos também é importante neste desenvolvimento, como a linguagem matemática; os signos visuais, como diagramas, mapas, gráficos e esquemas; para citar alguns (WERTSCH, 2002). Portanto, além das interações discursivas entre os sujeitos, ler um texto científico, assistir e analisar um vídeo científico, realizar uma simulação computacional ou um experimento didático, e, até mesmo uma aula expositiva, são meios para a internalização dos signos da Física e de novas possibilidades de uso destes signos pelos estudantes (PEREIRA; LIMA JUNIOR, 2014).

2 GUIA DE APLICAÇÃO DO PRIMEIRO PROBLEMA

2.1. CONHECENDO O PROBLEMA

A partir do contexto das Fake News, sobre a divulgação de máquinas de moto-perpétuo ou free energy, elaboramos o primeiro problema do módulo PBL, intitulado *A Farsa da Falta de Energia*, disponível no módulo PBL. A tarefa dos estudantes será investigar a veracidade das informações, tanto da reportagem quanto dos comentários, reunir informações consistentes para que o grupo consiga propor uma solução para o conflito de narrativas presentes no cenário problemático. Espera-se que os alunos, durante as etapas de investigação, acessem os conteúdos disciplinares de Física que justificam a impossibilidade de funcionamento do moto-perpétuo, que eles busquem informações sobre as empresas mencionadas e aprendam a se posicionar criticamente diante de discussões que envolva a ciência e suas tecnologias.

Listamos, a seguir, os objetivos de aprendizagem que conduzem à solução do problema.



Objetivos de aprendizagem

1. **Pesquisar sobre as empresas mencionadas na reportagem;**
2. **Estudar o que é o moto-perpétuo;**
3. **Estudar as formas de energia, suas leis de conservação e degradação;**
4. **Pesquisar sobre o pensamento anticientífico;**

Professor, por se tratar da primeira aplicação do problema, dificilmente algum grupo conseguirá estabelecer todos os objetivos de aprendizagem a partir da formulação das hipóteses, pois isso depende da funcionalidade do grupo e de sua familiarização com o ambiente PBL. Portanto, será preciso direcioná-los a tais objetivos de aprendizagem propostos.

A seguir tratamos sobre como esses objetivos de aprendizagem podem ser desenvolvidos durante as etapas do grupo tutorial.

Sobre as empresas mencionadas na reportagem

O cenário problemático relata alguns inventores e empresas que estão em busca de uma máquina que produza energia “infinita”. No Brasil, menciona-se o projeto da *Energia Universal* e a empresa *RAR Energia*; na Irlanda, a empresa *Stearn*.

No YouTube podemos encontrar vídeos em que Nilson Barbosa e Cleriston Leal apresentam o seu invento, o Captor de elétrons [1, 2]. Embora sejam mencionadas palavras que se referem aos conceitos relativos ao eletromagnetismo - que muito provavelmente os alunos ainda não tenham estudado na escola, como prótons, elétrons, campo eletromagnético etc. - a informação-chave é que a máquina em questão oferece mais energia elétrica do que ela consome ao funcionar. Encontra-se disponível, também, o registro da patente de tal máquina [3]. Todavia, esse equipamento foi desenvolvido para burlar o abastecimento de energia elétrica pela concessionária [4], o que se configura como crime; e por isso consta uma ação penal pública contra os supostos inventores [5].

Semelhantemente, a máquina proposta pela empresa *RAR Energia* seria capaz de oferecer energia continuamente a partir da transformação da energia potencial gravitacional. Apesar do site oficial da empresa não estar mais disponível, é possível encontrar fotos das etapas de construção dessa máquina em outros sites [6, 7, 8]. Ao que tudo indica, as divulgações do andamento dessa máquina pela empresa finalizaram em 2013, dando a entender que ela jamais foi concluída - a empresa responde a processos trabalhistas [9].

Já a empresa *Stearn*, através de seu CEO, Sean MacCarthy, realizou uma campanha publicitária para o lançamento do *Orbo*, um dispositivo que transformaria a energia magnética dos ímãs em energia elétrica continuamente [10, 11]. A notícia ganhou destaque em veículos de comunicação conceituados, como a *BBC* [12] e na conceituada revista *The Economist* [13]. Entretanto, o lançamento, que estava previsto para 2009, não aconteceu. Em outro momento, Sean MacCarthy, apresentou o *Orbo Cube*, um Gadget que funcionaria com “energia infinita” [14]. Apesar de alguns entusiastas terem adquirido o *Orbo Cube* [15, 16], a empresa foi liquidada [17].

Portanto, a partir do levantamento dessas informações das empresas mencionadas é possível entender que todas possuem o mesmo início e fim: prometem desenvolver uma máquina que ofereça mais energia do que ela precisa para funcionar - o que seria um produto que traria muito lucro -, mas todas faliram; e que no caso das empresas *Evolução Energia* e *Stearn*, trata-se de empulhação.

Sobre o moto-perpétuo

A investigação das empresas mencionadas no problema permitirá encaminhar os alunos aos objetivos de aprendizagem relacionados aos conteúdos de Física por meio do entendimento das máquinas de *moto perpétuo*; atualmente conhecidas como máquinas de *free energy*.

As primeiras máquinas, chamadas de máquinas simples que ampliavam a força braçal de uma pessoa, datam desde a Antiguidade e intensificaram-se durante Idade Média. A necessidade de ultrapassar os limites do trabalho humano impulsionou o homem a desenvolver máquinas que utilizassem as forças da natureza na realização de trabalho mecânico, mas em certo momento da história cogitou-se obtê-lo de maneira inesgotável (PIETROCOLA et al., 2013).

Tais máquinas ficaram conhecidas como máquinas de *moto-perpétuo* ou *moto-contínuo* e tiveram seu ápice durante a Idade Média. Mas, apesar das incontáveis tentativas de inventores ao longo da história, essas máquinas jamais funcionaram. Portanto, o insucesso das empresas mencionadas no texto colocou-as no *hall* dos inventores das máquinas impossíveis - como Leonardo da Vinci (1452-1519).

Há muito material na internet tratando sobre as máquinas de moto-perpétuo. É possível “visitar” o museu das máquinas que nunca funcionaram [18], de moto-perpétuos historicamente famosos, que não funcionaram [19], assistir o funcionamento da impressionante máquina de Reidar [20]. Dentre os sites que promovem discussões sobre o tema, sugerimos o material encontrado no Centro de Referência para o Ensino de Física, CREF. Neste site podemos encontrar discussões variadas [21] e uma específica sobre a empresa RAR [22].

Sobre as formas de energia, sua conservação e degradação

Tendo entendido o que é uma máquina de moto-perpétuo, os alunos poderão ser direcionados para o estudo das Leis da Termodinâmica. Mas antes desse estudo propomos que seja utilizado um material de transição, como o vídeo produzido pelo canal *TED-Ed* [23], que explica de forma introdutória, como as leis da Termodinâmica impossibilitam a realização do moto-perpétuo. O canal *Nerdologia* também produziu conteúdo sobre esse tema, relacionando a questão do moto-perpétuo com o nosso acesso às fontes de energia [24]. Outro material, mais elaborado e com maior profundidade conceitual, é um documentário produzido pela BBC [25]. Neste vídeo, além das leis da



Termodinâmica serem tratadas a partir de sua perspectiva histórica é possível compreender como o nosso estilo de vida foi se transformando à medida em que tivemos acesso às novas formas de energia. Além desses, o livro de *Sof a Sof*, escrito por Cylon Gonçalves da Silva, pode ser um excelente recurso para a internalização do que vem a ser a energia. Neste livro, o autor aborda teórica e estatisticamente a nossa relação com a energia em suas várias formas.

Sobre o pensamento anti-ciência

A aparente contradição entre os fatos e informações do texto com as opiniões de alguns leitores dá origem ao problema: segundo os comentários, impossibilidade de se obter uma máquina de moto-perpétuo se dá graças ao impedimento oferecido pelos governos e concessionárias de energia ao desenvolvimento de tecnologia para tal, ou porque não se tem tecnologia avançada o suficiente para quebrar as leis da Física, que impedem que esse empreendimento aconteça - em suma, os comentários formam uma espiral conspiracionista contra o desenvolvimento de tais máquinas.

Entretanto, sabese, desde o séc. XIX, que é impossível construir as máquinas de moto-perpétuo. Essa conclusão foi possível devido ao desenvolvimento da teoria Termodinâmica, cujas leis resultam da observação de fatos. Então, por que, parece ser tão difícil convencer tais pessoas a se posicionarem racionalmente a partir dos fatos (para não mencionar a palavra "teoria")?

A questão é que tomar decisões lógicas e racionais envolve tanto o aprendizado de conceitos científicos difíceis quanto a nossa capacidade mental de processar as informações disponíveis. Portanto, apenas relatar os fatos a fim de se obter consenso sobre eles, para, então, tomar decisões racionais a partir deles, não é algo que se obtém prontamente.

Isso ocorre porque nós, seres humanos, também podemos desenvolver obstáculos ao pensamento racional, que estão profundamente arraigados a fatores psicológicos e sociais. Por exemplo, um estudante ou professor pode encontrar dificuldades em lidar com teorias científicas que conflitam com suas crenças religiosas [26]. Outro exemplo em que se constata padrões nos obstáculos ao desenvolvimento do pensamento científico - e que tem ganhado a redes sociais - é o movimento da Terra plana. A BBC Brasil [27] e a Netflix [28] produziram conteúdos para tratar sobre os aspectos sociais e psicológicos dos terraplanistas.

A crença daqueles que defendem a construção do moto-perpétuo implica no ceticismo sobre as leis da Física e no cultivo do pensamento anti-científico em prol de um pensamento conspiracionista como forma de emancipação de um sistema político e econômico. Portanto, essas pessoas, cujos

Figura 2.2. Capa da *Scientific American Brasil* (setembro de 2018)



Fonte: <https://bc-v2.pressmatrix.com/pt-BR/profile/71af1033772/additions/6d86195ad25425266427>

Revista *Scientific American Brasil*, edição de setembro de 2018, contém um artigo chamado *A ciência do pensamento anti-ciência* em que um grupo de pesquisadores explica como formamos os obstáculos ao pensamento racional e como podemos superá-los. Vale a pena a leitura!

comentários foram utilizados no cenário problemático, possuem padrões de pensamento semelhantes aos dos terraplanistas, os quais (padrões de pensamento) devem ser superados.



Aprofundando o conceito

As formulações das leis da Termodinâmica fazem parte de um processo inerente à evolução tecnológica das máquinas a vapor no período da Revolução Industrial. Hoje sabemos que nenhum processo que viole tais leis pode ocorrer, como acontece com os motos-perpétuos. Por exemplo, à luz da Primeira Lei da Termodinâmica, temos que o trabalho mecânico W é dado por:

$$W = Q - \Delta U$$

Isso implica que o trabalho pode ser realizado pelo sistema ($W > 0$) às custas do fornecimento de calor ao sistema ($Q > 0$) ou pela diminuição de sua energia interna ($\Delta U < 0$). No caso de uma máquina térmica que opera a partir de transformações cíclicas, o estado termodinâmico final do sistema é o mesmo que o inicial, que em termos da energia interna implica em $\Delta U = 0$. Logo,

$$W = Q$$

Portanto, o trabalho só pode ser realizado por uma máquina térmica que opera em ciclos a partir da absorção de calor. Estes resultados conferem a impossibilidade de se conceber um moto-perpétuo de primeira espécie - um dispositivo que realizaria trabalho sem receber energia de sua vizinhança e que produziria a sua própria energia (PLANCK; OGG, 1990).

Ainda que projetassem uma máquina que não violasse o Princípio da Conservação da Energia ao transformar todo o calor absorvido em trabalho, ela seria igualmente impossível, pois a conversão do calor em trabalho é regida pela Segunda Lei da Termodinâmica, que enuncia que tal processo é impossível. Caso fosse possível, poder-se-ia construir um motor que funcionasse a partir da absorção de calor da atmosfera ou dos oceanos (pois constituem uma fonte de energia térmica praticamente inesgotável) e convertê-lo em trabalho mecânico indefinidamente e à disposição de qualquer pessoa. Neste caso, tal máquina seria um moto-perpétuo de segunda espécie, pois violaria a Segunda Lei da Termodinâmica (NUSSENZVEIG, 2002; PLANCK; OGG, 1990).

A impossibilidade de se construir um moto-perpétuo de segunda espécie pode ser demonstrada analiticamente. Sejam T_{quente} a temperatura da fonte quente e T_{fria} , da fonte fria. A partir da Eq. 15, temos que a variação da entropia do universo é dada por:

$$\Delta S = -\frac{\Delta Q}{T_{\text{fria}}} + \frac{\Delta Q}{T_{\text{quente}}} = \Delta Q \cdot \left(\frac{T_{\text{fria}} - T_{\text{quente}}}{T_{\text{fria}} \cdot T_{\text{quente}}} \right)$$

Como $T_{\text{quente}} > T_{\text{fria}}$, tal condição resulta em $\Delta S < 0$ - o que violaria o Princípio do Aumento da Entropia. Conforme dito anteriormente, nenhum processo que viole as leis da Termodinâmica pode ocorrer, daí a impossibilidade de se construir um moto-perpétuo de segunda espécie (NUSSENZVEIG, 2002).

Outro conceito importante a ser trabalhado a partir do problema é a dissipação (ou degradação) da energia que podem surgir a partir de questionamentos como: "Se as leis da Física dizem que a energia se conserva, por que devemos economizá-la?". A resposta para esta pergunta pode ser desenvolvida a partir do conceito de eficiência de uma máquina térmica de Carnot, cujo rendimento é dado por:

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_{\text{fria}}}{T_{\text{quente}}}$$

Para uma máquina de Carnot que opera entre a fonte quente, com $T_1 = 900K$, e a fonte fria, com $T_2 = 300K$, o rendimento seria de aproximadamente 66,7%. Caso a temperatura da fonte quente diminuísse para $T_1 = 500K$ enquanto a temperatura da fonte fria permanece constante, o novo rendimento seria de aproximadamente 40,0%. Portanto, quanto menor for a diferença de temperatura entre as fontes quente e fria, menor será o rendimento dessa máquina térmica, conforme mostra a tabela abaixo (ÇENGEL; BOLES, 2006; NUSSENZVEIG, 2002).

Valores do rendimento de uma máquina térmica que opera segundo o ciclo de Carnot. Ao diminuir a temperatura da fonte quente T_1 e mantendo-se a temperatura da fonte fria constante em $T_2 = 300K$, observa-se a diminuição da eficiência dessa máquina em produzir trabalho a partir do calor absorvido da fonte quente.

T_1 (K)	900	800	700	600	500	400	300
η (%)	66,6	62,5	57,1	50,0	40,0	25,5	0,0

Fonte: elaborado pelo autor.

A variação no rendimento dessa máquina ideal mostra que a energia térmica possui, além de quantidade, uma *qualidade* que está relacionada às temperaturas da fonte quente e fria: quanto maior a diferença de temperatura entre as fontes quente e fria, melhor será a qualidade do calor e, portanto, maior será o rendimento dessa máquina em convertê-lo em trabalho (ÇENGEL; BOLES, 2006).

Enquanto a Primeira Lei da Termodinâmica afirma ser impossível converter a energia de um sistema fechado com rendimento acima de 100%, a Segunda Lei acrescenta uma restrição na eficiência de todos os processos de conversão de energia. Conforme mostra a próxima tabela, a limitação na conversão de energia varia de acordo com o processo, sendo mais severa nos processos que convertem energia térmica em mecânica ou elétrica. Daí a necessidade de se economizar energia embora esteja sujeita ao Princípio da conservação da energia (FORINASH, 2016; NUSSENZVEIG, 2002)

Eficiência de conversão da energia para alguns processos.

Processo	Forma de conversão de energia	Eficiência (%)
Gerador elétrico de larga escala	Mecânica em elétrica	98-99
Motor elétrico de larga escala	Elétrica em mecânica	90-97
Motor elétrico pequeno	Elétrica em mecânica	60-75
Motor a Diesel	Térmica em mecânica	30-35
Motor a gasolina	Térmica em mecânica	15-25
Luz incandescente	Elétrica em radiante	15-25

Fonte: FORINASH, 2016.

2.2 PLANO DE AULA PARA A APLICAÇÃO DO PRIMEIRO PROBLEMA

Por se tratar de uma novidade, será preciso destinar uma aula introdutória¹² sobre a metodologia PBL para esclarecer as características do método, o papel do professor como tutor e dos alunos, como poderão ser feitas as apresentações sobre a solução do problema e as formas de avaliação. Convém reforçar a importância do estudante-coordenador como o responsável por envolver os integrantes do grupo tutorial nas discussões, bem como a função do estudante-secretário, responsável por registrar a presença dos integrantes do grupo, as datas das aulas e o registro das informações mais relevantes para a solução do problema, obtidas durante as discussões dos grupos tutoriais, bem como os encaminhamentos para as etapas posteriores.

Após tais esclarecimentos será o momento de formar os grupos tutoriais, com cada grupo contendo, preferencialmente, entre quatro e cinco alunos. O professor-tutor poderá permitir que os alunos montem este primeiro grupo ou ele mesmo organize os grupos. Nossa sugestão é que inicialmente os alunos sejam os responsáveis na formação desse primeiro grupo, assim o professor poderá observar o comportamento deles no decorrer das atividades para, então, montar grupos mais colaborativos na aplicação do segundo problema.

A seguir apresentamos uma sugestão de um cronograma de aplicação do primeiro problema do módulo, totalizando dez aulas, conforme a Tabela 2.1 abaixo.

Tabela 2.1: Cronograma de aplicação

Atividades	Descrição	Duração
1	Leitura do texto <i>A farsa da falta de energia</i> , interpretação do problema e formulação das hipóteses e dos objetivos de aprendizagem	1 aula
	Estudo dos objetivos de aprendizagem	3 aulas
	Discussão e solução do problema	1 aula
2	Apresentação da solução do problema	2 aulas
3	Discussão final sobre as apresentações	1 aula
4	Avaliação teórica dos conteúdos estudados	1 aula
	Autoavaliação grupal	1 aula

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Atividade 1, relacionada às etapas do grupo tutorial, demandará certos recursos materiais, pois a proposta de atuação ativa e autônoma dos alunos implica em terem acesso a laboratórios (caso queiram testar alguma

¹² Uma aula-resumo sobre o método PBL, está disponível para impressão no início do módulo.

hipótese experimentalmente), bibliotecas, sala de estudos etc. Entretanto, a condição mínima necessária para a aplicabilidade deste produto é que a escola possua um laboratório de informática com acesso à internet, visto que o estudo dos objetivos de aprendizagem está vinculado a esse recurso.

Esses, por sua vez, deverão ser desenvolvidos de forma direcionada, ou seja, o professor-tutor, a partir das hipóteses levantadas pelos alunos, predirá orientá-los sobre quais sites pesquisar, conforme tratado na seção anterior. Para isso, convém que o professor-tutor peça ao estudante-secretário, após a segunda etapa dessa atividade, um pequeno relatório sobre as hipóteses que o grupo pretende investigar nas próximas aulas. Com essas informações ele poderá direcionar os grupos aos sites cujos conteúdos serão relevantes para a aquisição dos objetivos de aprendizagem. Ressaltamos que, pouco provavelmente, algum grupo conseguirá estudar todos os objetivos de aprendizagem. Portanto, se cada grupo focar em apenas um objetivo de aprendizagem, ainda que não forneça o pleno entendimento sobre a solução do problema, posteriormente essas contribuições serão consideradas e sintetizadas em etapas posteriores.

A Atividade 2 se refere às apresentações da solução do problema, de cunho avaliativo. O professor-tutor poderá padronizar as apresentações ou deixar os alunos decidirem como isso poderá ser feito a partir dos recursos disponíveis (projektor, demonstrações experimentais etc.). A avaliação das apresentações por parte do professor tutor poderá ser orientada pela quantidade dos objetivos de aprendizagem estudados e pelo seu grau de internalização; pela qualidade das apresentações e postura dos alunos durante esta etapa.

Ao final das apresentações, propomos a Atividade 3, em que o professor tutor poderá realizar discussões sobre as soluções apresentadas pelos grupos tutoriais. A finalidade dessas discussões é unificar as contribuições de cada grupo, permitindo a formulação de uma solução mais ampla do problema. Convém ressaltar o papel importante do professor tutor nesta atividade como articulador dessas discussões de forma objetiva.

Com a Atividade 4 pretende-se realizar as avaliações dos conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais, conforme tratado na seção Apresentação da solução do problema e avaliação do processo de aprendizagem do capítulo anterior. Uma sugestão para a avaliação dos conteúdos conceituais seria pedir para os grupos trabalharem com uma nova situação envolvendo o conceito da conservação de energia em outros modelos de moto-perpétuo ou solicitar que os alunos reformulem a solução do problema a partir do que fora exposto durante a Atividade 3. Para a avaliação procedimental, o professor-tutor poderá utilizar o resultado da avaliação feita durante a Atividade 2, bem como a análise dos relatórios feitos na Atividade 1. Para a avaliação atitudinal, convém que os integrantes dos grupos tutoriais avaliem a atuação dos demais. Para isso disponibilizamos uma avaliação grupal que pode ser utilizada pelo

Sugerimos que a quantidade de alunos por grupo seja de quatro ou cinco, pois esta quantidade favorece a discussão e a divisão igualitária de responsabilidades entre os integrantes. Em grupos com mais de cinco alunos a dispersão poderá ocorrer com mais frequência. Por se tratar de uma atividade de ambientação, sugerimos que os grupos sejam formados pelos próprios estudantes, pois a partir da observação de como eles se comportam com o primeiro grupo será possível distribuí-los em novos grupos de forma equilibrada nas próximas atividades.

professor-tutor. A partir desses instrumentos avaliativos, poder-se-á atribuir uma nota geral para cada aluno ao final da aplicação do primeiro problema.

3 GUIA DE APLICAÇÃO DO SEGUNDO PROBLEMA

3.1. CONHECENDO O PROBLEMA

O problema é uma adaptação de uma das histórias contidas no livro *As Aventuras Científicas de Sherlock Holmes*, escrito por Colin Bruce. A narrativa em questão descreve um misterioso acidente em que dois mergulhadores morreram de insolação após utilizarem um sino de mergulho. Tal história foi baseada em um acidente real que ocorreu em 1960, quando dois mergulhadores morreram no Mar do Norte.

A solução do problema consiste em investigar a causa da morte dos dois mergulhadores a partir das informações presentes no texto. O cenário problemático explora outros tipos de conhecimentos, como a geografia local, o folclore nórdico e noções de patologia. No que tange aos conteúdos específicos em Física, o problema permite o estudo dos conceitos de pressão hidrostática, transformações gasosas, temperatura, trabalho, calor e suas formas de transmissão.

A seguir listamos os objetivos de aprendizagem propostos para este problema.



Objetivos de aprendizagem

1. **Pesquisar sobre a geografia do local;**
2. **Desmistificar a lenda do kraker;**
3. **Estudar o funcionamento do sino de mergulho;**
4. **Estudar o sistema sino de mergulho -bomba de ar;**
5. **Relacionar a data do acidente com o período de consolidação da Primeira Lei da Termodinâmica;**

Sobre a geografia do local

O Mar de Barents é parte do Oceano Glacial Ártico e está situado entre a Noruega e Rússia. Os fiordes, local onde ocorreu o acidente no problema, são elementos geomorfológicos formados pelo avanço do mar de Barents em regiões de vales rochosos, devido a erosão glacial, conforme mostra o esquema na figura a seguir.

Figura 3.1: O esquema abaixo mostra a região dos fiordes noruegueses junto ao Mar de



Fonte: Elaborado pelo autor.

No problema, o evento ocorrido no fiorde que reduz drasticamente a velocidade da embarcação - que foi atribuído ao Kraken - se deve a um fenômeno marítimo conhecido como água morta (ou dead water) em que ondas internas (ou submarinas) se formam na interface de dois líquidos de densidades diferentes.

No caso do cenário problemático, devido ao derretimento das geleiras nos fiordes, o escoamento da água doce ocupa a camada superior e a água salgada, a camada inferior; formando tal interface. Com efeito, embora a superfície da água doce esteja calma, quando uma onda submarina, formada na interface, atinge as hélices do barco e faz com que a sua velocidade seja reduzida. Portanto, o estudo desse objetivo de aprendizagem implica na solução desse primeiro acontecimento misterioso descrito no problema.

A Figura 3.2 abaixo mostra um experimento que simula o fenômeno da água morta. Mais informações sobre este fenômeno bem como o vídeo com o experimento estão disponíveis em NewScientist [1].

Figura 3.2 Experimento que simula o fenômeno da água morta. Na interface entre dois líquidos com densidades diferentes forma-se as ondas internas, embora a superfície superior do líquido com menor densidade não haja a formação de ondas. O experimento mostra que a velocidade barco é reduzida quando a onda interna o atinge.



Fonte: Newscientist

Entretanto, durante o estudo desse objetivo de aprendizagem, muito provavelmente os alunos tentarão relacionar outras informações sobre o Mar de Barents com a morte por insolação dos mergulhadores, mas que não conduzem à solução do problema. Por exemplo, devido ao potencial energético em petróleo e gás dessa região - como é mencionado no cenário problemático - os alunos poderão associar, de forma equivocada, que as reservas de petróleo foram a causa da morte dos mergulhadores, ou seja, que eles morreram por insolação ao se aproximarem das reservas de petróleo que são “quentes”.

Alguns fatos podem ser utilizados como contra-argumento a essa proposta de solução: o primeiro é que as reservas de petróleo no Mar de Barents não se encontram dentro dos fiordes, conforme mostra o mapa ao lado com a distribuição das reservas de óleo e gás do Mar de Barents, fornecido pela Norwegian Petroleum [2]. O segundo fato é que as reservas de petróleo em águas profundas se encontram a mais de 3000 metros abaixo do solo marinho [3] e não apenas no fundo do oceano, como alguns alunos poderão sugerir. Por fim, a data mencionada no problema antecede o início da exploração de petróleo na costa da Noruega, que ocorreu entre 1962 e 1963.

Outra informação que pode ser encontrada pelos alunos é que no Mar de Barents há resíduos nucleares submersos devido ao naufrágio de um submarino nuclear russo [4]. Por este motivo, alguns alunos podem associar tal fato com as suas concepções prévias sobre radiação nuclear a fim de solucionar a morte dos mergulhadores. Novamente, convém esclarecer que o cenário problemático se passa na metade do séc. XIX, período anterior à descoberta da

Figura 3.3. Campos de petróleo e gás natural no Mar de Barents



Fonte: The Norwegian Petroleum Directorate

radioatividade. Portanto, seria anacrônico relacionar tal informação tendo em vista uma possível solução do problema.

Sobre a relação do kraken com a morte dos mergulhadores

Segundo a mitologia nórdica contada por pescadores, o Kraken era uma besta que habitava os mares da Noruega e atacava tanto os navios piratas quanto aqueles que poluíam o mar. Tal mito provavelmente foi construído a partir da visão que alguns marinheiros tiveram da lula gigante, um animal raro de ser visto.

Entre as possíveis referências que os alunos encontrarão durante o estudo desse objetivo de aprendizagem, sugerimos dois vídeos e uma reportagem excelentes, que podem ser utilizados pelos alunos. O primeiro é uma palestra concedida ao TED pela cientista Edith Widder, contando como foi feita a primeira filmagem desse animal em seu habitat natural [5]. O segundo mostra o trabalho de um grupo de pesquisadores do Museu de História Natural de Londres com um exemplar desse animal [6]. Outra possibilidade é direcionar os alunos ao site da BBC que contém uma matéria completa, desde o mito construído às descobertas científicas feitas sobre esse animal [7].

A partir do estudo deste objetivo de aprendizagem, os alunos poderão concluir que, embora o animal representado seja o “kraken”, este não poderia ter causado a morte dos mergulhadores, pois, como ele utiliza os tentáculos que possuem garras para capturar as suas presas, eles deveriam ter ferimentos causados por algo perfurocortante, e não marcas de insolação.

Sobre o funcionamento do sino de mergulho

O sino de mergulho é um equipamento utilizado como base para mergulhadores durante as explorações subaquáticas e são classificados em dois tipos: o sino molhado e o sino fechado (no caso do problema trata-se do sino molhado). Muito provavelmente muitos alunos não saberão do que se trata este dispositivo, por isso no YouTube é possível encontrar vários vídeos mostrando o seu funcionamento. Dentre os vídeos disponíveis, recomendamos dois que podem ser muito bem utilizados nesta etapa da solução do problema. O primeiro vídeo [8] a ser indicado aos alunos é uma coletânea que mostra desde um experimento didático sobre o princípio de funcionamento do sino a diversas situações de uso deste equipamento, que variam desde sinos típicos do século XVIII e XIX - semelhante ao sino do problema - , sinos modernos e até mesmo um sino feito com um balde de plástico. Esperamos que com este vídeo os alunos tenham clareza sobre como este equipamento é utilizado.



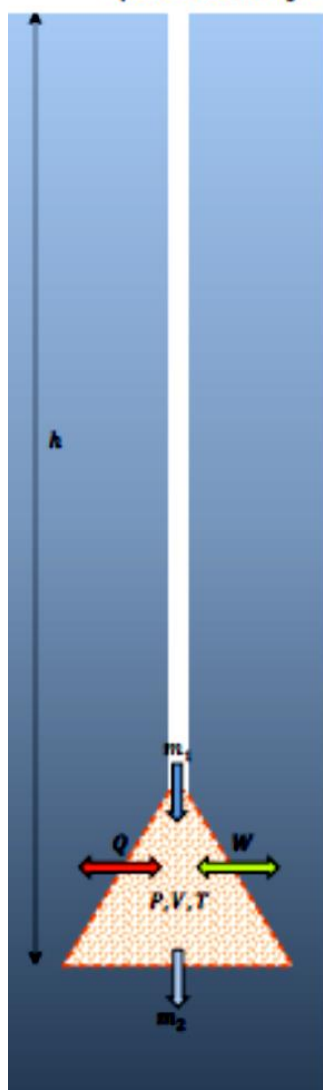
Conseqüentemente os alunos serão induzidos a querer saber como a água não invade o interior do sino e a partir desse interesse podemos dar início ao tratamento mais aprofundado dos conceitos físicos envolvidos no problema. Provavelmente os alunos terão algum conhecimento prévio sobre isso, seja de filmes que eles assistiram, de mergulhos que fizeram ou por terem sentido o aumento da pressão nos tímpanos quando desceram a serra do mar.

Para isso sugerimos outro vídeo [9] que demonstra como o aumento da profundidade, H , durante o mergulho resulta no aumento da pressão, p , do ar aprisionado no interior de um balde, e, na diminuição de seu volume, V . Como este vídeo oferece os valores da pressão e volume do ar em função da profundidade, pode-se utilizá-lo tanto de forma qualitativa e/ou quantitativa, e, por meio da modelagem matemática, demonstrar a lei de Stevin para a pressão hidrostática e que o ar aprisionado obedece à Lei de Boyle.

Uma segunda alternativa para o estudo destes objetivos de aprendizagem, mas que não envolve modelagem matemática, é o uso de simuladores. Há um simulador no PHET Colorado que pode ser utilizado para este fim, chamado de *Sob Pressão* [10]. Com ele é possível mostrar como a pressão do fluido depende da pressão atmosférica exercida sobre a superfície dele, da gravidade e da profundidade. Analogamente à lei de Stevin, é possível conduzir o aluno a estudar o comportamento dos gases por meio de outro simulador do PHET, chamado de *Propriedade dos Gases* [11].

Neste ponto, o professor poderá orientar os alunos a estudarem com mais rigor conceitual a teoria cinética dos gases tendo em vista a primeira lei da Termodinâmica. Podemos solicitar aos alunos a explicação desse fenômeno (mostrado no simulador) em função do comportamento das moléculas que constituem o gás. Provavelmente os alunos irão estabelecer uma relação de linearidade entre as grandezas, por exemplo, a diminuição do volume ocupado pelo gás implicará no aumento das colisões entre as moléculas o que causa o aumento da pressão e da temperatura. Entretanto, a relação correta é que a diminuição do volume do gás implicará tanto no aumento das colisões quanto no aumento da velocidade média das moléculas, devido ao movimento do pistão que acrescenta energia cinética às moléculas. Conseqüentemente haverá o aumento de colisões das moléculas por unidade de área por unidade de tempo, o que caracteriza o aumento da pressão. Concomitantemente, o aumento da velocidade média das moléculas implica o aumento de sua energia cinética e conseqüente aumento da temperatura do gás (VIENNOT, 2004).

Figura 3.5: O sino de mergulho como sistema termodinâmico. Através da fronteira do VC há a transferência de massa, calor e trabalho que variam à medida que o sino submerge.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Sobre o sistema bomba de ar-sino de mergulho e a Primeira Lei da Termodinâmica

Durante a submersão do sino de mergulho aberto a água tende a invadi-lo devido ao aumento da pressão hidrostática (lei de Stevin). Para que isso não ocorra é necessário pressurizar o ar respirável no interior do sino em baixa ou média pressão por meio de compressores (RANDALL, 1999). Portanto, quanto maior a profundidade, h , do mergulho, maior deve ser a pressão do ar fornecido pelo compressor. Logo, a análise termodinâmica criteriosa desse equipamento envolve equações de calor e trabalho à Primeira Lei da Termodinâmica em sua forma diferencial, cuja solução depende de métodos numéricos que fogem ao escopo deste trabalho (RANDALL, 1999), aplicadas a um sistema termodinâmico aberto (ou Volume de Controle, VC). O esquema termodinâmico do sino de mergulho está representado na Figura 3.5 ao lado.

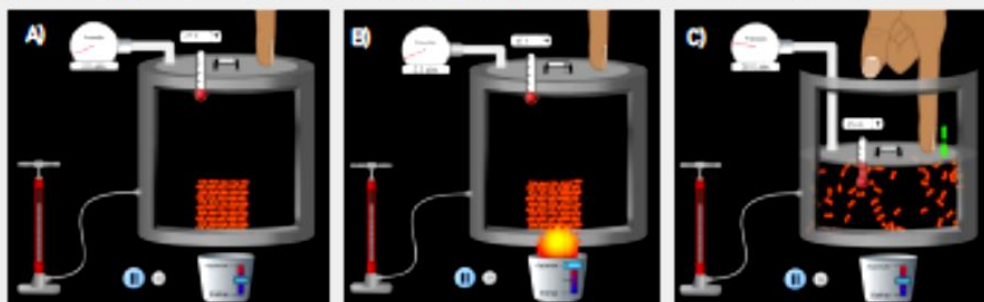
Entretanto, podemos simplificar o sistema ao admitirmos as seguintes condições: i) Para contrapor o aumento da pressão hidrostática sobre o sistema é necessário que não ocorra a saída de massa de ar, ou seja, $m_2 = 0$; ii) Com efeito, o volume do sistema permanece constante, logo $W = 0$; iii) Desprezamos as energias cinéticas e potencial do fluido ao adentrar o VC, bem como a variação dessas energias entre os estados final e inicial; iv) Como o ar dentro do sistema é um isolante térmico, e, admitindo que o processo ocorre de forma suficientemente rápida, podemos aproximar o processo como sendo adiabático, com $Q = 0$.

A partir dessas suposições, o sistema se reduz ao processo de carregamento de um vaso de pressão com paredes rígidas, que pode ser estudado com outro simulador disponibilizado no PHET Colorado (Figura 3.6), chamado de *Estados da Matéria* [12].

A primeira parte do estudo com o simulador busca relacionar os elementos deste com os que são mencionados no problema. Nesse simulador, temos que o recipiente, a bomba de ar e a tampa do recipiente representam, respectivamente, o sino de mergulho, a bomba de ar no barco e a interface ar-água que aprisiona o ar dentro do sino de mergulho. Com o mouse podemos acionar o pistão da bomba, que irá injetar mais moléculas do gás no recipiente. À medida que as moléculas são acrescentadas, tanto o termômetro quanto o barômetro indicam, respectivamente, o aumento da temperatura e pressão do gás (Figura 3.7).

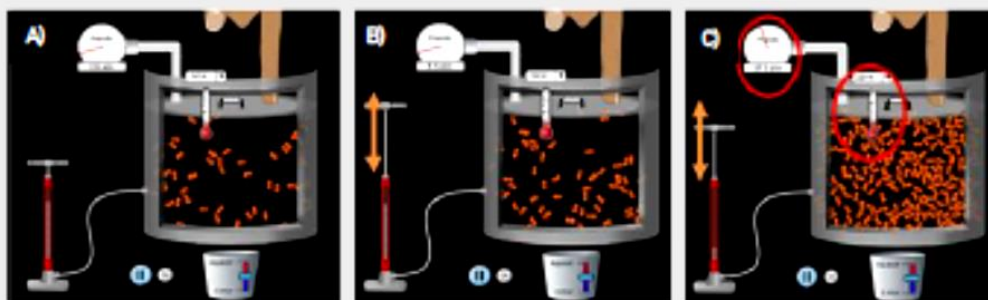
Portanto, a energia de fluxo (referente ao trabalho realizado para adicionar à massa de gás ao sistema) é convertida no aumento da energia interna do sistema, e, conseqüentemente, no aumento de sua temperatura, sendo essa a causa da morte dos mergulhadores por insolação.

Figura 3.6: Simulação do sistema bomba de ar- sino de mergulho. A) Tela inicial do simulador *Mudança de Fase*. E) Para iniciar a simulação proposta é preciso que a substância, inicialmente em estado sólido, esteja no estado gasoso. Isso pode ser feito aquecendo-se o sistema, (C) ou pressionando o êmbolo contra a substância.



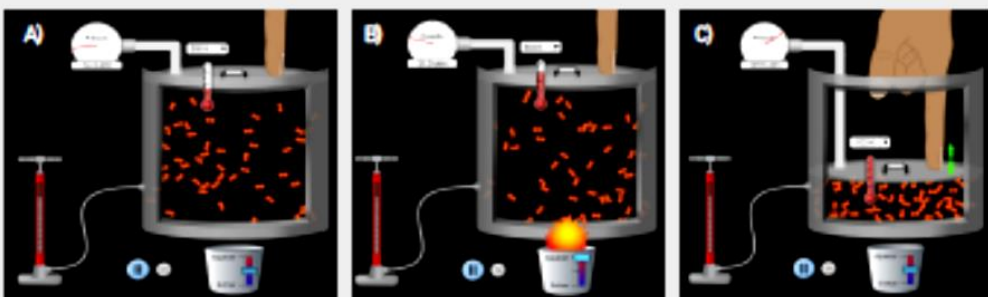
Fonte: P-NET Colorado.

Figura 3.7: Simulação do que ocorre com o ar no interior do sino de mergulho, ligado à bomba (sistema aberto). A) Tela inicial da simulação. E) Acionamos a bomba com o mouse para que mais moléculas do gás sejam inseridas no recipiente. C) Como aumento da quantidade de moléculas os instrumentos do simulador (termômetro e barômetro) indicam o aumento da temperatura e pressão do gás.



Fonte: P-NET Colorado.

Figura 3.8: Simulação equivalente com um sistema fechado. A) Tela inicial. E) A temperatura e pressão do sistema aumentam com a absorção de calor da fonte quente ou (C) com a realização de trabalho sobre o sistema.



Fonte: P-NET Colorado.

O estudo mais aprofundado da Primeira Lei da Termodinâmica pode ser feito, então, a partir da modelagem de um segundo sistema termodinâmico fechado e equivalente ao anterior. Com o mesmo simulador, manipulam-se a fonte de calor e a força aplicada sobre o êmbolo, apenas. É possível mostrar que o aumento da energia interna, ΔU , do gás, associada ao aumento da temperatura, também pode ser obtido por dois métodos diferentes de transmissão de energia: por meio do trabalho, τ , exercido sobre o sistema, que consiste na ação externa de uma força que desloca o êmbolo para baixo; ou pelo calor, Q , absorvido pelo sistema, que ocorre quando dois corpos a diferentes temperaturas são colocados em contato térmico (Figura 3.8).

Pode-se mostrar aos alunos como a formulação matemática da Primeira Lei da Termodinâmica, dada por $\Delta U = Q + \tau$ nos permite obter outras informações sobre o comportamento do sistema em estudo. Para isso, seria conveniente indagar os alunos ao relacionar tal simulação com a situação do problema, ou seja, perguntar sobre qual desses dois métodos de transmissão de energia poderia ter ocasionado a morte dos mergulhadores por insolação, já que ambos produzem o aumento da temperatura do sistema.

Como o texto do problema menciona que a bomba de ar era muito potente, ou seja, que a compressão do ar ocorre muito rapidamente, pode-se admitir que o ar no sino sofreria uma compressão adiabática, na qual o trabalho exercido sobre o sistema é convertido no aumento de sua energia interna. Enquanto qualquer transferência de energia através do calor seria dissipada antes de chegar ao sino de mergulho onde estavam os mergulhadores.

Outro exemplo que pode ser utilizado para reforçar a aplicação da compressão adiabática é o pistão de fogo (fire syringe), em que é colocado algodão no interior do cilindro a fim de que o mesmo entre em ignição ao pressionarmos o pistão rapidamente. Há muitos vídeos na internet demonstrando o uso desse instrumento, como o vídeo *Fire Syringe* do canal *Veritasium* [13].

Sobre a relação entre a data do acidente com a Primeira Lei da Termodinâmica

O fato de que o calor é uma forma de transmissão de energia, assim como o trabalho, é consequência dos estudos realizados por James Prescott Joule (1818-1889). Entre os anos de 1843 e 1878, Joule realizou uma série de experimentos minuciosos a fim de obter a relação quantitativa entre o calor produzido a partir da transformação de uma determinada quantidade de

energia (mecânica ou elétrica) e, em todos eles, obteve valores muito próximos para essa relação; conhecida como *equivalente mecânico da caloria*. Atualmente, o valor aceito para o equivalente mecânico da caloria é de $W/Q = 4,186 \text{ J/cal}$ (BRUHAT, 1966; PASSOS, 2009).

Historicamente, a Primeira lei da Termodinâmica, que é uma extensão do Princípio da Conservação de Energia, foi formulada após a descoberta da Segunda Lei da Termodinâmica. O matemático e fisiologista Hermann von Helmholtz mostrou em 1847 que tal princípio se aplicava a todas as formas de energia até então conhecidas (mecânica, térmica, elétrica, magnética), e, na físico-química, biologia e no metabolismo de todos os seres vivos. Somente a partir de 1860, devido a série de experimentos realizados por Joule sobre o equivalente mecânico da caloria – que expressa a razão da transformação de quanto calor é obtido a partir de uma determinada quantidade de energia mecânica – o Princípio da Conservação da Energia foi reconhecido como aplicável a todos os fenômenos (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008; NUSSENZVEIG, 2002).

Até então a natureza do calor não era completamente conhecida, mas havia teorias que propunham explicá-la, como as teorias do flogisto e do calórico. Nesta última, por exemplo, o calor era entendido como uma substância presente no interior dos corpos e sensível às variações de temperatura entre eles e que por isso podia fluir de um corpo de maior temperatura a outro de menor temperatura, mas não poderia ser criado ou destruído (PINHO, 2011). No caso do problema, o entendimento do capitão sobre a causa da morte dos mergulhadores era de que o atrito entre a roda de pás com a água do mar gerou o calórico, que fluiu para o sino onde estavam os mergulhadores. Mas como essa justificativa não condizia com o comportamento do calórico, ele foi considerado culpado pela morte dos mergulhadores.

Portanto, a data de 1855 mencionada no cenário problemático é relevante no desfecho da solução do problema pois está dentro desse período de consolidação das leis da Termodinâmica; especialmente ao que se refere às contribuições de Joule para a consolidação da Primeira Lei da Termodinâmica. Essa relação poderá permitir que os alunos conduzam a solução através de um olhar histórico da evolução sobre a natureza do calor.

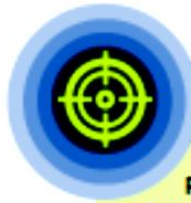
Os experimentos históricos feitos por James Prescott Joule (1818-1899) são de grande importância no Ensino de Física, mas a sua reprodução em sala de aula é, muitas vezes, inviável devido a sua complexidade. Entretanto, é possível encontrar alguns vídeos que fazem a reprodução cênica de um desses experimentos icônicos, como o vídeo *Historical Didactical Video on Joule's paddlewheel Experiment* [14]

 [Joule's paddlewheel Experiment](#)



Historical Didactical Video on Joule's Paddlewheel Experiment

14:01 • 14:01 • 11:04:01 • 10:11:11 • 



Aprofundando o conceito

Para a modelagem matemática do sistema sino de mergulho-bomba de ar, devemos considerar a forma geral da Primeira Lei da Termodinâmica, dada por:

$$\dot{Q} + \dot{W} + \dot{m}_1 \left(u + pv + \frac{V^2}{2} + gz \right)_1 - \dot{m}_2 \left(u + pv + \frac{V^2}{2} + gz \right)_2 = \frac{d}{dt} \left[m \left(u + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right]$$

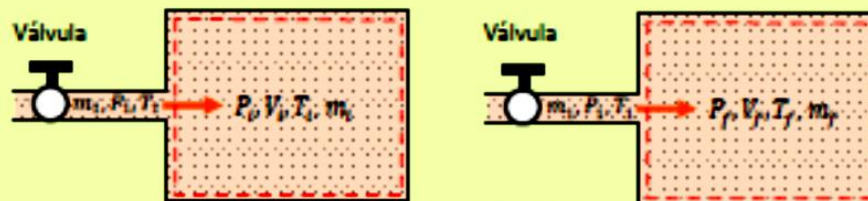
onde o índice 1 corresponde à energia que entra no sistema, e o índice 2 à energia que sai do VC; o termo entre parênteses corresponde à taxa da energia por escoamento de massa do fluido, composto pela energia interna (u), pelo trabalho de fluxo (pv), energia potencial (mgz) e cinética ($mV^2/2$) do fluido ao adentrar e sair do VC, que equivalem à taxa temporal da energia que corresponde à parcela do fluido que permanece no VC entre os estados inicial e final, também composta pela energia interna, potencial e cinética (ÇENGE, BOLES, 2006; RANDALL, 1999).

A partir das suposições feitas, em que o sino de mergulho se reduz ao sistema termodinâmico de carregamento de vasos de pressão com paredes rígidas, temos que a equação anterior se reduz a:

$$m_f u_f - m_i u_i = (m_f - m_i) h_i$$

onde $h_i = u_i + p_i v_i$ equivale à entalpia do fluido ao adentrar o sistema e $m_i = m_f - m_i$; i e f correspondem aos estados termodinâmicos inicial e final, respectivamente. A figura abaixo mostra o esquema termodinâmico desse sistema.

Simplificação do sistema termodinâmico do sino de mergulho no sistema de carregamento de um vaso de pressão. A) ao abrir a válvula, a massa de ar comprimido, m_2 , com pressão P_2 e temperatura T_2 , adentra o sistema VC inicialmente preenchido com ar (m_1, P_1, V_1, T_1), sendo $P_2 > P_1$. B) A pressurização acontece até que a pressão final do sistema, P_f , se iguale à pressão do ar comprimido P_2 .



Fonte: Adaptado de ÇENGE, BOLES, 2006.

Para uma análise quantitativa, esse sistema pode ser considerado como uma garrafa PET de 2l ($2 \cdot 10^{-3} m^3$) com ar inicialmente a 25 °C (298 K) e pressão de 1 atm ($1 \cdot 10^5 Pa$), que será pressurizado com ar (por meio de uma bomba de ar manual) a 1,1 atm ($1,1 \cdot 10^5 Pa$) a 25 °C. Admitindo que o ar se comporta como um gás ideal, temos:

$$m_1 = \frac{p_1 V_1}{RT_1} = \frac{1 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{287 \cdot 298} = 2,34 \cdot 10^{-3} kg$$

e

$$m_1 u_1 = \left(\frac{p_1 V_1}{RT_1} \right) (C_v T_1) = \left(\frac{1 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{287 \cdot 298} \right) \cdot (0,718 \cdot 298) = 0,5 \text{ KJ}$$

e

$$m_2 u_2 = \left(\frac{p_2 V_2}{RT_2} \right) (C_v T_2) = \left(\frac{1,1 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{287 \cdot 298} \right) \cdot (0,718 \cdot 298) = 0,55 \text{ KJ}$$

com $R = 287 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ e $C_v = 0,718$.

A entalpia h_1 do ar pressurizado que adentra o sistema é obtida por:

$$h_1 = C_p T_1 = 1,005 \cdot 298 = 301,5 \text{ kJ}$$

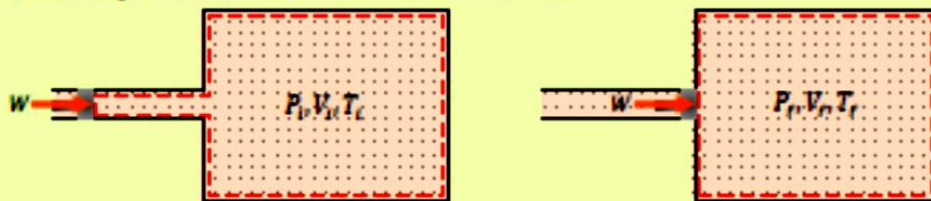
Ao substituímos esses resultados na Equação 20, temos que $m_2 = 2,51 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$. A partir da equação de estado do gás ideal, temos:

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{R m_2} = 305,9 \text{ K}$$

ou seja, $T_2 = 32,9^\circ \text{C}$. Tal resultado mostra que, embora o ar que adentra o sistema tenha a mesma temperatura que o ar contido inicialmente na garrafa, a energia de fluxo é convertida no aumento da energia interna do sistema, e, conseqüentemente, no aumento de sua temperatura.

A mesma situação pode ser analisada qualitativamente, como um sistema fechado, ao admitirmos que as regiões com a massa de ar até então destinada a adentrar o sistema, m_1 , e do recipiente com a massa de ar inicial, m_2 , como um único sistema, conforme mostra a figura abaixo. (ÇENGL; BOLES, 2006).

Sistema fechado equivalente. a) o sistema agora é composto pela região do recipiente mais a que é ocupada pela massa de ar comprimido, até então externa ao sistema. b) o restante do ar comprime adiabaticamente o sistema (cilindro imaginário) diminuindo o seu volume desse novo sistema.



Fonte: Adaptado de ÇENGL; BOLES, 2006.

3.2. CRONOGRAMA DE APLICAÇÃO

Semelhantemente ao problema anterior, propomos o cronograma de aplicação do segundo problema conforme mostramos na Tabela 3.1 a seguir, com a diferença de que sugerimos o aumento de uma aula para a etapa de estudos dos objetivos de aprendizagem, dado o aumento dos objetivos de aprendizagem esperados por meio deste problema.

Tabela 3.1: Cronograma de aplicação

Atividades	Descrição	Duração
1	Leitura do texto <i>O sino da morte</i> , interpretação do problema, formulação das hipóteses e dos objetivos de aprendizagem	1 aula
	Estudo dos objetivos de aprendizagem	4 aulas
	Discussão e solução do problema	1 aula
2	Apresentação da solução do problema	2 aulas
3	Discussão final sobre as apresentações	1 aula
4	Avaliação teórica dos conteúdos estudados	1 aula
	Autoavaliação grupal	1 aula

Fonte: Elaborado pelo autor

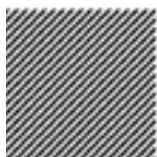
A partir das impressões do professor durante a aplicação do problema anterior e da literatura sugerida sobre manejo de grupos, espera-se que no segundo problema o desempenho dos grupos tutoriais seja maior em relação à aplicação do primeiro problema. Com efeito, Atividade 1 tenderá a ser mais objetiva.

Para a Atividade 2 seria interessante encorajar os alunos a realizarem um experimento que poderá ser utilizado durante a exposição da solução do problema, semelhante ao mostrado no canal *Física Universitária* [14]. A partir dessa experiência os alunos poderão simular, experimentalmente, o que ocorreu no interior do sino de mergulho e introduzir o conceito de expansão adiabática.

Analogamente ao problema anterior, o professor será o responsável por articular e promover o debate entre os alunos sobre as soluções fornecidas por cada grupo tutorial na Atividade 3. Para a Atividade 4, a autoavaliação grupal é a mesma aplicada anteriormente (disponível ao final do módulo).



Módulo PBL



Introdução ao ambiente PBL

SOBRE A PBL

A Aprendizagem Baseada em Problemas, PBL, (traduzido do inglês *Problem Based Learning*, PBL) parte do princípio de que o homem vive para solucionar problemas e que, “ao solucionarmos os problemas do nosso cotidiano, a aprendizagem acontece”. Na PBL, o enfrentamento e resolução de problemas são os meios pelo qual ocorre a aprendizagem.

Os problemas compõem um módulo (ou unidade temática), no qual se espera que os alunos aprendam determinados conteúdos de forma dirigida e orientada. Trata-se de uma metodologia formativa centrada no aluno, que estimula a constante busca pelo conhecimento.

Nessa metodologia, o papel do aluno, do professor e da avaliação recebem novos significados, que se contrapõem àqueles da metodologia tradicional de ensino e aprendizagem.

O PAPEL DO ALUNO E O TRABALHO EM GRUPO

A PBL valoriza, além do conteúdo a ser aprendido, a forma como ocorre o aprendizado por meio do trabalho em grupo - o grupo tutorial - reforçando o papel ativo do aluno neste processo, que favorece que os alunos aprendam como aprender.

A partir da inserção do cenário problemático, os alunos realizam o levantamento de soluções hipotéticas em função de seus conhecimentos prévios. A discussão dessas ideias pelo

grupo tutorial faz com que os alunos direcionem e controlem o processo de investigação. A tabela a seguir sintetiza as etapas do grupo tutorial.

Alguns integrantes do grupo tutorial podem receber determinadas funções, como o estudante coordenador, responsável por articular e facilitar as discussões no grupo, e o estudante secretária, responsável por anotar as decisões tomadas durante as discussões a fim de orientar os objetivos do grupo; sendo que, para cada novo encontro do grupo tutorial, tais funções podem ser alternadas entre todos os membros. A cada novo problema os grupos serão refeitos.

Para a etapa de investigação individual ou em grupo os alunos deverão utilizar os recursos e espaços disponíveis na escola: Sala de informática, biblioteca, sala de aula, livros da biblioteca e livro didático. No período extra-sala os alunos podem fazer pesquisas de campo que ajudem a responder às perguntas feitas, como entrevistar um profissional de determinada área.

Etapas do grupo tutorial

1. Leitura do problema, identificação e esclarecimento de termos desconhecidos;
2. Identificação do problema proposto;
3. Formulação de hipóteses (“testes/ensaios”);
4. Resumo das hipóteses;
5. Formulação dos objetivos de aprendizagem;
6. Estudo individual dos objetivos de aprendizagem;
7. Redirecionamento do problema frente aos novos conhecimentos adquiridos.

Fonte: Borzes et al. (2014)

DICA IMPORTANTE

Perguntas-chave podem ser estratégicas para orientar os alunos durante a Atividade 1. São elas:

- **O que sabemos sobre o problema?**
- **O que precisamos saber?**
- **O que precisamos fazer?**

Após esse período de estudos, a ser definido pelo professor-tutor, os alunos se reencontram para discutir o produto de suas pesquisas a fim de esclarecer as questões-problemas e o problema à luz dos novos conhecimentos adquiridos. Todas as atividades poderão ser documentadas (relatórios, portfólios, gravações das reuniões etc.).

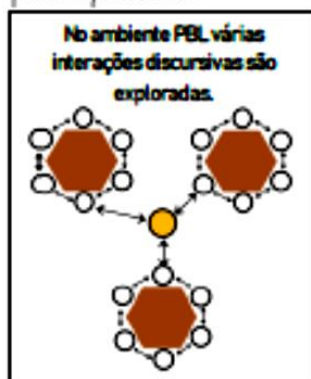
A solução do problema deverá sintetizar o conjunto de ideias e a sistematização do processo de investigação e ser apresentado (slides pelo grupo). Alternativamente temos a apresentação de projetos que representem ou complementem a solução do problema.

O PAPEL DO PROFESSOR TUTOR

Nessa metodologia o professor posiciona-se a como mediador na relação dos alunos com a aquisição do conhecimento. A função do professor tutor é sugerir quais

estratégias poderão ser utilizadas pelos estudantes a fim de produzir resultados satisfatórios.

Como se trata de um projeto piloto, muito provavelmente o professor realizará aulas “tradicionais” (expositivas) a fim de esclarecer alguns conceitos importantes para o aprendizado.



A AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM

Além dos conteúdos conceituais relacionados ao “saber”, as atividades desenvolvem conteúdos procedimentais e atitudinais que precisam ser avaliados. A avaliação dos conteúdos conceituais precisa enfatizar a aplicação e a transferência dos conhecimentos adquiridos ao longo do processo de aprendizagem em novas situações problemáticas. Isso poderá ser feito por meio de provas ou testes escritos. Outra forma de averiguação ocorre por meio da observação do uso de exemplos que ajudem na

compreensão dos conceitos, o que ocorre durante o todo o processo de aprendizagem, desde as explicações espontâneas dentro do trabalho em grupo até a apresentação formal sobre a solução do problema.

Os conteúdos procedimentais referem-se ao “saber fazer”: saber dialogar, saber fazer uma pesquisa, um relatório, um questionário etc. Portanto, a avaliação de sua aprendizagem está relacionada ao domínio que se tem desses conteúdos ao transferi-los para a prática.

Os possíveis instrumentos avaliativos são: relatórios/diários sobre o andamento das atividades, portfólios, testes objetivos; exames baseados nos problemas; observação do desempenho nas atividades colaborativas; entrevista individual ou em grupo; autoavaliação e avaliação em grupo; elaboração de artigos, resumos; apresentação oral; vídeos curtos entre outros.

As observações feitas pelo professor das atividades realizadas pelo grupo, do comportamento dentro e fora da sala de aula, da distribuição das atividades, por exemplo, são as principais fontes de informação para avaliação dos conteúdos atitudinais, relacionados à conduta e à afetividade dos alunos.

Problema “A farsa da falta de energia”

Na era da pós-verdade, fatos e opiniões se confundem em meio às guerras de narrativas. Identifiquem na reportagem a seguir a questão problemática de mesma ordem, e, após investigarem as informações fornecidas, proponham uma solução para este problema.

The screenshot shows the GALILEU website interface. At the top, there is a search bar and navigation links for HOME, NOTÍCIAS, GALERIAS, VÍDEOS, BLOGS, COLUNISTAS, REVISTA, ASSINE, and PRINCÍPIOS EDITORIAIS. The main article is titled "Infinita busca pela energia infinita" by Alexandre Rodrigues. A sidebar on the right features an advertisement for "ASSINE GALILEU POR APENAS R\$ 8,90 ao mês".

A solução para os problemas de energia do mundo pode estar na cidade de Imperatriz, no Maranhão. É lá que o empresário Nilson Barbosa e o ex-técnico de eletricidade Christon Leal garantem ter criado algo que a humanidade busca há milênios: um sistema capaz de gerar a própria energia que consome. O nome do projeto revela o tamanho da ambição: *Energia Universal*.

Caso funcione, será mesmo revolucionário. A partir dele celulares, notebooks, carros e quaisquer aparelhos poderão funcionar sem precisar recarregar. Terão alimentação sem fim. “Pegamos um motor, uma roda e um gerador”, diz Nilson Barbosa, também conhecido como Nilson Ampère. “Com esse equipamento e mais um nobreak, resolvemos o problema”. Autodidata, confessa não entender muito de física. “Eu e meu sócio estudamos só até o segundo grau. Meu aprendizado foi no ramo.” Mesmo sem conhecimento teórico, ele se mostra confiante. Tem que espíritos roubem sua ideia. Até hoje, o invento foi exibido apenas uma vez, em 2012, numa demonstração pública na cidade. Segundo os inventores, tal máquina se encontra em fase final.

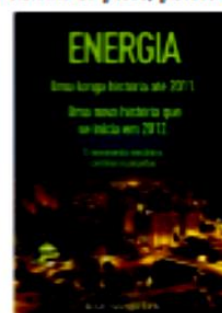
Funcione ou não, a dupla brasileira não está sozinha. Encontrar a fonte de energia eterna é um dos capitulos mais peculiares — e fracassados até agora — da história da ciência. Mesmo com descrédito acadêmico e histórico desfavorável, hoje não faltam inventores com promessas iguais.



Na Irlanda, a empresa Steorn garante que o Orbo, uma máquina composta por magnetos e discos de plástico presos a um eixo de metal, tira da gravidade da Terra três vezes mais energia do que gasta.

De volta ao Brasil, o maior projeto pertence à empresa de biodiesel RAR Energia, de Porto Alegre. Ela publicou, em abril, anúncios nos jornais afirmando que sua máquina é capaz de “captar e aproveitar a energia contida na gravidade do planeta, a qualquer momento e lugar, sem qualquer poluição ou calor”. A sobra de energia seria aproveitada em um movimento “mecânico, contínuo e eterno”. Pela descrição, é um sistema de pesos, pistões e manivelas.

Os inventores do Maranhão já vendem até um protótipo, chamado de *Captor de Elétrons*. Ligado na eletricidade, o aparelho retira, segundo o inventor, prótons e elétrons do campo magnético da Terra e produz 300 vezes mais energia do que consome. “Com uma carga de 21 watts, produzimos 6 mil watts”, afirma. Na única exibição, em Imperatriz, manteve acesa uma lâmpada elétrica, mas nenhum cientista examinou o aparelho até agora. O preço de venda é R\$ 11 mil.



Agora, a pergunta que fica é: o que aconteceria se uma dessas máquinas funcionasse? "Para começar, teríamos que reescrever os livros de física", Jefferson Arzenon, professor do Instituto de Física da UFRGS. "Não teria mais problema de energia e, por consequência, de fome" e esses inventores, afirma Jefferson, se tornariam os homens mais ricos do mundo.

Com tanto dinheiro e glória em jogo, é certo que os inventores não vão parar de tentar. Ainda que os chamem de loucos

COMENTÁRIOS SOBRE ESTA REPORTAGEM

Gilmar Tossi | rs | Eldorado do Sul | 18/03/2014 18:50

Energia Infinita

Não se trata de quebrar leis da física, mas alterá-las conforme são descobertas novas formas de utilizar a matéria e a antimatéria. Há alguns anos quando disseram ser possível transmitir imagens pelo ar, foram chamados de loucos. Hoje utilizam esta mesma loucura, a tv para desmerecer mentes brilhantes que buscam formas de melhorar a busca por invenções. Ora, porque então não utilizam a mídia em geral para pressionar os governos a auxiliarem estes cientistas ao invés de se deixarem manipular por empresas energéticas gananciosas que temam em não perder essa mina de ouro em detrimento da saúde e finanças da sociedade. A propósito, neste mês de fevereiro de 2014 a presidenta falou que dará bilhões para as concessionárias de energia. Quantos hospitais fariam com esses recursos?

Greice | mg | Belo Horizonte | 05/12/2013 18:57

Tesla

A física quântica já provou que tudo é energia, o mundo não é como o vemos. Por outro lado, nunca haverá incentivo para este tipo de projeto para qualquer coisa que ameace tirar o lucro exorbitante de uns poucos.

Paulo de Sá | sp | Sorocaba | 08/11/2013 15:17

Baleia

Até parece que vocês nunca viram essas máquinas funcionando pelo YouTube! O problema está no fato de que não há apoio governamental para que os inventores possam desenvolver suas máquinas para trabalharem na produção de energia em larga escala. Caso contrário seria o fim das empresas de energia e com elas, os seus políticos.

Victor Tibiriçá de Rezende | mg | Aguas de Lindóia | 28/10/2013 23:05

A falsidade dos inventores.

O grande problema é que os inventores desta hipotética máquina se recusam a revelar os princípios de seu funcionamento, pois uma vez que fosse revelada, poderia ser remontada por laboratórios e ser testada, então a solução dos inventores para escapar dos testes é simplesmente se recusar a demonstrar como funciona, apenas alega que funciona, mas isso fere o método científico que requer provas, evidências e testes

kirmair | pa | Belém | 27/10/2013 09:37

Máquina do maranhão não gera energia infinita

O motor deles não cria energia do nada ou se retroalimenta. Ele precisa de uma energia de entrada e capta do ambiente elétrons, assim como uma hidrelétrica faz captando da queda de água.

Rodrigo Amaral | df | Brasília | 23/10/2013 16:52

Impressionou, sim

se buscarem pela wikipedia a descrição do professor do MIT, verão que ele não reconhece o motor-continuo, mas ele ficou, sim, impressionado. ainda não foi achada uma explicação para o funcionamento exato da máquina. segue wiki: <http://en.wikipedia.org/wiki/perepitei>

Problema “O sino da morte”

O texto a seguir contém relatos da última – e misteriosa – expedição do capitão Morrison e sua tripulação a bordo da embarcação *Enola Green*, no final do século XIX. Proponham uma solução para o caso envolvendo o capitão Morrison e sua tripulação.

Em 1855, o capitão Morrison e sua tripulação foram contratados para realizar uma expedição à procura de reservas de petróleo no Mar de Barents - mas não sabiam que seriam protagonistas de uma misteriosa tragédia de sua época.

A bordo da *Enola Green*, uma potente embarcação a vapor movida com rodas de pás; guarnecidos com equipamentos específicos de mergulho, como um sino de mergulho com capacidade para duas pessoas, um guincho, uma potente bomba de ar,

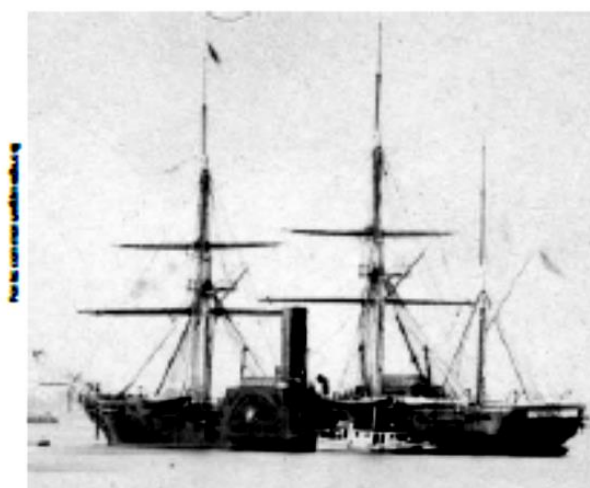
mangueiras etc., Morrison e sua tripulação zarparam de Lowestoft, Inglaterra, em direção ao destino.

Mas ao se aproximarem dos fiordes noruegueses coisas estranhas aconteceram. Segundo relatos do capitão e dos tripulantes, ao passarem pela boca de um estuário a embarcação fez uma parada quase que total na água, apesar do mar estar calmo e os motores funcionando a todo vapor! Foi como se a *Enola Green* estivesse disputando forças contra algo. Outros da tripulação se desesperaram quando alguém se

referiu ao Kraken, a lendária besta marinha. A despeito disso, eles prosseguiram como que navegando no grude, exigindo o máximo de potência da embarcação, até o local designado para o mergulho.

Ali, o capitão Morrison acompanhou a realização do mergulho não tripulado: conectaram o sino à bomba de ar e com o guincho desceram-no próximo ao leito do mar. Como se sabe, neste tipo de mergulho, é necessário aumentar a pressão do ar injetado no sino aumentando a potência da bomba de ar, para que a água não o invada. Ao içá-lo de volta conferiram o seu interior, que estava completamente seco, conforme esperado. Nas notas de bordo do capitão Morrison consta, inclusive, um esboço feito por ele, que mostra como os mergulhadores ficariam acomodados no interior do sino durante o mergulho.

Em seguida, dois mergulhadores experientes adentraram o sino, que foi baixado novamente para um mergulho com duração de uma hora. Todos os cuidados foram tomados à medida que o sino



A *Enola Green*. Embarcação a vapor navegando no Mar de Barents.

submersão a descida era interrompida para que os mergulhadores se adaptassem à mudança de pressão. Segundo as anotações de Morrison, tudo transcorria conforme planejado, o mar estava calmo e o trabalho se encaminhava para o seu fim.



O sino de mergulho.
Notas de bordo do capitão Morrison.

Mas eis que novamente foram surpreendidos: a Enola Green que estava parada, começou a ser arrastada para trás! “É o Kraken!” gritavam! Morrison ordenou que ligassem os motores e que ligassem os

!

mergulhadores de volta; enquanto a embarcação disputava contra aquela força misteriosa.

Com o sino a bordo, os alguns tripulantes perceberam que os mergulhadores demoravam a sair, e, por isso foram conferir. Foi quando se depararam com a visão horripilante daqueles dois homens que jaziam mortos. Estavam quase nus, seus trajes de mergulho foram parcialmente arrancados; a pele de seus corpos estava mosqueada e seus olhos avermelhados e arregalados, pareciam ter visto uma assombração.

Em terra firme, o médico legista alegou que a causa da morte fora por insolação. Isso mesmo! Morreram por insolação, mesmo cercados por água à temperatura próxima de zero grau Celsius!

Para o capitão Morrison, a causa das mortes se deu por fatores naturais. No

caso, o movimento da roda de pás contra a água produzira o calor que matou os mergulhadores. Entretanto, para a sua época, essa justificativa soou tão estranha quanto a série de acontecimentos aqui envolvendo ele e sua tripulação; o que dificultou qualquer tentativa de defesa. De todos os envolvidos, apenas ele foi condenado por homicídio culposo. Capitão Morrison morreu aos 62 anos, vítima de pneumonia enquanto cumpria a pena.



Capitão Morrison (1837-1899)

AVALIAÇÃO GRUPAL		MEMBROS DO GRUPO				
<p>ORIENTAÇÕES: Caro estudante, nesta autoavaliação você deverá atribuir um julgamento que melhor representam o seu grau de desempenho e de seus colegas de grupo para cada habilidade listada a seguir. Somente o professor terá acesso a sua autoavaliação.</p> <p style="text-align: center;">1. INSUFICIENTE 2. RAZOÁVEL 3. BOM 4. EXCELENTE</p>						
HABILIDADES RELACIONADAS À INVESTIGAÇÃO E SOLUÇÃO DO PROBLEMA						
1. Fazer perguntas/observações que ajudem a interpretar o problema						
2. Formular hipóteses para a solução/investigação do problema						
3. Procurar estabelecer uma relação lógica entre as hipóteses levantadas						
4. Procurar por fontes de informação confiáveis para a pesquisa						
5. Pesquisar por diversas fontes de informação						
6. Ser questionador durante o processo de investigação						
7. Abordar o problema com ideias objetivas, eficientes						
8. Fazer deduções/previsões a partir das informações obtidas						
9. Estabelecer conexões entre as informações obtidas pelo grupo						
10. Interpretar as informações obtidas e propor soluções para o problema						
HABILIDADES RELACIONADAS AO TRABALHO EM GRUPO						
1. Respeitar a fala/leitura dos demais integrantes do grupo						
2. Assumir postura ativa nas discussões em grupo						
3. Clareza durante a comunicação de suas propostas						
4. Ser responsável com as tarefas que lhe foram atribuídas						
5. Comunicar o que foi aprendido com os outros integrantes do grupo						
6. Escutar, respeitar e avaliar as opiniões contrárias						
7. Saber dividir as tarefas; não ser individualista						
8. Encorajar os demais integrantes a se envolverem com o problema						
9. Contribuir com a elaboração do relatório de pesquisas						
10. Contribuir com o grupo para a apresentação da solução do problema						

FICHA DE REGISTRO DE ATIVIDADES DO GRUPO TUTORIAL		
Reunião 1 Data: / / Presentes:		
O que sabemos	Nossas hipóteses	O que precisamos saber
Reunião 2 Data: / / Presentes:		
O que aprendemos	Conclusões/Novas hipóteses	O que precisamos saber
Reunião 3 Data: / / Presentes:		
O que aprendemos	Conclusões finais	Proposta de solução

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA, R. G.; BATISTA, I. D. L. Vygotsky: Uma Referencial para Analisar a Aprendizagem e a Criatividade no Ensino da Física. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 2, p. 49-67, 30 abr. 2018.
- BARROWS, H. S. A taxonomy of problem-based learning methods. **Medical education**, v. 20, n. 6, p. 481-486, 1986.
- BARROWS, H. S. Problem-based learning in medicine and beyond: A brief overview. **New directions for teaching and learning**, v. 1996, n. 68, p. 3-12, 1996.
- BERBEL, N. A. N. A problematização e a aprendizagem baseada em problemas. **Interface comun saúde educ**, v. 2, n. 2, p. 139-154, 1998.
- BORGES, M. et al. Aprendizado baseado em problemas. **Medicina (Ribeirão Preto. Online)**, v. 47, n. 3, p. 301-307, 2014.
- CAVALCANTI, L. DE S. Cotidiano, mediação pedagógica e formação de conceitos: uma contribuição de Vygotsky ao ensino de geografia. **Cadernos CEDES**, v. 25, n. 66, p. 185-207, ago. 2005.
- CHANG, W. Teaching the First Law of Thermodynamics via Real-Life Examples. **The Physics Teacher**, v. 49, n. 4, p. 231-233, abr. 2011.
- COLE, M.; SCRIBNER, S. Introdução. In: **A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. 6. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.
- COSTA, M. I. M. Psicologia da adolescência. Contribuições para um estado da arte. **Interações**, n. 10, p. 25-51, 2000.
- DOS ANJOS, R. E. A educação escolar de adolescentes e a formação dos conceitos científicos. **Temas em Educação e Saúde**, v. 7, 2011.
- EDENS, K. M. Preparing Problem Solvers for the 21st Century through Problem-Based Learning. **College Teaching**, v. 48, n. 2, p. 55-60, abr. 2000.
- FERRAZ, A. P. DO C. M.; BELHOT, R. V. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 2, p. 421-431, 2010.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **Lições de física: the Feynman lectures on physics**. Porto Alegre (RS): Bookman, 2008. v. 1

GALANTE, A. C. et al. A vinbeta como estratégia de coleta de dados de pesquisa em enfermagem. **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 11, n. 3, p. 357-363, jun. 2003.

GASPAR, A.; MONTEIRO, I. C. DE C. Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 2, p. 227-254, 2005.

HMELO-SILVER, C. E.; EBERBACH, C. Learning Theories and Problem-Based Learning. In: BRIDGES, S.; MCGRATH, C.; WHITEHILL, T. L. (Eds.). **Problem-Based Learning in Clinical Education: The Next Generation**. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012. p. 3-17.

HUNG, W. The 3C3R Model: A Conceptual Framework for Designing Problems in PBL. **Interdisciplinary Journal of Problem-Based Learning**, v. 1, n. 1, 22 maio 2006.

HUNG, W.; JONASSEN, D. H.; LIU, R. Problem-based learning. **Handbook of research on educational communications and technology**, v. 3, p. 485-506, 2008.

MOREIRA, M. A. **Teorias de aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, EPU, 2011.

MORTIMER, E. F. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 1, n.1, p. 20-39, 1996.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física básica: fluidos, oscilações e ondas, calor**. 4. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 2002. v. 2

OSTERMANN, F.; REZENDE, F. Projetos de desenvolvimento e de pesquisa na área de ensino de ciências e matemática: Uma reflexão sobre mestrados profissionais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 26, n. 1, 19 maio 2009.

PASSOS, J. C. Os experimentos de Joule e a primeira lei da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, p. 3603.1-3603.8, set. 2009.

PEREIRA, A. P. DE; LIMA JUNIOR, P. Implicações da perspectiva de Wertsch para a interpretação da teoria de Vygotsky no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 31, n. 3, p. 518, 12 maio 2014.

- PIETROCOLA, M. Construção e realidade: o papel do conhecimento físico no entendimento do mundo. In: **Ensino de física: metodologia e epistemologia em uma concepção integradora**. Florianópolis, SC: Ed. da UFSC, 2006. p. 236.
- PIETROCOLA, M. et al. **Física: conceitos e contextos: pessoal, social, histórico: energia, calor, imagem e som: 2**. 1. ed. São Paulo: FTD, 2013. v. 2
- PIETROCOLA, MAURICIO PINTO DE OLIVEIRA et al. **Física: conceitos e contextos: pessoal, social, histórico**. 1. ed. São Paulo: FTD, 2013.
- PINHEIRO, T. DE F.; PIETROCOLA, M.; FILHO, J. DE P. A. Modelização de variáveis: uma maneira de caracterizar o papel estruturador da Matemática no conhecimento científico. In: **Ensino de física: metodologia e epistemologia em uma concepção integradora**. Florianópolis, SC: Ed. da UFSC, 2006. p. 236.
- PINHO, S. T. R. A., R. F. S. **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador, BA: EDUFBA, 2011.
- POZO, J. I.; CRESPO, M. Á. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências: do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.
- REGO, T. C. **Vygotsky: uma perspectiva histórico-cultural da educação**. Petrópolis: Vozes, 2009.
- RIBEIRO, L. R. DE C. Aprendizagem baseada em problemas (PBL) na educação em engenharia. *Revista de Ensino de Engenharia*, v. 27, n. 2, p. 23-32, 2008.
- ROSA, C. W.; ROSA, Á. B. Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 4, p. 18, 2005.
- SÃO PAULO, E. **Currículo do Estado de São Paulo: Ciências da Natureza e suas tecnologias**, 2010.
- SILVA, P. P. S.; KALHIL, J. B. Uma discussão sobre a utilização da Problem Based Learning (PBL) no ensino da Física para o nível médio. v. 2, p. 22072, 2015.
- SOUZA, S. C. DE; DOURADO, L. **HOLOS**, v. 5, p. 182, 1 out. 2015.

TATAR, E.; OKTAY, M. The effectiveness of problem-based learning on teaching the first law of thermodynamics. **Research in Science & Technological Education** v. 29, n. 3, p. 315-332, nov. 2011.

VIENNOT, L. Reasoning in Physics - The part of common sense. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004.

VIGOTSKY, L. S. **Pensamento e linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2005.

VIOLA, D. T. D. Vygotsky com Lacan: considerações sobre a formação dos conceitos na adolescência. **Psicologia USP**, v. 28, n. 3, p. 432-440, dez. 2017.

WERTSCH, J. V. Computer Mediation, PBL, and Dialogicality. **Distance Education**, v. 23, n. 1, p. 105-108, maio 2002.

ZABALA, A.; ROSA, E. F. DA F.; FARENZENA, N. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: ARTMED, 2007.

Apêndice B

QUESTIONÁRIO PARA AUTOAVALIAÇÃO

ORIENTAÇÕES: Caro estudante, nesta autoavaliação você deverá atribuir um julgamento que melhor representam o seu grau de desempenho e de seus colegas de grupo para cada habilidade listada a seguir. Somente o professor terá acesso a sua autoavaliação. 1. INSUFICIENTE 2. RAZOÁVEL 3. BOM 4. EXCELENTE	MEMBROS DO GRUPO				
HABILIDADES RELACIONADAS À INVESTIGAÇÃO E SOLUÇÃO DO PROBLEMA					
1. Fazer perguntas/observações que ajudem a interpretar o problema					
2. Formular hipóteses para a solução/investigação do problema					
3. Procurar estabelecer uma relação lógica entre as hipóteses levantadas					
4. Procurar por fontes de informação confiáveis para a pesquisa					
5. Pesquisar por diversas fontes de informação					
6. Ser questionador durante o processo de investigação					
7. Abordar o problema com ideias objetivas, eficientes					
8. Fazer deduções/previsões a partir das informações obtidas					
9. Estabelecer conexões entre as informações obtidas pelo grupo					
10. Interpretar as informações obtidas e propor soluções para o problema					
HABILIDADES RELACIONADAS AO TRABALHO EM GRUPO					
1. Respeitar a fala/leitura dos demais integrantes do grupo					
2. Assumir postura ativa nas discussões em grupo					
3. Clareza durante a comunicação de suas propostas					
4. Ser responsável com as tarefas que lhe foram atribuídas					
5. Comunicar o que foi aprendido com os outros integrantes do grupo					
6. Escutar, respeitar e avaliar as opiniões contrárias					
7. Saber dividir as tarefas; não ser individualista					
8. Encorajar os demais integrantes a se envolverem com o problema					
9. Contribuir com a elaboração do relatório de pesquisas					
10. Contribuir com o grupo para a apresentação da solução do problema					

Fonte: Adaptado de Tatar e Oktay (2011).

Apêndice C

QUESTIONÁRIO 1 DE AVALIAÇÃO DAS AULAS

Questionário de Avaliação	CONCORDO TOTALMENTE	CONCORDO PARCIALMENTE	INDIFERENTE	DISCORDO PARCIALMENTE	DISCORDO TOTALMENTE
A seguir estão listados 25 assertivas referentes às aulas com o método PBL (Aprendizagem Baseada em Problemas).					
Marque um X segundo o seu grau concordância com cada assertiva					
1. A aprendizagem foi mais dinâmica, ativa					
2. O ensino não estava centrado no professor					
3. Eu já tinha algum conhecimento sobre o tema "energia"					
4. Meus conhecimentos anteriores sobre "energia" foram aperfeiçoados					
5. Refleti sobre a maneira como eu mesmo aprendo					
6. Estudei sozinho fora do período escolar					
7. Pude refletir sobre o tempo que eu preciso para aprender					
8. Passei a analisar melhor as informações que chegam até mim					
9. O que aprendi será útil no meu percurso profissional ou social.					
10. Agora tenho mais confiança para tomar decisões diante de um problema					
12. Estudei conceitos específicos de Física que tratam sobre o tema "energia"					
13. A linguagem do texto (reportagem) era de fácil compreensão					
14. O problema apresentado foi interessante					
15. Apliquei conhecimentos que já possuía na solução do problema					
16. O problema proposto era muito difícil					
17. O problema permitiu várias formas de solução					
18. Eu não soube qual era a minha função dentro do grupo					
19. Prefiro as aulas tradicionais					
20. O professor soube responder as dúvidas do grupo					
21. As sugestões do professor foram importantes para a nossa estratégia de pesquisa					
22. O professor não estava preparado para atender vários grupos simultaneamente					
23. O tempo de atendimento do professor com o nosso grupo foi suficiente					
24. A quantidade de aulas destinadas para a resolução do problema foi suficiente					
25. Os espaços utilizados na escola foram adequados					

Fonte: Adaptado de Ferreira e Coelho (2016)

- Legenda:
- Questões relativas à percepção dos alunos quanto a aprendizagem
 - Questões relativas à qualidade do problema
 - Questões relativas à atuação do professor como tutor e do formato das aulas

Apêndice D

QUESTIONÁRIO 2 DE AVALIAÇÃO DAS AULAS

<u>Questionário de Avaliação</u>	CONCORDO TOTALMENTE	CONCORDO PARCIALMENTE	INDIFERENTE	DISCORDO PARCIALMENTE	DISCORDO TOTALMENTE
A seguir estão listados 25 assertivas referentes às aulas com o método PBL (Aprendizagem Baseada em Problemas). Marque um X segundo o seu grau concordância com cada assertiva					
1. A aprendizagem foi mais dinâmica, ativa					
2. O ensino não estava centrado no professor					
3. Eu já tinha algum conhecimento sobre o tema “Termodinâmica”					
4. Meus conhecimentos anteriores sobre Termodinâmica foram aperfeiçoados					
5. Refleti sobre a maneira como eu mesmo aprendo					
6. Estudei sozinho fora do período escolar					
7. Pude refletir sobre o tempo que eu preciso para aprender					
8. Passei a analisar melhor as informações que chegam até mim					
9. O que aprendi será útil no meu percurso profissional ou social.					
10. Agora tenho mais confiança para tomar decisões diante de um problema					
11. Saberei iniciar um novo processo de investigação diante de um novo problema					
12. Estudei os conceitos de temperatura, pressão, calor, trabalho e energia interna					
13. A linguagem do texto (reportagem) era de fácil compreensão					
14. O problema apresentado foi interessante					
15. Apliquei conhecimentos que já possuía na solução do problema					
16. O problema proposto era muito difícil					
17. O problema permitiu várias formas de solução					
18. Eu não soube qual era a minha função dentro do grupo					
19. Prefiro as aulas tradicionais					
20. O professor soube responder as dúvidas do grupo					
21. As sugestões do professor foram importantes para a nossa estratégia de pesquisa					
22. O professor não estava preparado para atender vários grupos simultaneamente					
23. O tempo de atendimento do professor com o nosso grupo foi suficiente					
24. A quantidade de aulas destinadas para a resolução do problema foi suficiente					
25. Os espaços utilizados na escola foram adequados					

Fonte: Adaptado de Ferreira e Coelho (2016)

- Questões relativas à percepção dos alunos quanto a aprendizagem
 Legenda: Questões relativas à qualidade do problema
 Questões relativas à atuação do professor como tutor e do formato das aulas

Apêndice E

TERMO DE CONSENTIMENTO

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (Resolução 466/2012 do CNS)

APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS: UM ROTEIRO PARA O ENSINO DE TERMODINÂMICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Eu, Bruno Arena Barros, estudante do Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Polo UFSCar – Sorocaba, o(a) convido a participar da pesquisa APRENDIZAGEM BASEADA EM PROBLEMAS: UM ROTEIRO PARA O ENSINO DE TERMODINÂMICA NA EDUCAÇÃO BÁSICA orientada pela Profª Drª Maria José Fontana Gebara.

Leve este Termo para casa e leia atentamente junto ao seu responsável antes de decidir participar. Se houver dúvidas antes ou mesmo depois de assiná-lo, você poderá esclarecê-las com o professor responsável pela pesquisa. Não haverá nenhum tipo de penalização ou prejuízo se você não aceitar participar ou retirar sua autorização em qualquer momento. Neste caso, o aluno participará das aulas normalmente, mas as suas informações não serão coletadas para análise. Sua participação é voluntária e não haverá compensação em dinheiro por ela.

A pesquisa em questão visa coletar dados do aluno a fim de avaliar a sua aprendizagem quando exposto a metodologia denominada de Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP). Trata-se de uma metodologia dinâmica, não centrada na figura do professor, mas atribui ao aluno, e ao trabalho em grupo, a responsabilidade pelo processo de construção do próprio conhecimento. O professor atua no direcionamento do aprendizado do aluno, ajudando-o a desenvolver suas potencialidades e solucionando os possíveis conflitos decorrentes do trabalho coletivo. A pesquisa visa também avaliar a eficiência da ABP quanto método de ensino para o conteúdo disciplinar de Física, especificamente a Termodinâmica.

Você foi selecionado (a) por ser aluno (a) regularmente matriculado na segunda série do Ensino Médio na (informação omitida para garantir a privacidade dos participantes), onde Bruno Arena Barros é docente titular de cargo e leciona a disciplina de Física. A coleta de dados consiste, primeiramente, na análise das respostas do aluno a um questionário com questões de múltipla escolha sobre suas convicções relacionadas aos fenômenos térmicos cotidianos. Posteriormente, o aluno será incluído em um grupo com outros alunos da mesma turma. À medida que a metodologia da ABP for aplicada em sala de aula, tanto o desempenho do aluno dentro do grupo quanto o desempenho do grupo em geral, serão avaliados pelo professor por meio de relatórios e instrumentos avaliativos, como testes, provas, apresentações etc. Ao final da aplicação da metodologia, o aluno será submetido a um novo teste a fim de comparar a sua evolução de seu aprendizado relativo à Termodinâmica.

Sua participação nessa pesquisa auxiliará na obtenção de dados que poderão ser utilizados para fins acadêmicos, proporcionando maiores informações e discussões que poderão trazer benefícios para a área de Ensino de Física, para a construção de novos conhecimentos e para a identificação de novas alternativas e possibilidades para o trabalho de outros professores.

Todas as informações obtidas através da pesquisa serão confidenciais, sendo assegurado o sigilo sobre a participação do aluno em todas as etapas do método. Não há riscos envolvidos identificáveis nesta pesquisa.

Caso o aluno ou o seu responsável legal tiver qualquer problema ou dúvida no decorrer da pesquisa poderão comunicar-se com Bruno Arena Barros, na Rua (informação omitida para garantir a privacidade dos participantes).

Após ter recebido esclarecimentos sobre a natureza da pesquisa, seus objetivos, métodos, benefícios previstos, potenciais riscos e o incômodo que esta possa acarretar, aceito participar e declaro estar recebendo uma via original deste documento assinada pelo pesquisador e por mim, tendo todas as folhas por nós rubricadas:

Nome do (a) participante: _____

Nome do (a) responsável legal _____ Data: ____/____/____.

(Assinatura do RESPONSÁVEL LEGAL)

Asseguro, também, ter explicado e fornecido uma via deste documento ao participante.

(Assinatura do pesquisador) Data: / / .

Anexo A

APRESENTAÇÃO DO GRUPO 1, TURMA A

1

“O sino da morte”

Resolução do problema

2

Primeiras hipóteses

- Petróleo
- Cavernas vulcânicas
- Pressão

3

Identificando o problema:

- O tipo de embarcação usada que foi frisado desde o início da narrativa (embarcação à vapor com roda de pás)
- O sino de mergulho.
- Como ele estava ligado ao barco.
- A movimentação do barco e a ligação do motor com o sino ainda submerso.

4

[...]”Por exemplo, uma máquina utiliza energia para realizar trabalho e nesse processo a máquina aquece. Ou seja, a energia mecânica está sendo degradada em energia térmica.”

5

Segunda lei da termodinâmica

A tendência do calor é passar de um corpo mais quente para um mais frio, e nunca no sentido oposto.

De acordo com essa lei da termodinâmica, num sistema fechado, a entropia nunca diminui. Isso significa que, se o sistema está inicialmente num estado de baixa entropia (organizado), tenderá espontaneamente a um estado de entropia máxima (desordenado). Por exemplo, se dois blocos de metal a diferentes temperaturas são postos em contato térmico, a desigual distribuição de temperatura rapidamente dá lugar a um estado de temperatura uniforme à medida que a energia flui do bloco mais quente para o mais frio. Ao atingir esse estado, o sistema está em equilíbrio e exteriormente comandado.

6

Conclusões finais:

- Haddock não é necessariamente culpado pela morte dos dois mergulhadores, pois ela foi uma consequência física, e ele provavelmente não tinha noção das consequências de suas ações diante da movimentação de Matilda Briggs com os mergulhadores submersos.

Anexo B

APRESENTAÇÃO DO GRUPO 2, TURMA A

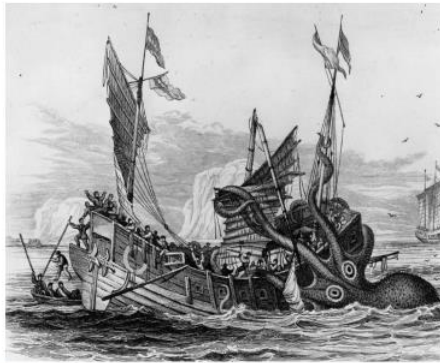
Por que descartamos a hipótese de que o kraken não existe

1. No texto está falando que o barco está localizado em um estuário.
 - Um **estuário** é um ambiente aquático de transição entre um **rio** e o **mar**. Um estuário sofre a influência das **marés** e apresenta fortes gradientes ambientais, desde águas doces próximas da sua cabeceira, águas **salobras**, e águas marinhas próximo da sua desembocadura.



2. O Kraken na mitologia nórdica se encontra no fundo do mar.
 - O **Kraken** era uma espécie de **lula**, que ameaçava os navios no folclore **nórdico**. Este **cefalópode** tinha o tamanho de uma ilha e cem tentáculos, acreditava-se que habitava as águas profundas do **Mar da Noruega**.

3. O kraken era conhecido por destruir embarcações, então por que ele só mataria duas pessoas em um sino? e como ele as mataria queimados?



Nossa solução para o caso

Como o barco era antigo trabalhamos com a hipótese de que a bomba que mandava oxigênio para o sino de mergulho era manual, e conforme a pessoa mandasse mais ar as moléculas se aqueciam.

*Usamos como exemplo um pneu

Quanto mais cheio estiver o pneu, maior será a pressão interna, e maior a resistência para que você bombeie mais ar, a cada vez que você bombeia o ar no pneu, a bomba aquece principalmente porque você está forçando as moléculas de ar que ficam mais próximas umas das outras, fazendo com que esse trabalho de compressão do gás (negativo) aumente a energia interna (ΔU) e aquecendo consequentemente a bomba.