

PBL

NO ENSINO MÉDIO

**MÓDULO DE TERMODINÂMICA
+ GUIA PARA O PROFESSOR**

Bruno A. Barros

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

O autor.

Este material foi produzido no Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba (PROFIS-So), sob orientação da Profa. Dra. Maria J. F. Gebara e com o apoio da CAPES.

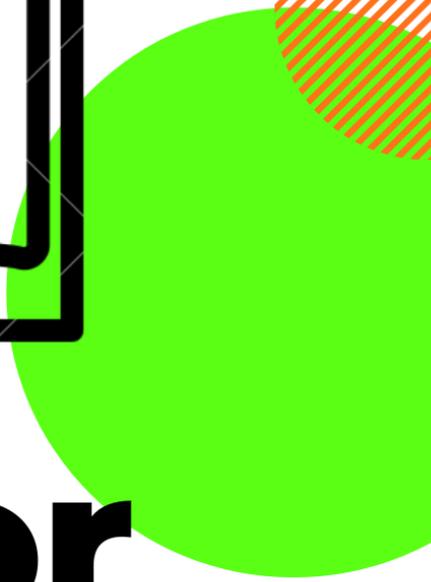
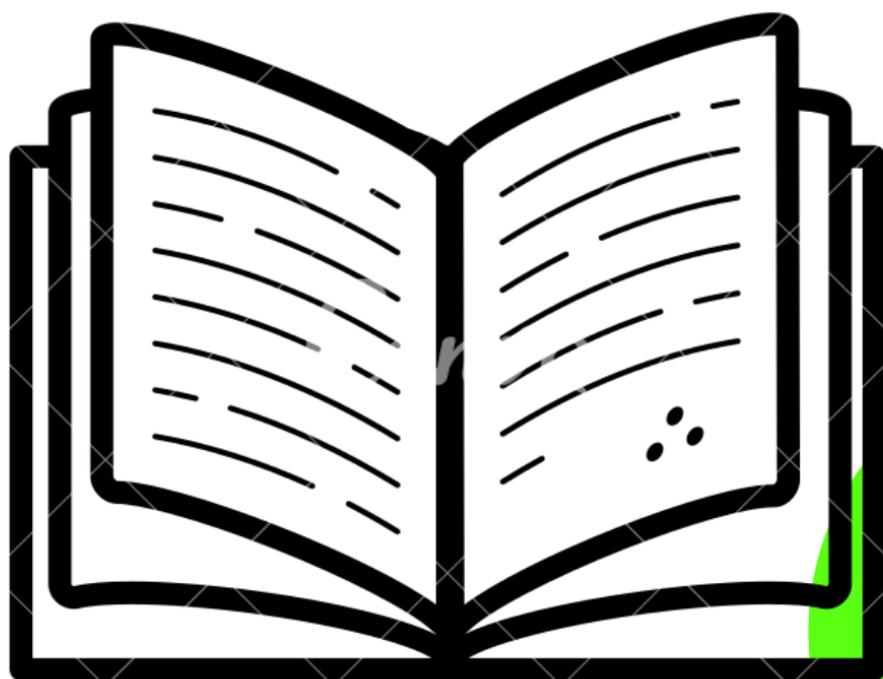
Março de 2020

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

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).

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).

completamente na PBL ou tê-lo dentro de uma sequência didática (BARROWS, 1986; 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 (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 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. Consequentemente, 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 reproduzidor 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*³ (BARROWS, 1996; HUNG; JONASSEN; LIU, 2008; SOUZA; DOURADO, 2015)

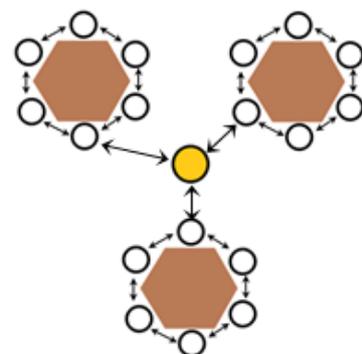
A função do professor tutor é sugerir quais estratégias poderão ser utilizadas pelos estudantes a fim de obter resultados satisfatórios; além de agir como um facilitador durante as tomadas de decisão ao expressar suas opiniões e predições (TATAR; OKTAY, 2011).

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 1.1: 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.

³ 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 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 construírem 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.

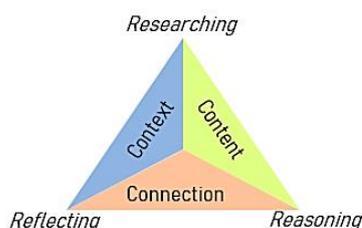
Devido à importância da situação-problema, pesquisadores em PBL têm sugerido algumas orientações para se elaborar problemas eficazes (HUNG; JONASSEN; LIU, 2008). Recomenda-se que o problema esteja relacionado com algum aspecto do cotidiano dos estudantes, pois assim os alunos são estimulados a se envolverem 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 o 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 cultural⁵ (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

⁵ 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, 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).

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 - semelhantemente 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 eliciar 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 APBL 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



IOP Institute of Physics

Pressione Ctrl+clique sobre os ícones acima e saiba mais sobre a PBL no Ensino de Física!

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 Liev 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 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 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 hão 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 conceitual⁹. 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

⁹ 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, mencionase o projeto da *Energia Universal* e a empresa *RAR Energia*; na Irlanda, a empresa *Steorn*.

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 Steorn, 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 Steorn, 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

Figura 2.1: A fábula *Um pesadela*, que abre o livro *De Sol a Sol*, mostra como o nosso grau de civilidade está relacionada ao acesso que temos às fontes de energia e nos deixa apreensivos sobre o por vir, caso ocorra uma crise energética.



Fonte: Silva, 2010.

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 *Sol a Sol*, 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 anticiência

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, sabe-se, 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 anticientífico 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/profiles/94a192181f72/editions/8d86095a0354352b8d27>

A 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:

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

Como $T_{quente} > T_{fria}$, 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:

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

Para uma máquina de Carnot que opera entre a fontes 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 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 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, precisará 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 (projeter, 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.



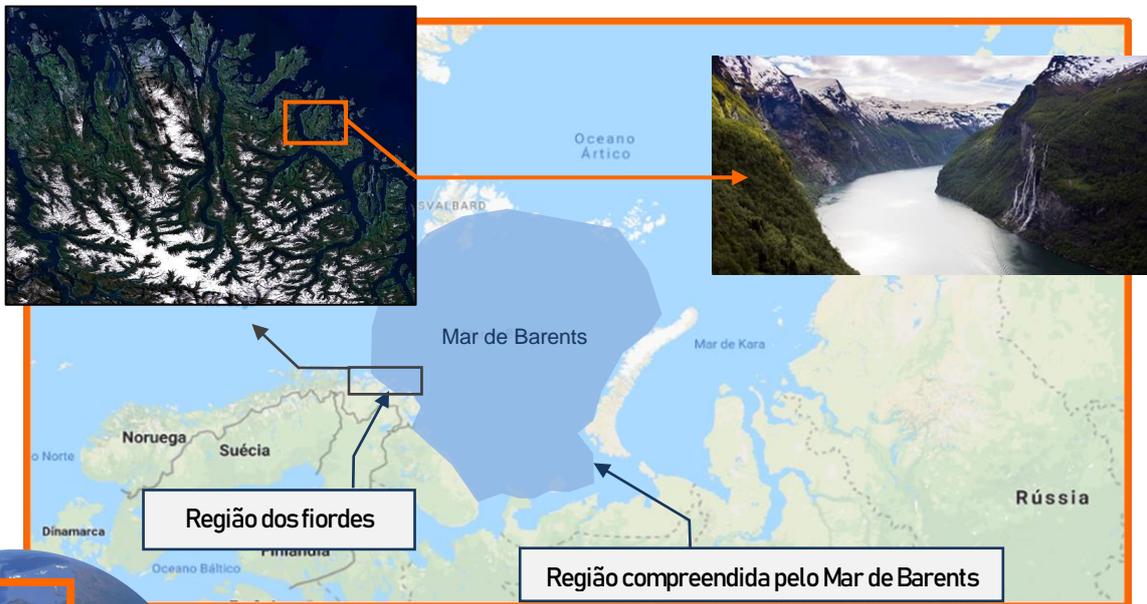
Objetivos de aprendizagem

1. Pesquisar sobre a geografia do local;
2. Desmistificar a lenda do kraken;
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 3.1 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.



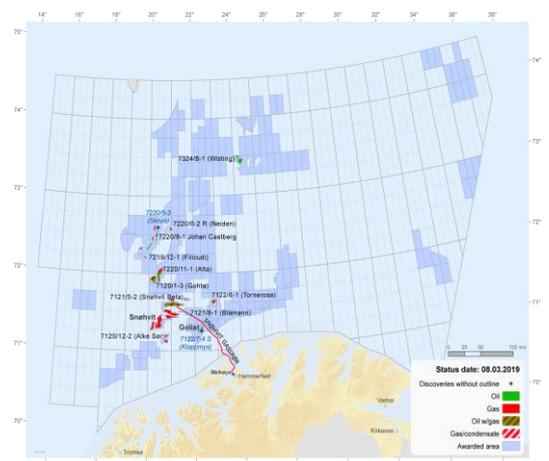
Fonte: Newscientist

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.

Figura 3.4: O Kraken atacando um marinheiro



Fonte: commons.wikimedia.org.

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.

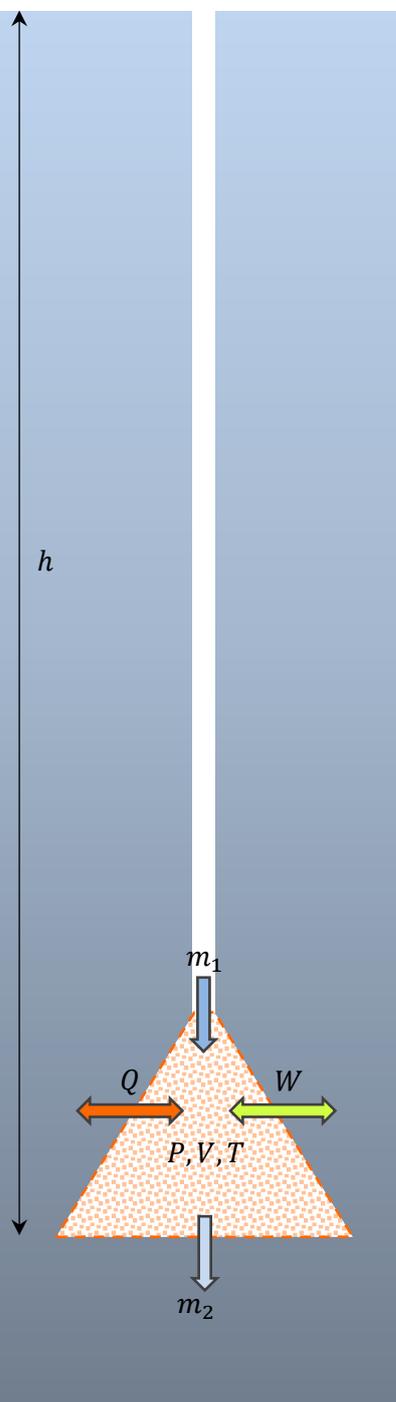
Para isso sugerimos outro vídeo [9] que demonstra como o aumento da profundidade, H , durante o mergulho resulta no aumento da pressão, p , do ar aprisionado no interior de um balde, e, na diminuição de seu volume, V . Como este vídeo oferece os valores da pressão e volume do ar em função da profundidade, 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).

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

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.

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.

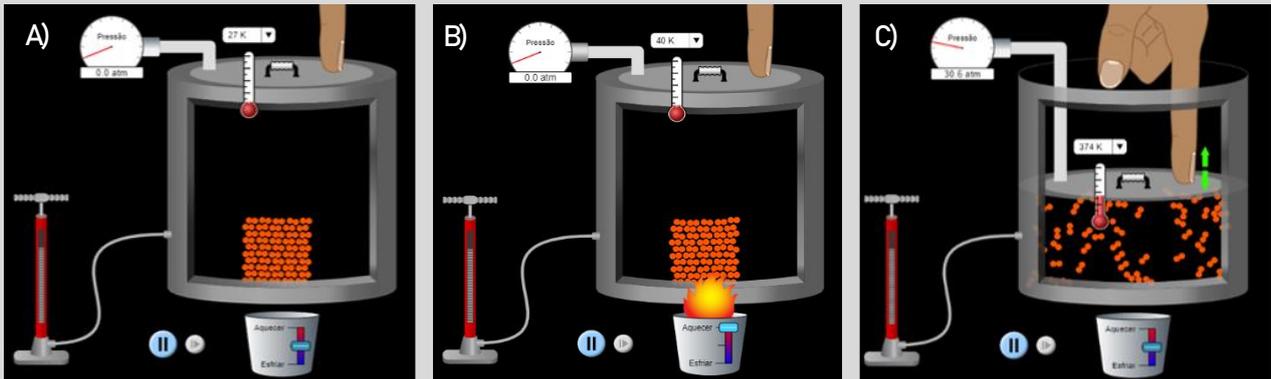
Entretanto, podemos simplificar o sistema ao admitirmos as seguintes condições: i) Para contrapor o aumento da pressão hidrostática sobre o sistema é necessário que não ocorra a saída de massa de ar, ou seja, $m_2 = 0$; ii) Com efeito, o volume do sistema permanece constante, logo $W = 0$; iii) Desprezamos 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).

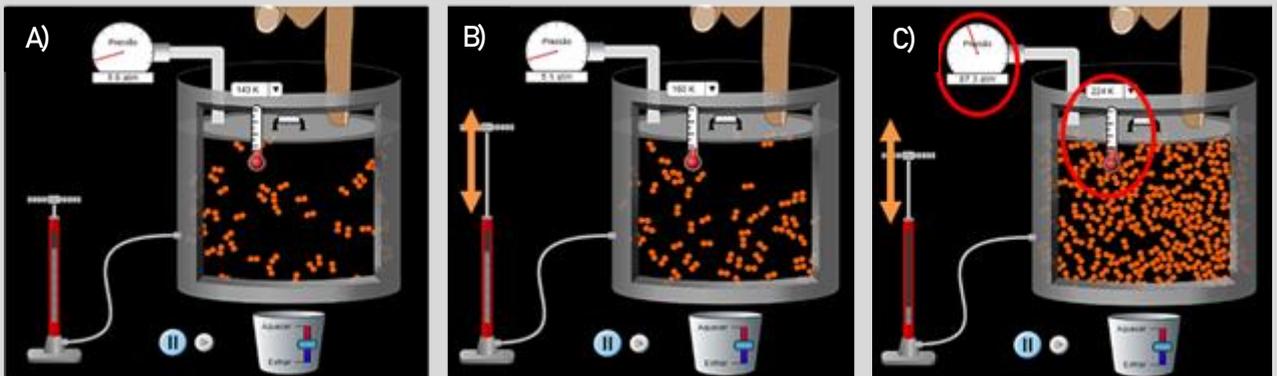
Portanto, a energia de fluxo (referente ao trabalho realizado para adicionar à massa de gás ao sistema) é convertida no aumento da energia interna do sistema, e, conseqüentemente, no aumento de sua temperatura, sendo essa a causa da morte dos mergulhadores por insolação.

Figura 3.6: Simulação do sistema bomba de ar- sino de mergulho. A) Tela inicial do simulador *Mudança de Fase*, B) 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.



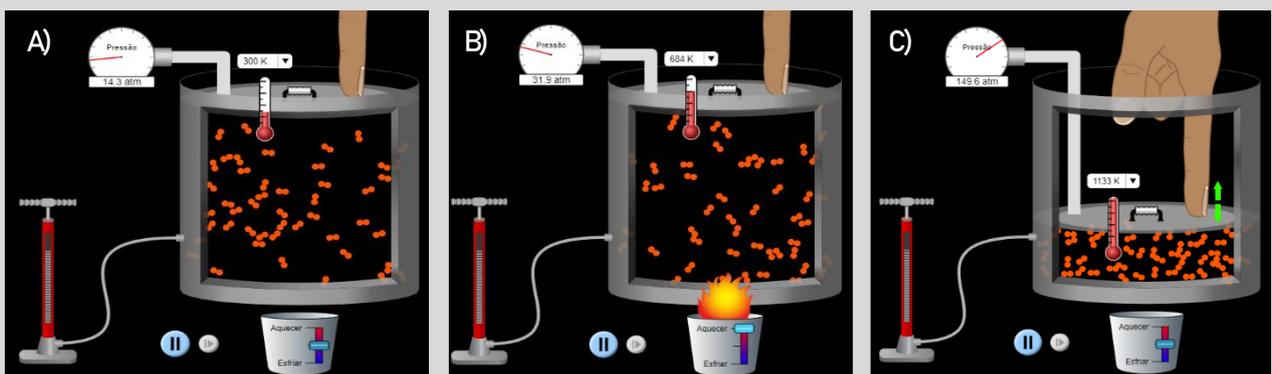
Fonte: PHET Colorado.

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. B) Acionamos a bomba com o mouse para que mais moléculas do gás sejam inseridas no recipiente. C) Com o aumento da quantidade de moléculas os instrumentos do simulador (termômetro e barômetro) indicam o aumento da temperatura e pressão do gás.



Fonte: PHET Colorado.

Figura 3.8: Simulação equivalente com um sistema fechado. A) Tela inicial. B) 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: PHET 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

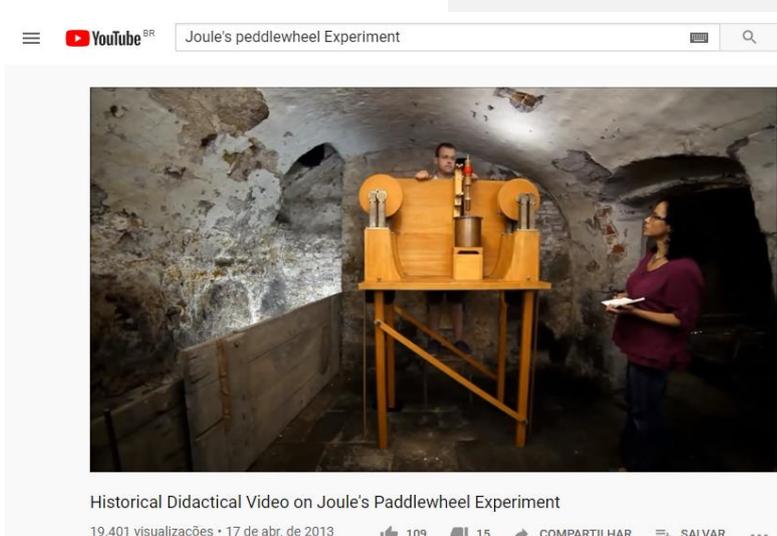
energia (mecânica ou elétrica) e, em todos eles, obteve valores muito próximos para essa relação; conhecida como *equivalente mecânico da caloria*. Atualmente, o valor aceito para o equivalente mecânico da caloria é de $W/Q = 4,186 J/cal$ (BRUHAT, 1966; PASSOS, 2009).

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 fluíu 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]





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:

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

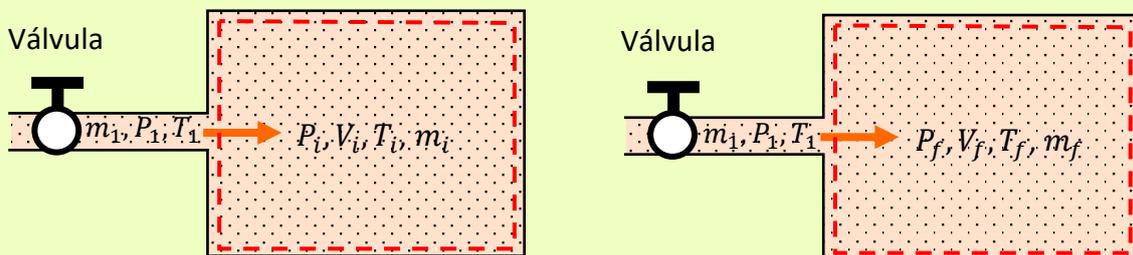
onde o índice 1 corresponde à energia que entra no sistema, e o índice 2 à energia que sai do do VC; o termo entre parênteses corresponde à taxa da energia por escoamento de massa do fluido, composto pela energia interna (u), pelo trabalho de fluxo (pv), energia potencial (mgz) e cinética ($mV^2/2$) 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 (ÇENGEL; 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:

$$m_f u_f - m_i u_i = (m_f - m_i) h_1$$

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. 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_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.

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

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

e

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

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:

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

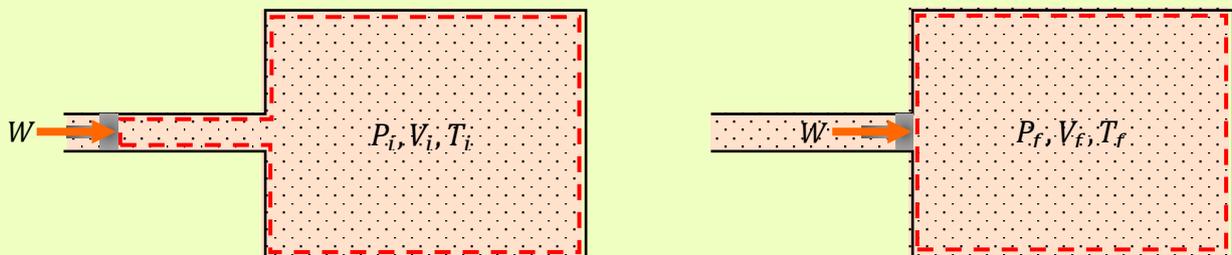
Ao substituírmos esses resultados na Equação 20, temos que $m_f = 2,51 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$. A partir da equação de estado do gás ideal, temos:

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

ou seja, $T_f = 32,9^\circ \text{C}$. 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_i , como um único sistema, conforme mostra a figura abaixo. (ÇENGEL; 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 ÇENGEL; 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.

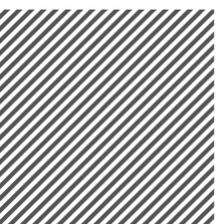
A partir das impressões do professor durante a aplicação do problema anterior e da literatura sugerida sobre manejo de grupos, espera-se que no segundo problema o desempenho dos grupos tutoriais seja maior em relação à aplicação do primeiro problema. Com efeito, Atividade 1 tenderá a ser mais objetiva.

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 secretário*, 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 ("*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.

Fonte: Borges *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.).

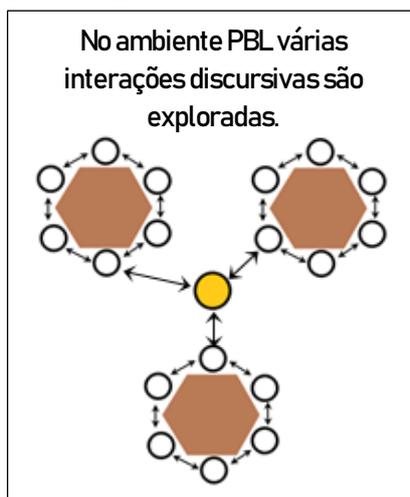
A solução do problema deverá sintetizar o conjunto de ideias e a sistematização do processo de investigação e ser apresentado (slides pelo grupo). Alternativamente temos a apresentação de projetos que representem ou complementem a solução do problema

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.

GALILEU



Assine Galileu
por apenas R\$
8,90 ao mês

AMPLIAR CAPA >

HOME NOTÍCIAS GALERIAS VÍDEOS BLOGS CULONISTAS REVISTA ASSINE PRINCÍPIOS EDITORIAIS

comente (11) | envie por e-mail | compartilhe | imprima

tamanho do texto AA

reportagem / moto-contínuo

Infinita busca pela energia infinita

por Alexandre Rodrigues

ASSINE GALILEU
POR APENAS R\$ 8,90
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 Cleriston 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. Teme que espíões 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.

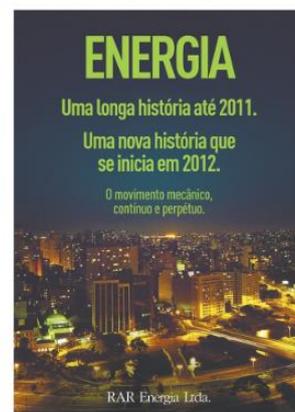
Funcione ou não, a dupla brasileira não está sozinha. Encontrar a fonte de energia eterna é um dos capítulos mais peculiares — e fracassados até agora — da história da ciência. Mesmo com descrédito acadêmico e histórico desfavorável, hoje não faltam inventores com promessas iguais.



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 funcionar? “Para começar, teríamos que reescrever os livros de física”, Jeferson Arenzon, professor do instituto de Física da UFRGS. “Não teria mais problema de energia e, por consequência, de fome” e esses inventores, afirma Jeferson, 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 teimam 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

Balela

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 | Aguanil | 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 hidroelétrica 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-contínuo. 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,

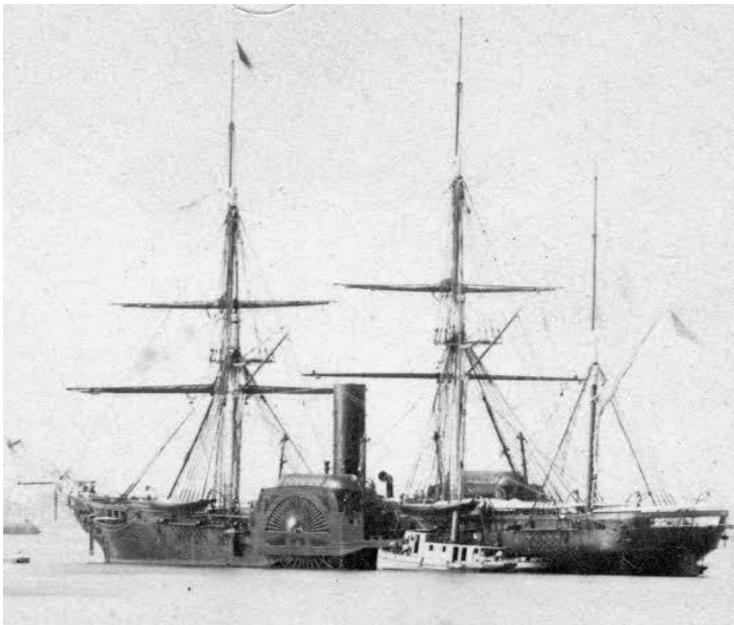
mangueiras etc., Morrison e sua tripulação zarparam de Lowestoft, Inglaterra, em direção ao destino.

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

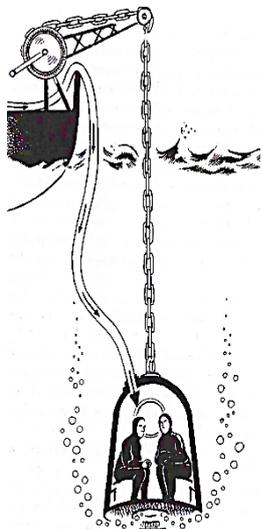


Fonte: commons.wikimedia.org

A *Enola Green*. Embarcação a vapor movida por roda de pás.

submergia 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.

Fonte: BRUCE, BORGES, CHERMAN; 2002



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 içassem 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 calórico 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.

Fonte: <https://br.pinterest.com/pin/155303887174754004/>



Capitão Morrison (1797-1859)

AVALIAÇÃO GRUPAL

MEMBROS DO GRUPO

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 |

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

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 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.

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, C. G. DA. **De sol a sol: energia no século XXI.** São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

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.

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.