

A APRENDIZAGEM DE ACÚSTICA NO ENSINO MÉDIO: UMA ATIVIDADE INVESTIGATIVA ENVOLVENDO A CONSTRUÇÃO DA FLAUTA DE PÃ COM ÊNFASE NA EXPANSÃO DE MODELOS

INTRODUÇÃO

O ensino de Física ainda é predominantemente orientado pela resolução de problemas acadêmicos idealizados e frequentemente desvinculados da realidade dos estudantes. Essa falta de contextualização dificulta a construção de significados físicos e limita a aprendizagem conceitual (Moreira, 2021). A desconexão entre teoria e prática configura, portanto, um desafio central a ser enfrentado. Além disso, as atividades experimentais no ensino médio são escassas e, quando presentes, costumam seguir roteiros rígidos e pouco flexíveis, o que reduz seu potencial formativo (Holmes; Wieman, 2018).

O Ensino por Investigação (EI) (Carvalho, 2013) se constitui como um referencial pedagógico que orienta o professor na organização de atividades investigativas. Sob essa perspectiva, os estudantes são conduzidos a formular problemas, levantar hipóteses, planejar e executar experimentos, analisar resultados e produzir conclusões. Dessa forma, desenvolvem não apenas conhecimentos conceituais, mas também competências procedimentais e atitudes associadas ao trabalho científico. O papel do professor passa a ser o de mediador, criando situações de aprendizagem que promovem raciocínio, argumentação e diálogo coletivo, em contraste com a mera transmissão de informações.

Neste trabalho, adota-se como referencial teórico-metodológico a Modelagem Didático-Científica (MDC) (Brandão; Araujo; Veit, 2011), que articula a construção de modelos científicos escolares à prática investigativa em sala de aula. A MDC se organiza em fases progressivas de elaboração e expansão de modelos, permitindo que os estudantes compreendam fenômenos físicos por meio da criação, discussão e aperfeiçoamento de representações explicativas. Assim, esse referencial orienta tanto o planejamento das atividades experimentais quanto a análise das interações e dos modelos produzidos pelos alunos, em linha com os princípios amplos do Ensino por Investigação.

Apresentamos aqui um produto educacional focado no tema da acústica, considerado particularmente adequado para atividades experimentais devido à facilidade de envolver os estudantes por meio de tecnologias acessíveis, como aplicativos de celular, o que favorece o engajamento e a participação ativa.

REFERENCIAL TEÓRICO

Este trabalho busca proporcionar ao aluno uma maior autonomia na construção de seu próprio conhecimento. Essa construção ocorre por meio de um processo investigativo no qual é apresentado ao discente um problema que motiva sua ação e está presente na realidade do aluno. Na perspectiva do EI, é fundamental que o(a) professor(a) crie, em sala de aula, condições para que os estudantes pensem, leiam, argumentem e expressem seus conhecimentos tanto oralmente quanto por escrito. O docente deve atuar como orientador e mediador, evitando fornecer respostas prontas, pois, conforme discutido anteriormente, valoriza-se que o aluno elabore e reconstrua seus modelos e explicações.

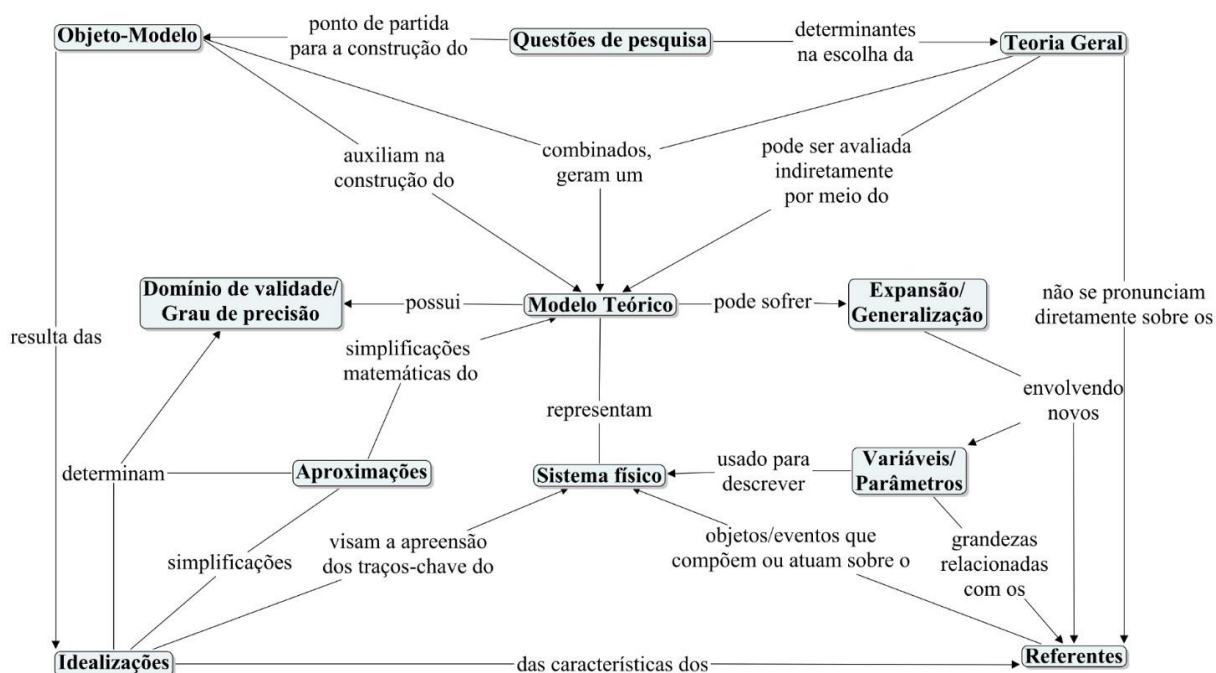
Nessa perspectiva, é necessário que as atividades contemplem certo grau de liberdade. Carvalho (2018) propõe alguns critérios para classificar atividades como investigativas, concebendo níveis de 1 a 5 para classificá-las, considerando que os níveis 3, 4 e 5 são verdadeiramente investigativos. Nossa proposta organiza-se como uma aula experimental de nível 3: a problematização inicial é apresentada pelo professor e as hipóteses são discutidas coletivamente, porém os próprios alunos decidem como conduzir a experiência, definindo o plano de ação, os procedimentos e a estratégia de coleta de dados. O papel do professor consiste em mediar essa atividade, evitando que a investigação tome rumos infrutíferos, desviem da proposta ou chegue em becos sem saída. Para auxiliar na atividade, o(a) professor(a) pode recorrer a diferentes modalidades de atividades investigativas, como laboratórios abertos ou virtuais, uso de textos históricos, problemas e questões abertas e recursos tecnológicos.

Uma abordagem que se alinha com os princípios do EI é a MDC+ (Heidemann; Araujo; Veit, 2016), uma versão expandida da modelagem didático-científica. Nessa perspectiva, o estudante participa ativamente do processo de formular hipóteses, selecionar variáveis relevantes, interpretar dados, revisar idealizações e avaliar a pertinência do modelo teórico diante do sistema físico.

A MDC+ tem natureza cognitivista, inspirando-se nas ideias de Vergnaud (1990) e Bunge (1974). Por meio desse referencial, compreende-se a modelagem científica como um campo conceitual constituído por operações, conceitos e esquemas mobilizados pelos sujeitos ao tentar compreender e explicar fenômenos físicos. Além dos entendimentos gerais sobre modelos e processos de modelagem, a MDC+ identifica conhecimentos específicos desse campo, especialmente aqueles ligados à contrastação empírica das ideias científicas, incorporando o fazer experimental como parte do próprio corpo teórico que orienta a modelagem. Essa abordagem amplia o escopo da modelagem tradicional, permitindo atividades mais abertas, maior protagonismo discente e um espaço mais claro para

revisões, ajustes e expansões dos modelos ao longo do processo investigativo. A figura apresentada a seguir sintetiza as relações fundamentais envolvidas na construção, avaliação e evolução dos modelos científicos. Esse quadro expõe a estrutura conceitual de referência do processo de modelagem, articulando os elementos teóricos, empíricos e representacionais que orientam o trabalho investigativo.

Figura 1. Estrutura Conceitual de Referência associada à noção de modelo e ao processo de modelagem científica em Física (Heidemann, Araujo e Veit, 2016, p. 8).



Pela Figura 1, entende-se que o processo de modelagem se inicia com uma **questão de pesquisa**. Neste trabalho, em linha com as perspectivas pedagógicas do EI, a questão de pesquisa emerge a partir de uma situação-problema, a saber:

Um dos grandes problemas de poluição sonora nas cidades é o ruído excessivo produzido por veículos, especialmente motocicletas. Muitos motociclistas alteram o tubo de escapamento de suas motos para modificar o som emitido, tornando-o mais grave e intenso. Diante disso, surgem as questões: quais fatores físicos do tubo de escapamento podem ser modificados para produzir sons mais graves? De maneira geral, quais fatores físicos influenciam as características do som gerado por tubos sonoros?

O problema exposto acima é o mote da unidade didática, justificando o estudo de conceitos da física necessários para que o(a) estudante possa dar uma resposta bem fundamentada à questão levantada. É necessário que o(a) aluno(a) compreenda diversos aspectos do fenômeno da propagação do som em um tubo sonoro, relacionando, em

particular, à frequência da onda sonora com o comprimento do tubo, seu diâmetro e a temperatura do ar. A partir dessa compreensão, ele(a) passa a ter condições de elaborar modelos de complexidade crescente, capazes de responder à questão proposta.

Uma vez estabelecida a questão de pesquisa, tem-se, seguindo a Figura 1, a construção de um **objeto-modelo**, que é uma representação simplificada do fenômeno em questão, sendo fruto de **idealizações** e **aproximações**, que são operações que selecionam apenas os elementos mais relevantes da realidade física em questão (os referentes, na Estrutura Conceitual de Referência), tornando a descrição do **sistema físico** em questão mais tratável à luz de alguma **teoria geral** da física (p. ex., a mecânica). Por exemplo, uma idealização possível ao descrever a onda sonora emitida pelo escapamento da moto, é tratar o cano como retilíneo e desprezar trocas de energia na propagação da onda sonora (processo adiabático); já uma aproximação muito comum envolve considerar apenas o primeiro harmônico, mitigando a complexidade matemática do fenômeno para torná-lo mais acessível ao nível médio. O sistema físico em questão é o cano da moto em si; já os **referentes** são todos os fatores que podem influenciar no fenômeno em questão e que decidimos levar em conta: o ar, feito de moléculas, forma uma onda longitudinal estacionária no interior do cano, com nó na extremidade fechada e antinó na aberta¹; o ar tem uma densidade conhecida e permite a passagem da onda de variação de pressão com uma certa velocidade, que por sua vez depende da temperatura. Conforme a Figura 1, os referentes estão relacionados com variáveis/parâmetros úteis para descrever o sistema físico em questão. Neste trabalho, vamos analisar a influência das seguintes variáveis/parâmetros: comprimento do cano, seu diâmetro e a temperatura do ar.

De todas essas considerações, resulta o que a MDC+ denomina de **objeto-modelo**. A partir da aplicação da teoria geral ao objeto-modelo, surge o **modelo teórico**, ou simplesmente, **modelo**. E, a partir do modelo, é possível fazer previsões, que podem ser testadas no laboratório. Em última análise, as idealizações e aproximações adotadas determinam o **domínio de validade** e o **grau de precisão** do modelo, deixando claro que todo modelo é sempre parcial e limitado. A clareza sobre esse aspecto é um ponto chave para a compreensão de que modelos não são cópias especulares da realidade, mas sim representações da mesma.

Um elemento central destacado na Figura 1 — e que orienta diretamente o presente trabalho — é o processo de **expansão/generalização** do modelo. No contexto da MDC+, a expansão corresponde ao momento em que o modelo previamente construído é ampliado com novos referentes, variáveis ou arranjos experimentais. Para validar uma versão

1 Conforme será explicado mais adiante, uma descrição mais realista da onda estacionária considera que o antinó se forma um pouco além da extremidade aberta do cano.

expandida de um modelo, exige-se a confrontação do mesmo com situações mais amplas do que aquelas que originaram sua formulação inicial, em um processo denominado contrastação empírica. Expandir um modelo, portanto, não significa apenas adicionar complexidade, mas *reavaliar hipóteses, estender o alcance explicativo e reconstruir a própria estrutura conceitual quando necessário*. É nessa etapa que se evidencia o caráter dinâmico da modelagem científica: modelos evoluem, são ajustados e se tornam mais robustos à medida que suas previsões diferem significativamente da realidade. Nesse momento, o processo de contrastação empírica se faz essencial: na perspectiva da MDC+, as atividades experimentais são entendidas como momentos frutíferos para testar modelos, reavaliar hipóteses, discutir as simplificações sendo consideradas (muitas vezes de forma implícita), explorar novos caminhos investigativos e aprender sobre o fazer científico.

Por fim, o movimento contínuo entre construção, avaliação e expansão dos modelos aproxima o trabalho dos alunos das práticas reais da ciência, fortalecendo uma aprendizagem significativa e orientada pela lógica da investigação científica.

METODOLOGIA

Nosso trabalho é baseado na ideia de que os alunos possuem conhecimentos prévios sobre conceitos iniciais de ondas. As etapas, fundamentadas no MDC+, têm como tema a acústica e buscam não apenas trabalhar o conceito de modelo, mas também estimular a prática experimental dos alunos a partir dessa temática. As atividades estão organizadas em três encontros, cada um dividido em três horas-aula de 50 minutos.

Encontro 1.1 – Problematização:

Com base na situação-problema apresentada, utilizamos uma simulação interativa² que permite aos alunos variar grandezas físicas relevantes — como amplitude, frequência e distância entre a fonte sonora e o observador — e ouvir os sons resultantes de cada alteração. Essa possibilidade de manipulação direta confere significado físico aos parâmetros do modelo e favorece a formulação de hipóteses pelos estudantes, que passam a relacionar suas observações à construção do objeto-modelo.

Encontro 1.2 – Demonstração investigativa:

Para fornecer ferramentas experimentais aos alunos, será realizada uma demonstração com uma mola presa em uma extremidade, feita vibrar de diferentes maneiras no eixo longitudinal, como nas ondas sonoras. Durante a atividade, os alunos serão convidados a identificar parâmetros e variáveis presentes. Também será apresentado o conceito de harmônicos, usando analogias, para explicar a propagação do som no ar e em

² Disponível em https://phet.colorado.edu/sims/html/sound-waves/latest/sound-waves_all.html?locale=pt_BR
Acesso em: 28 de novembro de 2025.

tubos sonoros, relacionando teoria e prática. Espera-se que os alunos reconheçam, na mola presa em uma extremidade, um sistema análogo a um tubo sonoro fechado, identificando a formação de nós e ventres ao longo da mola. A partir da observação dos modos de vibração, eles devem relacionar cada padrão aos harmônicos possíveis desse tipo de sistema, percebendo como o comprimento da mola determina quais comprimentos de onda podem existir. Assim, a demonstração permite que conectem diretamente os conceitos já conhecidos sobre ondas à relação entre o comprimento de onda e o comprimento físico do tubo/mola.

Encontro 1.3 – Introdução ao modelo 1:

Nesta etapa, os alunos receberão um texto relacionando variáveis e apresentando o modelo simplificado do tubo sonoro, com as seguintes idealizações: o meio dentro do tubo é o e não há dissipação de; propagação da onda é tratada como unidimensional; a extremidade fechada é um nó perfeito e a extremidade aberta é um antinó perfeito; a correção de borda é ignorada; só o modo fundamental de vibração (primeiro harmônico) é considerado; a velocidade do som é constante; paredes do tubo são adiabáticas.

A partir dessas idealizações, será apresentada a equação para o cálculo da frequência do primeiro harmônico, representando o modelo 1 (Ramalho; Nicolau; Ferraro, 2016):

$$f = \frac{v}{4L}, \quad (1)$$

onde v é a velocidade aproximada do som no ar, em metros por segundo e L é o comprimento do tubo sonoro, em metros.

Haverá um momento de reflexão para que os alunos relacionem altura (grave/agudo) à frequência, seguido da apresentação da flauta de pan. A atividade experimental proposta para o encontro seguinte consiste na construção de uma versão simplificada desse instrumento, conforme explicado a seguir.

Encontro 2.1 e 2.2 – Apresentação das ferramentas disponíveis:

Os alunos discutirão como a frequência depende das propriedades de uma flauta de pã, observando especialmente a relação entre os comprimentos dos tubos e os sons produzidos. Serão disponibilizados materiais como tubos de PVC de diferentes comprimentos e diâmetros, fitas adesivas, materiais de corte, réguas e trenas, além da apresentação de um software capaz de medir frequências em hertz. A expectativa é que os estudantes elaborem hipóteses e tentem construir um instrumento semelhante ao apresentado pelo professor, buscando, a partir do modelo físico previamente discutido, relacionar o comprimento de cada tubo à frequência correspondente, de modo que possam

prever tais comprimentos antes da construção efetiva. Para preservar o caráter investigativo da atividade, recursos tecnológicos como tablets e smartphones, quando fornecidos pela escola, não devem ser apresentados inicialmente; espera-se que os próprios estudantes percebam, no decorrer da investigação, a necessidade desses instrumentos. Quando os dispositivos pertencerem aos alunos, recomenda-se a mesma postura, favorecendo que a demanda pelo uso dos recursos emergja da análise do problema. A intervenção docente ocorrerá no momento em que os estudantes identificarem a relevância de medir grandezas como frequência e comprimento, permitindo problematizações sobre formas adequadas de obtê-las. As medições podem ser realizadas com réguas milimetradas para os comprimentos dos tubos e com aplicativos de análise espectral, como o Spectroid³, que pode ser baixado gratuitamente na Play Store, para a obtenção das frequências. O professor poderá apresentar brevemente o funcionamento do aplicativo apenas após essa demanda surgir. Nesse contexto, a organização e a análise dos dados coletados pelos estudantes assumem papel central, orientando a continuidade da investigação e possibilitando a construção de explicações fundamentadas.

Encontro 2.3 – Atividade experimental 1

A partir da atividade anterior, espera-se que os grupos serão motivados a construir sua própria flauta de pão ou outro modelo de tubo sonoro que julgarem adequado, usando a régua para prever a frequência pelo modelo da Equação 1. Serão disponibilizados materiais simples e de baixo custo, permitindo variações de comprimento e diâmetro, de modo que cada grupo realize apenas a montagem e coleta de dados, conforme o referencial da MDC+. Em seguida, eles medirão a frequência emitida com um software previamente explicado. Ao comparar a frequência prevista com a medida, os alunos devem perceber pequenas diferenças e reconhecer que o modelo pode ser expandido e refinado para descrever melhor a realidade, de acordo com a discussão na seção seguinte.

Encontro 3.1 e 3.2– Expansão do modelo físico

Para compreender como o som se propaga e como diferentes fatores influenciam sua velocidade, apresentamos inicialmente um modelo básico que relaciona a velocidade do som no ar com a temperatura. Esse modelo parte da ideia de que o ar se comporta como um gás ideal em condições ambientais comuns e adota a hipótese de que a propagação da onda sonora ocorre de forma adiabática, ou seja, sem trocas de calor significativas entre as compressões e rarefações sucessivas do ar. Além disso, assume-se que o ar está seco, em pressão atmosférica normal, com variações pequenas de densidade e sem efeitos relevantes de umidade ou vento. Dentro desse conjunto de idealizações, obtém-se a relação

³ Disponível em https://play.google.com/store/apps/details?id=org.intoorbit.spectrum&hl=pt_BR&pli=1. Acesso em 28 de novembro de 2025.

que vincula a velocidade do som no ar ao valor da temperatura (Halliday; Resnick; Walker, 2011):

$$v(T) = 331,4 + 0,6T, \quad (2)$$

onde v é a velocidade e T é a temperatura do ar em graus celsius.

Esse modelo fornece aos alunos uma interpretação clara de como a temperatura altera a rapidez com que as perturbações sonoras se propagam.

Na etapa seguinte, apresentamos um modelo mais completo para explicar a frequência produzida em tubos sonoros abertos em uma extremidade. Esse modelo considera que, durante a formação da onda estacionária dentro do tubo, o ponto de máximo deslocamento não ocorre exatamente na borda geométrica da abertura. Em vez disso, há um pequeno deslocamento para fora, o que exige uma correção conhecida como correção de extremidade. Por isso, em vez de utilizar apenas o comprimento físico do tubo, utiliza-se um comprimento efetivo L_{ef} , dado por (Nussenzveig, 2000)

$$L_{ef}(r) = L + 0,6r \quad (3)$$

e r representa o raio da abertura. Esse ajuste torna a previsão da frequência mais fiel ao comportamento real do tubo, uma vez que o comprimento de onda é ligeiramente maior do que o medido diretamente.

Com o comprimento efetivo definido, a partir de (1), (2) e (3), aplicamos o modelo do harmônico fundamental em tubos semiabertos

$$f(L, T, r) = \frac{v}{4L_{ef}}, \quad (4)$$

evidenciando que a frequência depende tanto da velocidade do som no ar (já corrigida na primeira expansão do modelo) quanto da geometria real do tubo. Isso permite que os alunos percebam que a frequência emitida não depende apenas do comprimento físico ou da temperatura, mas também de fatores geométricos.

Assim, ao retomar a situação-problema inicial sobre o ruído de motocicletas, os alunos dispõem de um conjunto mais robusto de ideias, capazes de sustentar explicações e soluções fundamentadas que integram teoria e modelos expandidos.

Vale destacar que esses modelos são complexos demais para serem deduzidos no ensino médio. Por isso, nossa proposta é discutir as hipóteses que sustentam sua construção de cada modelo, sem apresentar a dedução integral. O sentido físico aparece de maneira mais clara quando conectamos essas hipóteses às observações realizadas pelos próprios alunos. No caso da correção do comprimento efetivo, por exemplo, os estudantes poderão notar — ao observar a apresentação dos grupos — que tubos com o mesmo

comprimento, mas com diâmetros diferentes, acabam produzindo frequências distintas. Essa constatação abre espaço para compreender por que o modelo precisa levar em conta o raio da abertura do tubo.

Da mesma forma, a relação entre temperatura e velocidade do som ganha significado quando vinculada a uma demonstração investigativa. Alguns alunos, sob observação dos demais, testarão a propagação do som através de materiais diferentes ao posicionarem sacolas preenchidas com substâncias distintas em cada ouvido, analisando como percebem a fala dos colegas. A intenção é que eles percebam que as propriedades do meio influenciam diretamente a rapidez com que a onda sonora se propaga. Assim, quando retomarmos a equação que relaciona velocidade e temperatura — apresentada apenas em seu papel conceitual — os estudantes poderão compreender que a temperatura altera características internas do ar, como sua densidade e seu comportamento termodinâmico, e que isso é justamente o que faz a velocidade do som aumentar ou diminuir.

Encontro 3.3 – Aplicação dos modelos expandidos e discussão sobre a problemática inicial:

Após a apresentação desse modelo e um momento de reflexão para analisar o conceito por trás das equações 2 e 3, o professor pergunta aos alunos como eles poderiam se aproximar ainda mais da frequência medida pelo software. Nesse ponto, espera-se que os estudantes recorram às equações discutidas anteriormente, aplicando tanto a correção de extremidade quanto a relação entre velocidade e temperatura para ajustar seus cálculos e obter valores mais próximos dos observados experimentalmente. Em seguida, após a análise dos dados, solicitamos que cada grupo apresente suas medidas e tente responder ao problema inicial, retomando a situação-problema com base no novo conjunto de ideias desenvolvido ao longo da aula.

Não é esperado que os estudantes sejam capazes de dar explicações completas, mas sim que utilizem o conhecimento estudado para dar respostas plausíveis à luz de conhecimentos científicos. O(a) professor(a) utilizará esse momento final para expor uma possível solução ao problema, que, mesmo que o escapamento real não seja um tubo cilíndrico perfeito, as mesmas ideias se aplicam: aumentar o comprimento efetivo ou acoplar outros tubos e câmaras faz a frequência fundamental diminuir, deixando o som mais grave. Assim, os alunos serão capazes de entender que muitas alterações feitas em motos criam um ‘tubo equivalente’ mais longo, capaz de gerar baixas frequências.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo propor uma atividade de ensino investigativa sobre acústica, orientada pelos princípios da MDC+, a partir de uma flauta pão, e da situação-problema sobre tubos de descarga em motocicletas. No produto educacional apresentado,

os alunos foram incentivados a experimentar, levantar hipóteses próprias e planejar os passos seguintes de forma autônoma, o que reflete a essência do ensino por investigação. Ao mesmo tempo, a utilização do modelo conceitual por trás da atividade proporcionou uma base estruturada que orientou a exploração e a análise dos resultados, integrando o caráter investigativo com a formalização do conhecimento específico de física e o conhecimento sobre o processo de modelagem científica, presente na MDC+, em particular o conceito de expansão/generalização.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANDÃO, R. V.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. A modelagem científica vista como um campo conceitual. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, n. 3, p. 507-545, dez. 2011.

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

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Ensino de ciências por investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 765-794, dez. 2018.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentals of Physics**. 9. ed. [S. l.]: Wiley, 2011.

HEIDEMANN, Leonardo Albuquerque; ARAUJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Modelagem Didático-científica: integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 1, p. 3-32, abr. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n1p3>. Acesso em: 15 dez. 2025.

HOLMES, Natasha G.; WIEMAN, Carl E. Introductory physics labs: We can do better. **Physics Today**, [S. l.], v. 71, n. 1, p. 38-45, 2018.

MOREIRA, Marco Antonio. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 43, e20200451, 2021.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2000.

RAMALHO JÚNIOR, F.; NICOLAU, G.; FERRARO, C. **Física 2**. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2016.

VERGNAUD, Gérard. La théorie des champs conceptuels. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, Grenoble, v. 10, n. 2/3, p. 133–170, 1990.