

A modelagem de Hestenes e o ensino de termodinâmica: uma proposta de sequência didática inclusiva para surdos

Renata Belmudes Schneider¹

Jéssica Guerreiro Valuthky²

Alex Bellucco³

Resumo: Este trabalho propõe uma Sequência Didática (SD) inclusiva, abordando conteúdos de Termodinâmica para estudantes surdos de classes comuns da segunda série do Ensino Médio. Trata-se de uma pesquisa teórica, em que a proposta está fundamentada na teoria da modelagem científica de Mario Bunge e estruturada metodologicamente segundo os ciclos de modelagem apresentados por David Hestenes, os quais podem ser divididos em dois estágios: o desenvolvimento do modelo e implementação dele a partir de situações problemas. Por esta via, a SD poderá favorecer a participação ativa dos discentes no processo de ensino-aprendizagem, tendo em vista que, a modelagem explora o espaço-visual característico da Língua Brasileira de Sinais - Libras, possibilita a explicitação das concepções prévias, permite a elaboração e o teste de hipóteses, a manipulação de materiais concretos, assim como, a visualização de fenômenos, propiciando a evolução conceitual e o reconhecimento do conteúdo em situações do cotidiano.

Palavras-chave: Modelos. Modelagem. Inclusão. Surdos. Termodinâmica.

The modeling of Hestenes and the teaching of thermodynamics: an inclusive teaching sequence proposal for the deaf

Abstract: This work propose an inclusive Didactic Sequence (DS), covering Thermodynamics content for deaf students in common classes in the second year of high school. This is theoretical research, in which the proposal is based on Mario Bunge's theory of scientific modeling and methodologically structured according to the modeling cycles presented by David Hestenes, which can be divided into two stages: the development of the model and its implementation based on problem situations. In this way, SD can favor the active participation of students in the teaching-learning process, considering that modeling explores the visual space characteristic of the Brazilian Sign Language - Libras, enables the explanation of previous conceptions, allows the elaboration and testing of hypotheses, the manipulation of concrete materials, as well as the visualization of phenomena, providing conceptual evolution and the recognition of content in everyday situations.

Keywords: Models. Modeling. Inclusion. Deaf. Thermodynamics.

La modelación de Hestenes y la enseñanza de la termodinámica: una propuesta de secuencia didáctica inclusiva para sordos

Resumen: Este trabajo tiene como objetivo proponer una Secuencia Didáctica (DS) inclusiva, que abarque contenidos de Termodinámica para estudiantes sordos en

¹ Universidade do Estado de Santa Catarina – Santa Catarina, Brasil. ✉ schneiderrenata10@gmail.com 
<https://orcid.org/0000-0002-1671-1339>.

² Universidade do Estado de Santa Catarina – Santa Catarina, Brasil. ✉ jessicavaluthky@gmail.com 
<https://orcid.org/0000-0002-9775-2297>.

³ Universidade do Estado de Santa Catarina – Santa Catarina, Brasil. ✉ alexbellucco@gmail.com 
<https://orcid.org/0000-0002-1478-7735>.

clases comunes de segundo año de secundaria. Se trata de una investigación teórica, en la cual la propuesta se basa en la teoría del modelamiento científico de Mario Bunge y se estructura metodológicamente según los ciclos de modelamiento presentados por David Hestenes, la cual se puede dividir en dos etapas: el desarrollo del modelo y su implementación en base a situaciones problemáticas. De esta manera, la SD puede favorecer la participación activa de los estudiantes en el proceso de enseñanza-aprendizaje, considerando que la modelación explora el espacio visual característico de la Lengua de Señas Brasileira - Libras, posibilita la explicación de concepciones previas, permite la elaboración y prueba de hipótesis, la manipulación de materiales concretos, así como la visualización de fenómenos, proporcionando la evolución conceptual y el reconocimiento de contenidos en situaciones cotidianas.

Palabras clave: Modelos. Modelado. Inclusión. Sordo. Termodinâmica.

1 Introdução

A partir da década de 1990, difundiu-se pelo mundo a defesa de uma política educacional inclusiva, voltada para igualdade de oportunidades e a valorização das diferenças dentro da escola (MATTOS, 2019). Entretanto, a Educação Inclusiva ainda se configura como uma meta a ser atingida e um desafio para os professores. A busca por uma didática inclusiva não é simples, exige a superação dos métodos pedagógicos tradicionais e o desenvolvimento de recursos e metodologias que efetivamente atendam às especificidades dos estudantes (CAMARGO, 2012).

Na área das Ciências da Natureza, em especial no Ensino de Física, há uma grande escassez de trabalhos que apresentam propostas de ensino voltadas à inclusão de alunos surdos (RAUTENBERG, 2017; MATTOS, 2019). Segundo Rautenberg (2017), o próprio ato de ensinar Física já é considerado desafiador, pois envolve a interpretação de conceitos complexos e abstratos. Contudo, no caso de estudantes surdos, esse processo se torna ainda mais delicado e outras dificuldades surgem, sendo a principal delas relacionada à comunicação.

A falta de audição não afeta nenhuma das capacidades intelectuais dos surdos, ela apenas altera a forma de mediar e comunicar informações. Dessa forma, a educação de surdos, particularmente nas classes comuns do ensino regular, reivindica ações didático-pedagógicas que considerem suas particularidades linguísticas e culturais. A lei 10.436 de 2002 regulamenta a Língua Brasileira de Sinais (Libras) como primeira língua dos surdos e o decreto nº 5.626 de 2005 assegura o direito a uma educação bilíngue, considerando Libras como sua primeira língua (L1) e como segunda língua (L2) a Língua Portuguesa (BRASIL, 2002, 2005).

Nessa perspectiva, percebe-se que o Ensino de Física centrado na oralidade, memorização e manipulação de fórmulas, que já é dificultoso para alunos ouvintes, é considerado inadequado também para turmas inclusivas, prejudicando e atrasando o desenvolvimento acadêmico e social dos estudantes surdos. Faz-se necessário, portanto, explorar diversos modos de comunicação para que todos os alunos tenham suas necessidades educacionais atendidas (RAUTENBERG, 2017).

Corroborando com esse pensamento, Bolzan e Leonel (2017) salientam que para a educação de surdos não basta somente traduzir o conteúdo para Libras, é necessário também apresentá-los utilizando toda potencialidade visual possível. Para isso, os docentes dispõem das chamadas Tecnologias Assistivas, um conjunto de recursos didáticos e pedagógicos que promovem a independência e a inclusão. Para educação de surdos, destaca-se o uso de experimentos, softwares educativos, simulações computacionais e outros dispositivos de representações visuais que auxiliam na contextualização e problematização dos conteúdos.

Apesar da existência desses instrumentos para mediação da construção do conhecimento científico e da presença de um profissional tradutor e intérprete de Libras em sala de aula, a relação entre a Física e a Língua Brasileira de Sinais é difícil de ser estabelecida, dada a falta de sinais que possam exemplificar os conceitos. Além disso, outro problema consiste no fato de o intérprete não possuir amplo conhecimento sobre todos os campos do saber, repassando para o aluno apenas aquilo que compreendeu da explicação do professor (RAUTENBERG, 2017).

Essas dificuldades tornam urgente a elaboração de propostas voltadas para o Ensino de Física que atendam às necessidades dos alunos surdos, colocando-os como protagonistas do processo de ensino-aprendizagem e, consequentemente, minimizando a barreira da comunicação. Nesse cenário, surge como alternativa o uso da modelagem científica. Mas como utilizá-la em classes comuns do ensino regular com estudantes surdos?

A modelagem desempenha um papel fundamental na Ciência e consiste na criação, validação e revisão de modelos científicos. Esses, por sua vez, "são representações simplificadas da realidade, confeccionadas com o intuito de descrever, analisar e explorar objetos ou fenômenos" (HEIDEMANN *et al.*, 2012, p. 969). De modo análogo, quando aplicada como estratégia didática, a modelagem

científica confere ao estudante autonomia para conhecer, construir e testar modelos e, em certa medida, refletir sobre a natureza da Ciência, ou seja, suas funções e limitações (BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2011).

No Ensino de Física, em especial, a modelagem científica, busca desenvolver atividades nas quais todos os estudantes são desafiados a construir múltiplas representações para uma mesma situação ou fenômeno, propiciando que testem seus próprios modelos, detectem e corrijam inconsistências de maneira autônoma (BRANDÃO; ARAUJO; VEIT, 2008). Logo, a modelagem científica pode beneficiar também alunos surdos, pois não reduz a aprendizagem unicamente a tradução do intérprete, e contorna a falta de sinais, uma vez que, coloca o aluno como protagonista da sua aprendizagem, interagindo diretamente com os fenômenos e conceitos envolvidos, permitindo uma melhor compreensão das leis, princípios e teorias relacionados aos diferentes campos da Física.

Refletindo sobre tais aspectos e visando um Ensino de Física acessível aos surdos, este trabalho parte de uma pesquisa teórica e propõe uma Sequência Didática (SD) inclusiva, abordando conteúdos de Termodinâmica para a segunda série do Ensino Médio. O objetivo central é fornecer uma abordagem que permita aos alunos surdos serem protagonistas do processo de ensino-aprendizagem e minimizar as barreiras de comunicação. Para isso a proposta está fundamentada na teoria da modelagem científica de Mario Bunge e estruturada metodologicamente segundo os ciclos de modelagem propostos por David Hestenes.

2 A modelagem científica na visão de Bunge e o Ensino de Ciências

Os modelos estão muito presentes nas diferentes áreas das Ciências da Natureza: na Física, os físicos constroem modelos explicativos para fenômenos como a gravidade e a corrente elétrica; na Química há modelos para representar a estrutura do átomo e de ligações químicas; na Biologia temos o modelo da célula, o modelo do DNA, entre outros. Dessa forma, percebe-se que a construção do conhecimento científico está diretamente relacionada à elaboração de modelos.

Bunge (1974) observa que o caráter teórico do conhecimento é a verdadeira medida do progresso científico nas sociedades modernas. Porém, por si só, as teorias não fornecem uma apreensão da realidade, pois são abstrações com

conteúdo amplo e complexo. Da mesma forma, o domínio empírico é igualmente incapaz de promover, sozinho, um avanço profundo em nosso conhecimento do mundo. É dessa aparente dicotomia que se origina o papel fundamental dos modelos na Ciência, entidades que proporcionam a mediação entre teoria e dados empíricos e possibilitam o desenvolvimento conceitual da realidade (PIETROCOLA, 1999).

Em outras palavras, na visão Bungeana, o processo de teorização da realidade é composto por três elementos fundamentais: a) teorias gerais; b) objetos-modelo; e c) modelos teóricos ou teorias específicas. Teorias gerais não se aplicam diretamente sobre a realidade, apesar do amplo conteúdo e do poder de operacionalização delas e, por isso, necessitam de simplificações e idealizações, ou seja, dependem dos objetos-modelo munidos de seus modelos teóricos para inferir sobre a realidade (PIETROCOLA, 1999; SILVA; CATELLI, 2020).

Os chamados objetos-modelo são idealizações de coisas ou fatos (reais ou supostamente reais) que o cientista pretende investigar. Eles são formulados por meio da razão, intuição e observação do cientista, que busca uma linguagem adequada para representar aspectos da realidade observada ou imaginada. Assim, embora a Ciência busque compreender objetos concretos, ela o faz criando elementos idealizados que o representem. Portanto, os objetos-modelo são, inevitavelmente, parciais e aproximativos. É possível propor objetos-modelo cada vez mais sofisticados, a fim de melhorar a aproximação com o referente real, mas não é possível testá-los a não ser que sejam incorporados em uma teoria geral, produzindo então um modelo teórico (MACHADO; CRUZ, 2011). Nas palavras de Bunge (1974, p. 36):

a comprovação de teorias gerais demanda a produção de teorias específicas [modelos teóricos]; por si mesmas, as teorias extremamente gerais como a teoria da informação, a teoria geral das máquinas, a mecânica clássica e a mecânica quântica são incomprováveis; o que se pode testar é uma teoria geral equipada de um objeto-modelo, em suma, um modelo teórico.

Para Bunge (1974), é o modelo teórico, às vezes também chamado de teoria específica, que permite ao cientista especificar as peculiaridades da coisa ou fato investigado e testar proposições sobre a realidade. Desse modo, tudo começa com a simplificação e a idealização da realidade, isto é, com a construção de um objeto-modelo. Depois, esse objeto-modelo é inserido em uma teoria geral e resulta em um

modelo teórico, que pode ser caracterizado como um sistema hipotético-dedutivo ou simulador do real (BUNGE, 1974).

Podemos ilustrar o exposto acima, analisando, por exemplo, o comportamento de um gás confinado em um recipiente. Inicialmente, são atribuídas determinadas características que, embora não sejam satisfeitas em um gás real, procuram representar os aspectos essenciais dele. Uma primeira aproximação consiste em desconsiderar as variações de energia durante as colisões entre as moléculas e a ação das forças eletromagnéticas entre elas. Além disso, deve-se considerar que o volume de cada molécula é nulo. Essas considerações compõem o que Bunge chama de objeto-modelo. Somente ao aplicarmos a Mecânica Clássica, para descrever o movimento das moléculas que compõem o gás ideal, é que obtemos um modelo teórico, conhecido como Teoria Cinética dos Gases (MACHADO; CRUZ, 2011).

Apesar de os modelos estarem no cerne da Ciência, no contexto escolar, raramente são utilizados como um recurso para construção do conhecimento. Ao analisarmos o Ensino de Ciências, podemos identificar claramente um distanciamento entre a maneira como ocorre o desenvolvimento do conhecimento científico e a forma como a escola apresenta os conteúdos que dele se originam. Enquanto a primeira se configura como um caminho para a compreensão da realidade, os conteúdos escolares são apresentados de maneira fragmentada, desconexos do cotidiano dos alunos e voltados para resolução de exercícios. Como consequência, as concepções de senso comum dos estudantes têm se mantido praticamente inalteradas, mesmo após o processo de escolarização (MACHADO; CRUZ, 2011). Nesse caso, a modelização pode constituir uma importante ferramenta para aprendizagem científica.

2.1 Os ciclos de modelagem de Hestenes

O processo de elaboração de novos modelos ou de apropriação dos já existentes e aceitos é denominado de modelização. Segundo Silva e Catelli (2020), o Ensino de Ciências nas escolas está baseado mais na descrição do que na investigação dos fenômenos e esse papel deve ser invertido. Para tal, a atividade de construção e de concepção de um modelo (modelização) pode ser útil, pois dá sentido aos conceitos estudados e possibilita ao aluno compreender e representar

fenômenos.

Dentre as muitas propostas de atividades focadas na modelização, os ciclos de modelagem de David Hestenes ganham destaque. Para Hestenes (1987), o objetivo principal do Ensino de Ciências é desenvolver nos alunos habilidades de confecção e uso de modelos. Para isso, o autor propõe que o processo de ensino-aprendizagem seja organizado por meio de ciclos de modelagem, que podem ser divididos em dois estágios principais: a) desenvolvimento do modelo; e b) implementação do modelo. O primeiro estágio, destinado ao desenvolvimento do modelo, é subdividido em três fases ou etapas, sendo elas (HESTENES, 1987, 2010):

(i) discussão pré-laboratorial: a primeira fase começa com uma demonstração e uma discussão em sala de aula. O objetivo é estabelecer um entendimento comum para um problema sobre a natureza e as demonstrações podem ser realizadas por meio do uso de vídeos, simulações computacionais e/ou experiências de laboratório. O fundamental é que o problema escolhido envolva o uso de habilidades e ferramentas de modelagem;

(ii) investigação: na segunda fase, os alunos trabalham em pequenos grupos no planejamento de atividades, visando responder o problema proposto. O professor deve estar atento e preparado para introduzir novas ferramentas de representação (gráficos, tabelas, equações etc.) à medida que os grupos estiverem preparados para usá-las. Além disso, durante essa etapa, os estudantes contam com o auxílio de pequenos quadros brancos, onde podem representar e compartilhar suas hipóteses;

(iii) discussão pós-laboratorial: nesta última etapa, os alunos comunicam e justificam suas conclusões para o grande grupo, utilizando, novamente, os quadros brancos para representar as ideias deles. Busca-se com isso, desenvolver e aprimorar a habilidade de argumentação dos estudantes, pois, de acordo com Hestenes (1987), além das ferramentas matemáticas, o ensino centrado na modelagem deve favorecer também a capacidade de reflexão e análise crítica. Nessa fase, o professor atua como um mediador e fica atento

às hipóteses da turma, discutindo os possíveis equívocos.

No segundo e último estágio dos ciclos de modelagem, destinado à implementação, os estudantes utilizam os modelos recém-confeccionados em outras situações. O intuito é refinar, ampliar e aprofundar a compreensão do modelo teórico pela turma. Desse modo, o professor apresenta novos problemas, podendo incluir testes, questionários, atividades em laboratório, entre outros (HESTENES, 1987, 2010).

Apoiada na noção de modelo teórico de Bunge e nos ciclos de modelagem de Hestenes, propõe-se uma Sequência Didática sobre Termodinâmica. A escolha justifica-se pela crescente necessidade de elaboração de propostas de ensino sobre essa temática adaptada às necessidades educativas de alunos surdos e que também contextualize os saberes científicos com o cotidiano do aluno, favorecendo uma formação cidadã.

3 Sequência Didática

Os ciclos de modelagem de Hestenes consistem em uma alternativa para promover a modelagem científica em sala de aula. Nesse processo, os estudantes são convidados a investigar um fenômeno, um equipamento ou uma situação do cotidiano e, a partir disso, construir uma representação (um modelo). Em especial, neste trabalho, optou-se por discutir o princípio de funcionamento de um aparelho refrigerador (geladeira). Esse tema permite explorar conceitos relacionados à Termodinâmica e discutir suas aplicações práticas.

O planejamento da Sequência Didática buscou superar a forma tradicional com que os conceitos de Termodinâmica são apresentados no Ensino Médio e viabilizar atividades inclusivas, partindo da premissa de que todos os alunos, sem exceção, têm capacidade de aprender. Os objetivos que norteiam cada uma das etapas encontram-se sistematizados no Quadro 1 e as atividades realizadas são descritas a seguir.

Quadro 1: Síntese das etapas da SD

Desenvolvimento do modelo		
Etapas	Aulas	Objetivos
Discussão pré-laboratorial	1	Identificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre Termodinâmica, mais especificamente sobre o princípio de funcionamento de refrigeradores; Problematizar as concepções prévias da turma sobre o tema.
Investigação	3	Investigar/Levantar o conjunto de variáveis (princípios e grandezas físicas) envolvidas no funcionamento de refrigeradores; Aprofundar os conhecimentos científicos relacionados ao tema de estudo; Explorar o uso de recursos diversos (imagens, simulações, experimentos, vídeos etc.) para auxiliar na construção do modelo; Construir um primeiro modelo representacional para o princípio de funcionamento de refrigeradores.
Discussão pós-laboratorial	2	Apresentar e justificar o modelo representacional construído usando os quadros brancos; Discutir e problematizar aspectos relevantes presentes nos modelos.
Implementação do modelo		
Etapas	Aulas	Objetivos
Aplicação do modelo	3	Aperfeiçoar o modelo representacional; Ampliar o entendimento dos conceitos físicos envolvidos no princípio de funcionamento de um refrigerador; Aplicar o conhecimento em outras situações; Organizar o conhecimento através da construção de uma maquete representando o princípio de funcionamento de um refrigerador.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

3. 1 Desenvolvimento do modelo

No primeiro momento da SD, é interessante que o professor organize a turma em “U” para uma melhor comunicação e visualização de todos por todos, especialmente dos alunos surdos. Os gestos e expressões faciais são fundamentais no entendimento dos acontecimentos em sala de aula e é importante que o aluno surdo consiga acompanhar, além das interpretações do intérprete, as manifestações dos colegas.

O objetivo inicial é criar um ambiente descontraído, envolvendo a turma na proposta de ensino e nas discussões. Para isso, o professor deve incentivar os estudantes a responderem de forma livre os questionamentos e conferir autonomia para que possam levantar e testar hipóteses. Esse primeiro estágio da SD é

subdividido em três etapas, cada uma com suas finalidades e atividades próprias.

3. 1. 1 Discussão pré-laboratorial

Nesta etapa, propõe-se a discussão de situações-problemas relacionadas ao tema de estudo, permitindo ao professor identificar as concepções alternativas dos alunos sobre o princípio de funcionamento dos refrigeradores. Para tal, podem ser realizados alguns questionamentos: 1) Como funciona uma geladeira? 2) Como ocorre a refrigeração dos alimentos no interior de uma geladeira? 3) Por que o congelador está localizado na parte superior da geladeira e não na parte inferior? 4) Por que não se deve utilizar o condensador da geladeira para secar roupas? 5) Por que as prateleiras da geladeira são vazadas? 6) Você conhece algum outro equipamento que funcione de forma semelhante a uma geladeira? Qual?

A exploração de recursos visuais é fundamental na educação de surdos, conforme apontam Lacerda, Santos e Caetano (2011, p. 106),

o trabalho do intérprete de Libras será muito mais efetivo quando a informação visual é acessível, pois com e sobre ela o aluno surdo poderá construir conceitos e os colocar em tensão em relação àquilo que é apresentado pelo professor, dando oportunidades para uma aprendizagem mais reflexiva e efetiva.

Sugere-se, portanto, que as questões problematizadoras sejam apresentadas em slides com imagens correspondentes. Além disso, durante os debates é importante que o professor observe se o intérprete e o aluno surdo estão acompanhando as exposições, para que participem e compreendam os diferentes pontos de vista. Nesse contexto, o debate pode ser organizado de maneira que todos os alunos tenham a oportunidade de expressar suas ideias individualmente, evitando que falas rápidas e concomitantes ocorram (ERSCHING, 2020).

Além de aguçar o interesse pela aprendizagem dos conceitos termodinâmicos envolvidos no funcionamento de um refrigerador, objetiva-se desenvolver o pensamento crítico dos alunos, desmistificando algumas concepções propagadas pelo senso comum. Ploglia e Steffani (2013) destacam que é comum as pessoas utilizarem o condensador da geladeira para secar roupas, aproveitando o calor rejeitado pelo refrigerante superaquecido. Porém, ao dispor a roupa sobre a serpentina, há um comprometimento da convecção do ar, o que dificulta a

transferência de calor e conseqüentemente aumenta o tempo de funcionamento do compressor, assim como do consumo de energia e a ineficiência do sistema. Esses aspectos são desconhecidos e acabam gerando prejuízos à população, o que evidencia a importância de se trabalhar de maneira contextualizada os conteúdos curriculares.

3. 1. 2 Investigação

Após a discussão, os alunos formarão pequenos grupos colaborativos (entre quatro e cinco membros) e serão incentivados a investigar e propor respostas aos problemas apresentados na etapa anterior. No entanto, essa prática deve estar alicerçada no princípio da inclusão, ou seja, deve contemplar as subjetividades de cada um e possibilitar que o aluno surdo participe das atividades. Logo, o professor deve estar atento e intervir sempre que perceber uma situação de exclusão.

O objetivo dessa etapa consiste, inicialmente, na identificação e apreensão dos conceitos físicos necessários para descrever o princípio de funcionamento de um refrigerador e, por último, na criação de um modelo representacional para essa situação. Durante esse processo, o professor deve atuar como um orientador de pesquisa, indicando materiais e inserindo ferramentas adequadas para a representação (modelagem) do princípio de funcionamento de refrigeradores.

Nesse sentido, destaca-se o uso de simulações e softwares computacionais como uma ferramenta de modelagem e construção do conhecimento científico, atendendo também as especificidades de aprendizagem dos alunos surdos. Para Medeiros e Medeiros (2002), as simulações podem ser entendidas como representações ou modelagens de objetos, sistemas e/ou fenômenos e apresentam uma série de possibilidades para o Ensino de Física, entre elas: a) visualização dinâmica de fenômenos; b) teste de hipóteses; e c) interação com modelos científicos.

Diante das potencialidades das simulações computacionais, sugere-se que os grupos de alunos sejam conduzidos ao laboratório de informática da escola e explorem as propriedades dos gases ideais⁴ e os processos de transformação de

⁴Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_en.html. Acesso em 15

energia⁵ através do uso de dois experimentos virtuais do *PhET*. No primeiro, os alunos poderão visualizar e estabelecer as relações existentes entre pressão, volume e temperatura nos gases ideais⁶. Já no segundo, serão introduzidos aos princípios da 1ª e 2ª Leis da Termodinâmica. Essa atividade estimula os estudantes a levantar e testar hipóteses e facilita o entendimento do funcionamento de um refrigerador, uma máquina térmica que opera segundo ciclos de compressão e descompressão de um fluido.

É importante salientar, entretanto, que as simulações computacionais também possuem limitações. A principal diz respeito aos cenários e situações pré-fixadas, que não possibilitam ao aluno extrapolar as fronteiras estabelecidas e, conseqüentemente, pode acarretar visões distorcidas e simplificadas dos fenômenos estudados (RODRIGUES; LAVINO, 2020).

Sobre esse aspecto, Medeiros e Medeiros (2002, p. 83) acrescentam que:

É preciso ter-se em mente que o ponto de partida de toda simulação é a imitação de aspectos específicos da realidade, isto significando que, por mais atraente que uma simulação possa parecer, ela estará sempre seguindo um modelo matemático desenvolvido para descrever a natureza, e este modelo poderá ser uma boa imitação ou, por outras vezes, um autêntico absurdo. Uma simulação pode tão somente imitar determinados aspectos da realidade, mas nunca a sua total complexidade. Uma simulação, por isso, nunca pode provar coisa alguma. O experimento real será sempre o último juiz.

Dada a impossibilidade de realização de experimentos, seja pela sua complexidade ou dificuldade de reprodução, as simulações tornam-se ainda mais essenciais. Porém, conforme mencionado, é imprescindível que os estudantes tenham clareza dos limites e validade dos modelos.

Prosseguindo com o tema da proposta, outro aspecto relevante de ser investigado são as correntes de convecção que se formam no interior do refrigerador. Nesse ponto, o professor pode propor a realização de experimentos simples ou a exibição de vídeos⁷ que demonstrem as correntes de convecção, isto é, o movimento de massas fluidas devido a uma diferença de temperatura. Ao optar pela utilização

de fevereiro de 2024.

⁵Disponível em: https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_en.html. Acesso em 15 de fevereiro de 2024.

⁶ $PV = nRT$.

⁷ Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4Ms4ww2qZv0>. Acesso em 15 de fevereiro de 2024.

de vídeos, é importante que o docente procure aqueles que possuem legenda e, preferencialmente, deve exibi-los no mudo. Assim, toda a turma pode experienciar as situações abordadas da mesma forma que o aluno surdo.

Concluída a etapa de investigação, os grupos são convidados a construir um primeiro modelo representacional (diagrama) para o funcionamento de um refrigerador. O resultado deve incluir respostas claras para as questões: Qual é o seu modelo? Como ele explica o funcionamento de uma geladeira? Segundo Hestenes (2010), o docente deve estar ciente que os primeiros modelos são aproximativos, incluem limitações teóricas e imprecisões. Todavia, gradualmente, eles podem ser aperfeiçoados.

3. 1. 3 Discussão pós-laboratorial

O ponto culminante de um ciclo de modelagem é a comunicação dos resultados obtidos através dos quadros brancos. Hestenes (2010) comenta que é nesse momento que a aprendizagem dos estudantes ocorre mais profundamente, porque tais sessões estimulam a avaliação e consolidação da experiência adquirida na atividade de modelagem. Além disso, a comparação dos modelos construídos por diferentes equipes normalmente produz provocações produtivas (HESTENES, 2010).

Nessa etapa o professor deve, novamente, dispor a turma em “U” e solicitar que todos os alunos participem da apresentação do modelo construído pelo seu grupo para representar o funcionamento do refrigerador. Nesse caso, a explanação do aluno será traduzida pelo profissional intérprete. Além disso, essa etapa ajuda o docente a identificar as principais dificuldades e obstáculos enfrentados pelos alunos no processo de modelagem e, na sequência, pode apontar atividades (exercícios, leituras de texto, entre outros) com o intuito de revisar e ampliar os conceitos científicos dos estudantes, auxiliando-os na reformulação dos modelos representacionais. Com relação aos quadros brancos, Silva (2019) ressalta que seu custo é alto e que eles podem ser substituídos por cartolinas de papel brancas e pincéis coloridos.

3. 2 Implementação do modelo

No último estágio dos ciclos de modelagem, procura-se aperfeiçoar os

modelos representacionais elaborados com a sua aplicação em outras situações. Portanto, aqui os alunos são orientados a construir maquetes que possam retratar o funcionamento de um refrigerador (geladeira, ar-condicionado, freezer etc.). Lacerda, Santos e Caetano (2011) mencionam que o uso de elementos imagéticos, como a maquete, pode ser útil na abordagem de temas e conteúdo de diferentes disciplinas para alunos surdos. Por ser um recurso visual, com o uso de materiais alternativos e de baixo custo, permite explorar conceitos, opiniões, a criatividade, e que pode ser aprofundado considerando os objetivos pretendidos do professor.

Nessa última etapa, o propósito é apresentar um novo modelo com maior rigor científico, visto que, os alunos devem utilizar-se dos conhecimentos construídos durante o processo de modelização. Busca-se, em concordância com Pietrocola (1999), passar de um real imediato (forjado pelo senso comum) a um real idealizado pela ciência. Essa percepção será visível para os grupos na apresentação final, na qual poderá ser constatada a evolução do modelo representacional para o modelo teórico.

4 Considerações finais

No Ensino de Física, diversificar as metodologias para ensinar diferentes conteúdos e atender as necessidades individuais dos alunos é essencial. Nesse sentido, a modelagem se apresenta como uma ferramenta particularmente interessante, que favorece a explicitação das concepções prévias dos estudantes, permite a elaboração e o teste de hipóteses, a manipulação de materiais concretos, assim como, a visualização de fenômenos, possibilitando a evolução conceitual e o reconhecimento do conteúdo em situações do cotidiano.

Para Hestenes (2010), a principal característica da modelagem científica consiste em ser uma abordagem investigativa centrada no estudante e apenas orientada pelo professor, que foca em um processo físico concreto, aproximando os alunos da ciência e aperfeiçoando o seu olhar em relação à Física. Na educação de surdos, em especial aos inseridos na classe comum do ensino regular, o emprego da modelagem científica viabiliza uma maior autonomia e interação com professores e colegas, não restringindo o contato do aluno surdo ao intérprete e contornando, ao menos em parte, a falta de sinais.

Deste modo, esta pesquisa tende a contribuir para o avanço do campo do

Ensino de Ciências, considerando o desenvolvimento de competências e habilidades dos estudantes na área da Física. Como uma proposta promissora, representa um passo importante em direção a construção de uma educação mais inclusiva e acessível para todos os alunos. Reforça-se, entretanto, que é fundamental que o docente busque aprender a Libras e mantenha um diálogo com o intérprete durante a organização das aulas. Em trabalhos posteriores se propõe a aplicação da SD e a avaliação da sua relevância para o Ensino de Física, assim como do alcance dos objetivos específicos elencados nas atividades.

Referências

BOLZAN, Ellen Cristine Vivian Mendes Marques; LEONEL, André Ary. Ensino de astronomia para a educação de crianças surdas e deficientes auditivos na perspectiva de um intérprete de libras. In: XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física - SNEF, São Carlos. **Atas** do XXII Simpósio Nacional de Ensino de Física. São Paulo: Sociedade Brasileira de Física, 2017.

BRANDÃO, Rafael Vasques.; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Modelagem e Ensino de Física. **Física na Escola**, v. 9, n. 1, p. 10-14, 2008.

BRANDÃO, Rafael Vasques.; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. A modelagem científica vista como um campo conceitual. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 507-545, dez. 2011.

BRASIL. **Lei nº 10.436, de 24 de abril de 2002**. Dispõe sobre a Língua Brasileira de Sinais – LIBRAS e dá outras providências. Brasília, DF, 2002.

BRASIL. **Decreto nº 5.626, de 22 de dezembro de 2005**. Regulamenta a Lei nº 10.436, de 24 de abril de 2002. Dispõe sobre a Língua Brasileira de Sinais - Libras, e o art. 18 da Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2005.

BUNGE, Mario. **Teoria e realidade**. São Paulo: Perspectiva, 1974.

CAMARGO, Eder Pires de. **Saberes docentes para inclusão do aluno com deficiência visual em aulas de Física**. São Paulo: Unesp, 2012.

ERSCHING, Clevia Bittencurt. **Conversando com o professor: uma Sequência Didática inclusiva para surdos no Ensino de Ciências**. 2020. Produto educacional (Mestrado em Ensino de Ciências, Matemática e Tecnologias) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville.

HEIDMANN, Leonardo Albuquerque; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Ciclos de modelagem: uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de Física. **Caderno**

Brasileiro de Ensino de Física, v. 29, n. Especial 2, p. 965-1007, out. 2012.

HESTENES, David. Toward a modeling theory of physics instruction. **American Journal of Physics**, v. 55, n.5, p. 440-454, 1987.

HESTENES, David. Modeling software for learning and doing physics. In: **International Conference on Thinking Science for Teaching**, p. 22-27, 1994.

HESTENES, David. Modeling theory for math and science education. In: LESH, R. et al. (org.). **Modeling student's mathematical modeling competencies**. New York: Springer, p. 13-42, 2010.

LACERDA, Cristina Broglia Feitosa de; SANTOS, Lara Ferreira dos; CAETANO, Juliana Fonseca. Estratégias metodológicas para o ensino de alunos surdos. In: Cristina Broglia Feitosa de Lacerda, Lara Ferreira dos Santos, Juliana Fonseca Caetano (Org.). **Língua brasileira de sinais – Libras uma introdução**. São Carlos: Coleção UAB–UFSCar, 2011.

MACHADO, Juliana; CRUZ, Sonia Maria Silva Corrêa de Souza. Conhecimento, realidade e ensino de Física: modelização em uma inspiração bungeana. **Ciência & Educação**, v. 17, n. 4, pp. 887-902, 2011.

MATTOS, Daniela Fernandes. **Ensino de física para surdos: uma proposta didática para o ensino de ondulatória**. 2019. 77f. Dissertação (Mestrado em Ensino na Educação Básica) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Universitário Norte do Espírito Santo.

MEDEIROS, Alexandre; MEDEIROS, Cleide Farias de. As possibilidades e limitações das simulações computacionais no Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.24, n.2, p. 77-86, 2002.

PIETROCOLA, Maurício. Construção e realidade: o realismo científico de Mário Bunge e o ensino de ciências através de modelos. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 3, p. 213-227, 1999.

PLOGUIA, Rodrigo; STEFFANI, Maria Helena. Ensinando física térmica com um refrigerador. **Textos de apoio ao professor de Física**. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, v. 24, n. 1, 55p, 2013.

RAUTENBERG, Eliana. **As dificuldades no Ensino de Física para surdos**. 2017. 72p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Física) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Florianópolis.

RODRIGUES, Ernani Vassoler; LAVINO, Daniel. Modelagem no ensino de Física via produção de stop motion, com o computador Raspberry Pi. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, n.1, 2020, e20190012.

SILVA, Maria Gêssica da. **As leis da Termodinâmica com abordagem da Modelagem Científica de Mario Bunge e uma sequência de Ciclos de**

Modelagens de David Hestenes desenvolvida em uma turma do ensino médio na cidade de Acopiara. 2019. 119f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) - Universidade Regional do Cariri. Juazeiro do Norte.

SILVA, Fernando Siqueira da; CATELLI, Francisco. Os modelos no Ensino de Ciências: reações de estudantes ao utilizar um objeto-modelo mecânico concreto analógico didático (OMMCAD). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.42, 2020, e20190248.