SUSTENTABILIDADE E APRENDIZAGEM COLABORATIVA EM UMA PRÁTICA PEDAGÓGICA: UM EXPERIMENTO DE TRANSMISSÃO DE CALOR

Rodrigo Baldow de Souza [1]
Ademar Virgolino da Silva Netto [2]

RESUMO

Nos últimos anos, tem-se observado um aumento significativo na quantidade de resíduos produzidos no mundo, intensificando as discussões acerca de alternativas para mitigar os impactos ambientais associados a esse problema. Entre as estratégias propostas, destaca-se a reutilização de materiais para a diminuição do descarte de resíduos. Nesse contexto, experimentos científicos no ambiente escolar podem ser desenvolvidos a partir do reaproveitamento de materiais e do uso de recursos de baixo custo, favorecendo o processo de ensino e aprendizagem em disciplinas como a Física. Com base nessa perspectiva, realizou-se uma oficina em uma escola pública localizada em João Pessoa (PB) com estudantes da terceira série do Ensino Médio. Os discentes, organizados em equipes, desenvolveram um experimento de baixo custo sobre a transmissão de calor por convecção e o fenómeno da inversão térmica. A atividade buscou analisar o processo de aprendizagem colaborativa e a evolução da compreensão conceitual dos participantes. Por meio do registro em vídeo e áudio, observaram-se as interações, discussões e estratégias adotadas na resolução de problemas. Os resultados evidenciaram a efetividade do trabalho colaborativo e a capacidade dos estudantes em articular conhecimentos teóricos à prática experimental, promovendo uma aprendizagem significativa.

Palavras-chave: Sustentabilidade; Experimento de Baixo Custo; Ensino de Física; Aprendizagem Colaborativa.

[1] Doutor em Ensino de Ciências pela Universidade Federal Rural de Pernambuco- UFRPE, rodrigobaldow@gmail.com.
[2] Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, ademar@cear.ufpb.br.

Introdução

Vivemos em uma sociedade bastante consumista que tem usufruído de muitos recursos naturais e gerado cada vez mais lixo. Mesmo assim, não se percebe uma campanha com o intuído de diminuir esse consumo por não ser interessante para a grande maioria dos governos. O que se observa, em relação aos 3R's, é que se tem incentivado somente a reciclagem por ser um caminho que não atrapalha o consumo. O discurso ecológico alternativo defende a diminuição do consumismo a partir da redução e a reutilização como vias para reduzir a quantidade de lixo gerado pela população (LAYRARGUES, 2002).

Fazer um trabalho em uma escola utilizando a reutilização de materiais parece ser um caminho para mostrar aos jovens de hoje uma forma de poder reduzir a geração de lixo. Nessa esteira, é possível desenvolver práticas pedagógicas nas quais os estudantes podem construir experimentos reutilizando todos ou a maior parte de seus materiais. Uma disciplina que pode ser trabalhada com essa atividade é a Física que é uma ciência que muitos alunos têm tido dificuldade em aprendê-la (RODRIGUES *et al.*, 2014; BERNHARD; CARSTENSEN, 2015), podendo essa prática ser um caminho para ajudá-los a aprender mais sobre essa área do conhecimento. Além disso, experimentos de baixo-custo podem ser acessíveis a todas as escolas, incluindo as que não têm laboratórios. Dessa forma, essas práticas podem proporcionar aos estudantes poderem estudar muitas ciências utilizando materiais que fazem parte de seu cotidiano com experimentos que eles podem desenvolver, inclusive, em casa (SILVA; SALES, 2018; DUARTE, 2012).

A literatura indica que sustentabilidade e aprendizagem colaborativa se fortalecem quando a prática pedagógica combina experiências ativas, resolução de problemas reais e conexão entre teoria e aplicação, exatamente o que um experimento de transmissão de calor pode oferecer em disciplinas de engenharia e STEM (SINGHA; SINGHA, 2024; MUHAMAD NOOR; MAMAT; MOHAMAD, 2024; LOZANO; LÓPEZ GONZÁLEZ; PEREIRA; BLANCO FONTAO, 2022; RAMCHUNDER; ZIEGLER, 2021; HERRERA, 2026; YZNAGA-BLANCO; KAÑETAS; HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, 2026).

Em termos gerais, os estudos convergem para a ideia de que metodologias ativas ligadas à sustentabilidade favorecem engajamento, aprendizagem conceitual e desenvolvimento de competências colaborativas (SINGHA; SINGHA, 2024; RAMCHUNDER; ZIEGLER, 2021; ZHOU; CHEN; CHEN, 2019; STRADA; LÓPEZ; FABRICATORE; BOTTINO, 2023). A aprendizagem sustentável destaca que abordagens experienciais, investigativas, baseada em problemas e em projetos são especialmente úteis para tratar questões ambientais complexas,

desde que haja colaboração e *feedback* contínuo (SINGHA; SINGHA, 2024). Na mesma direção, o estudo sobre aprendizado e ensino colaborativo trazem ganhos em aprendizagem ativa e trabalho em equipe, ainda que os autores apontem a necessidade de investigar melhor a relação entre colaboração e competência em sustentabilidade ZHOU; CHEN; CHEN, 2019).

No campo da educação para a sustentabilidade, trabalhos com projetos reais mostram resultados consistentes. O estudo com aprendizado cooperativo e aprendizado baseado em projeto em contexto escolar encontrou melhora em conhecimentos e habilidades ligados a clima e energia, além de emoções positivas e maior responsabilidade individual e grupal (LOZANO; LÓPEZ GONZÁLEZ; PEREIRA; BLANCO FONTAO, 2022). Já a atividade de sequestro de carbono em espaço verde universitário funcionou como "laboratório vivo", promovendo coleta e análise de dados, resolução de problemas, comunicação e trabalho em equipe, ao mesmo tempo em que aumentou a consciência sobre sustentabilidade. Isso reforça que a sustentabilidade ganha força pedagógica quando o estudante observa um problema concreto e trabalha coletivamente para interpretá-lo (RAMCHUNDER; ZIEGLER, 2021).

Para o tema específico de transmissão de calor, há evidência forte de que experimentação, simulação e modelagem favorecem a compreensão. O trabalho sobre transferência de calor com dispositivo pedagógico relatou maior engajamento em atividades práticas e trabalho em grupo, com *feedback* positivo de estudantes e professores (MAHANTA; DIXIT; DAVIM, 2023). Em outra linha, a proposta com laboratórios objetivos em calor combinou medições experimentais e ferramentas computacionais para desenvolver pensamento crítico e solução de problemas em pequenos grupos (BRUNO; ANDERSON, 2005). Mais recentemente, uma sequência laboratorial escalável e de baixo custo mostrou que a aprendizagem se fortalece quando os alunos conectam repetidamente teoria e experimento, culminando em projeto aplicado com parceiro comunitário (FLEISCHMANN; MANOHARAN, 2026). Também o artigo sobre atividades de transferência de calor usando mostrou que simulações, Arduino, modelagem matemática e validação experimental produziram resultados muito satisfatórios em comparação ao ensino tradicional (GALINDO-ROSALES, 2024; ZARATE-NAVARRO; SCHIAVONE-VALDEZ; CUEVAS; ROMERO-CANO, 2024).

Para um experimento pedagógico sobre transmissão de calor, a revisão aponta que a melhor base teórica é a combinação de aprendizagem colaborativa + metodologia ativa + contexto de sustentabilidade. Em especial, os estudos sugerem que o aluno aprende mais quando investiga problemas reais, manipula dados, testa hipóteses em equipe e relaciona o fenômeno térmico a desafios ambientais e energéticos (SINGHA; SINGHA, 2024; LOZANO;

LÓPEZ GONZÁLEZ; PEREIRA; BLANCO FONTAO, 2022; RAMCHUNDER; ZIEGLER, 2021; HERRERA, 2026).

Diante destas premissas, estabeleceu-se a seguinte questão de pesquisa: *Como uma Prática Pedagógica pautada na Aprendizagem Colaborativa pode subsidiar o desenvolvimento de um experimento de Física de baixo custo a partir da reutilização de materiais?*

Para responder a essa inquietação, o objetivo principal deste estudo consistiu em analisar o processo de aprendizagem de estudantes do Ensino Médio durante a construção colaborativa de um experimento de baixo custo (menos de R$10,0) sobre transmissão de calor. Como foi realizada uma atividade em uma escola a qual teve como fundamentação teórico-metodológica a Aprendizagem Colaborativa, adiante, será discutida a temática.

Aprendizagem Colaborativa

Bach *et al* (2025) destacam que no cenário atual é possível enxergar um aumento no uso interativo de tecnologias e que tem marcado complexidades sociais. Diante destas questões, trabalhar em equipe e ter uma comunicação mais efetiva tem se tornado habilidades muito importantes. Desenvolver práticas pedagógicas que tenham como fundamentação teórico-metodológica a Aprendizagem Colaborativa parece ser um bom caminho que consegue reconhecer a interação social e o aprendizado a partir dela como elementos essenciais. Outros aspectos que os autores reforçam que o trabalho com a Aprendizagem Colaborativa pode desenvolver são habilidades relacionadas ao socioemocional. No momento que os estudantes estão interagindo durante a atividade, eles acabam desenvolvendo sua empatia, respeitando as diferentes opiniões e aprendem a lidar com situações de conflito.

O trabalho com a Aprendizagem Colaborativa exige do professor criar espaços pedagógicos os quais os estudantes vão precisar trabalhar em equipe com o objetivo de resolver o problema que for proposto nesta prática pedagógica. Para isso, os alunos necessitam interagir um com o outro trocando conhecimentos, aprendendo um com o outro, tomando decisões entre eles e encontrando soluções de forma coletiva. O desempenho de cada participante depende da contribuição de todos os outros membros da equipe durante toda a atividade (BARBOSA *et al*, 2025).

Collazos, Muñoz e Hernandez (2014) destacam que no trabalho com a Aprendizagem Colaborativa os estudantes devem ter alguns papéis que são importantes para que eles possam aprender que são:

- **Responsáveis pela aprendizagem**: precisam tomar decisões durante a participação da atividade pedagógica que estão envolvidos;

- **Motivados a aprender**: é importante gostarem de resolver problemas e desafios, tendo gosto com o aprender;

- **Colaborativos:** devem trabalhar juntos, em equipe, de forma que o aprendizado vai ser construído a partir da interação entre os membros;

- **Estratégicos**: É necessário que eles sejam estratégicos visto que durante a atividade vão aparecer problemas que eles deverão encontrar formas de lidar com eles.

Torres e Irala (2014) reforçam a ideia de que quando se realiza uma atividade colaborativa os estudantes necessitam assumir a responsabilidade de ensinar e aprender. Os autores destacam que a construção do conhecimento nessas práticas acontece de forma social. No momento que os estudantes estão interagindo durante a atividade pedagógica. Não sendo os alunos serem passivos nessas práticas.

Collazos, Muñoz e Hernandez (2014) definem um papel que o professor deve ter durante uma prática pedagógica que trabalhe com a Aprendizagem Colaborativa. Durante a atividade, a participação do professor não pode ser trazendo respostas para os estudantes. Ele realiza questionamentos que levem os participantes a pensarem sobre a prática e os problemas que forem aparecendo, sem dar respostas aos alunos. É importante que o docente não dê sua opinião, nem informações que respondam as questões que aparecerem durante a prática. O professor no papel de facilitador pode ajudar sem deixar que os estudantes percam sua responsabilidade de aprenderem a partir da interação entre eles.

Torres e Irala (2014) afirmam que na atividade com a Aprendizagem Colaborativa o professor precisa assumir a responsabilidade de organizar um ambiente pedagógica o qual possibilite os membros das equipes interagirem a ponto de poderem desenvolver habilidades sociais e cognitivas não tendo hierarquia dentro do grupo.

Segundo Collazos, Muñoz e Hernandez (2014), organizar uma prática pedagógica que utilize a Aprendizagem Colaborativa como fundamentação teórico-metodológica, exige detalhes nesse preparo para que se tenha um ambiente mais favorável para que os estudantes possam aprender. Especificidades essas que são: 1. Organizar equipes que tenham alunos com características diferentes; 2. Arrumar os grupos de forma que não tenham tantas pessoas. No máximo quatro por equipe; 3. Organizar o ambiente de forma que as equipes não fiquem muito perto uma das outras; 4. Deixar os integrantes do mesmo grupo perto um do outro; 5. Arrumar

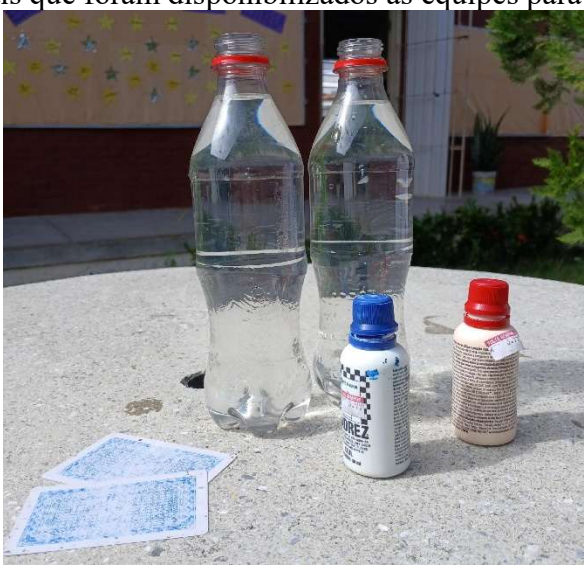
o ambiente de forma que os alunos não se sintam presos. Eles precisam ter a liberdade de poder se mover pelo espaço.

Esses são detalhes que serviram como base para a metodologia utilizada que será discutido a seguir.

Metodologia

A atividade foi desenvolvida em uma escola pública no município de João Pessoa (PB), envolvendo estudantes da terceira série do Ensino Médio. Os discentes organizaram-se autonomamente em equipes com 4 a 5 integrantes para a construção do experimento "Inversão Térmica". O professor pesquisador validou a heterogeneidade das formações. O espaço físico foi organizado garantindo distanciamento entre as bancadas de trabalho e liberdade de movimentação. Os materiais disponibilizados a cada grupo são apresentados na Figura 01.

Figura 01 - Materiais que foram disponibilizados as equipes para fazer o experimento



Fonte: Foto registrada pelos autores.

Uma das equipes foi filmada com o intuito de depois transcrever o diálogo entre os membros para servir como dados a serem analisados. Duas outras equipes, ao finalizar seus respectivos experimentos, foi feito o registro em vídeo e realizado questionamentos sobre o experimento com o intuito de saber o que eles tinham entendido sobre o mesmo. Foi feita a transcrição desses diálogos para analisá-los.

Com o objetivo de preservar o anonimato dos estudantes, o nome deles não foram identificados nas transcrições que serão mostradas no próximo tópico. Eles foram identificados como estudantes de 01 a 09.

Sobre a videografia, Garcez, Duarte e Eisenberg (2011), baseados em Honorato *et al* (2006), destacam que muitas informações não são percebidas somente com a voz. Um gravador pode não captar muitos ditos que não são expressos oralmente. O som junto com a imagem em movimento pode mostrar muitos significados e sentidos que poderão ser interpretados a partir das palavras manifestadas e os gestos.

Análises, Resultados e Discussão

Na Tabela 01 são apresentados os materiais que foram utilizados para fazer o experimento e seus respectivos valores. No caso dos que foram reutilizados a partir de materiais recicláveis foram informados com custo de R$ 0,00.

Tabela 1: Materiais e Preços do Experimento Inversão Térmica

Materiais	**Quantidade**	**Preço**
Garrafa pet 500ml	02	R$ 0,00
Tinta	2 cores diferentes	R$ 1,00
Carta de baralho	01	R$ 0,00
Água fervida	500ml	R$ 0,00
Água gelada	500ml	R$ 0,00
TOTAL	-	R$ 1,00

Fonte: Elaborada pelos autores

É possível verificar na Tabela 01 que cada experimento custou somente R$ 1,00 referente ao custo da tinta. O que indica ser de baixo custo, pois na proposta inicial esperava-se ter um custo menor que R$10,0 por experimento tornando acessível para o professor fazer a aquisição para seus alunos ou para a direção disponibilizar o material necessário, ele pode ser feito por qualquer um em casa, assim como em qualquer escola. Além disso, dos três materiais utilizados (tirando a água), dois foram reutilizados. Mostrando que esse é um exemplo de experimento que pode ser utilizado dentro da perspectiva da Sustentabilidade

(LAYRARGUES, 2002) ao trazer uma solução para materiais que teriam como destino o lixo residencial.

A seguir serão apresentadas algumas transcrições a partir dos registros. Em um determinado momento da atividade, uma equipe começa a colocar o corante dentro das garrafas que estão cheias de água e começam a debater sobre esse processo.

Estudante 01: Mexe.
Estudante 02: Me dá uma tampa dessa.
Estudante 03: Mexe, Estudante 02.
Estudante 02: Como é que eu vou mexer sem a tampa?

Estudante 02 pega a tampa da outra garrafa que já mexeram, e coloca na outra que falta balançar para o líquido ficar com a cor do corante.

Estudante 01: Mexe, Estudante 02.

Estudante 02 começa a mexer.

Estudante 02: Não tá mexendo (chegando na cor)

Estudante 02 começa a mexer com mais força.

Estudante 01: Tá bom.

Elas param de balançar.

Estudante 03: Bota a quente é?
Estudante 02: Agora não.
Estudante 03: A quente em baixo. Vem, Estudante 01.
Estudante 02: Agora não. Espera.

Estudante 03 coloca a carta em cima da garrafa que estão com a água quente.

Estudante 01: Aqui é melhor.

Elas começam a verificar como a equipe do lado está fazendo para colocar a garrafa em cima da outra. Colocam a carta na garrafa com água fria e a coloca em cima da quente. Uma garrafa em cima da outra. Estudante 03 começa a tirar a carta com calma.

Estudante 01: Calma! Solta.
Estudante 02: Deu certo.
Professor/pesquisador: O que está acontecendo aí (aponta para o experimento)?
Estudante 03: Uma trocação.
Professor/pesquisador: O que está subindo?

Estudante 01: A de baixo está subindo.
Estudante 03: O ar quente.
Estudante 01: A quente está subindo para a gelada.
Professor/pesquisador: O quente está subindo?
Estudante 04: Isso.
Professor: E em baixo está acontecendo alguma coisa?
Estudante 02: Tá descendo.
Estudante 03: Tá descendo o vermelho.
Professor/pesquisador: Então, quem é que está subindo?
Estudante 01: O quente tá subindo e o gelado tá descendo.
Professor/pesquisador: Vocês lembram de alguma coisa que estudamos?
Estudante 01: O ar-condicionado que o ar gelado desce e o quente sobe.

Na Figura 02 é ilustrado o experimento elaborado por essa equipe. Neste caso o processo da mistura já iniciou, pois foi retirada a carta que separava os líquidos entre as garrafas. Nesse trecho das conversas dessa equipe, é possível perceber como os estudantes ficam ajudando um ao outro para fazer o experimento e compreender seu funcionamento, assim como a partir das perguntas feitas pelo professor, os estudantes mostraram que conseguiram entender a ideia do experimento. Nesse momento foi possível observar os estudantes aprendendo um com o outro a partir da interação deles indo ao encontro do que Barbosa *et al* (2025), Torres e Irala (2014) e Collazos, Muñoz e Hernandez (2014) que defendem que nas práticas pedagógicas que utilizam a Aprendizagem Colaborativa, os alunos conseguem aprender a partir dessa troca que existe um com o outro durante todo o processo que acontece a prática.

Figura 02 - Experimento de uma equipe



Fonte: Foto registra pelos autores.

Em outra equipe, ao tirar a carta entre as garrafas, os estudantes começaram a verificar o experimento.

> Estudante 05: Eita, misenga! Nós é brabo. Fala aí.
> Professor/pesquisador: Presta atenção aí no que está acontecendo.
> Estudante 06: A de cima tá descendo e a de baixo está subindo.
> Estudante 05: Mas é porque...
> Professor/pesquisador: A de baixo é qual água?
> Estudante 06: É a quente.
> Professor/pesquisador: E a de cima?
> Estudante 05: Essa é a gelada (aponta para a de cima) e essa é a quente (aponta para a de baixo).
> Estudante 06: A quente tá subindo e a gelada tá descendo.

Nesse momento da atividade dessa equipe foi possível perceber que os estudantes conseguiram entender o funcionamento do experimento a ponto de explicá-lo. O que mostra que a prática pedagógica que trabalhou com a Aprendizagem Colaborativa teve seu êxito visto que os estudantes conseguiram aprender com a atividade. Foi percebido que o professor fez seu papel de facilitador, conforme Collazos, Muñoz e Hernandez (2014), ao trazer questionamento que fizeram com que os estudantes pensassem sobre o experimento a ponto de explicar como ele funcionava.

Na Figura 03 é apresentado o experimento realizado por duas equipes diferentes, sendo da parte da frente da imagem (o da cor verde) da equipe citada anteriormente e o mais de trás (o vermelho e laranja) de outra equipe.

Figura 03 - Experimento de duas equipes



Fonte: Foto registrada pelos autores

Em um outro momento, o professor/pesquisador foi conversar com outra equipe que tinha terminado de fazer o experimento.

> Professor/pesquisador: O que é que vocês verificaram ali?
> Estudante 07: Que as temperaturas das águas mudaram e as tintas (as águas com os pigmentos das duas garrafas) se misturaram.
> Professor/pesquisador: Vocês viram alguma movimentação da água?
> Estudante 08: A água quente subiu para a gelada.
> Professor/pesquisador: E a de cima, se movimentou?
> Estudante 09: Se misturou com a quente. Quando a água da garrafa quente subia, a água da garrafa gelada descia.
> Professor/pesquisador: Vocês lembram de algum assunto que foi trabalhado que tem a ver com esse experimento?
> Estudante 08: Posso dar o exemplo do ar-condicionado?
> Professor/pesquisador: Pode.
> Estudante 08: Quando o ar-condicionado está na parede lá em cima, o ar gelado ele tende a descer...
> Estudante 07: E o ar quente tende a subir.

A partir deste diálogo, é possível perceber que os estudantes conseguiram entender o funcionamento do experimento. O que mostra que essa atividade desenvolvida a partir da Aprendizagem Colaborativa proporcionou aos estudantes de uma forma prática e interativa o que aconteceu entre eles durante todo o processo de desenvolvimento do experimento corroborando com Torres e Irala (2014), Barbosa *et al* (2025) e Collazos, Muñoz e Hernandez (2014) que defendem esta ideia de que práticas pedagógicas que utilizam a Aprendizagem

Colaborativa como fundamentação teórico-metodológica possibilitam aos estudantes poderem aprender a partir da interação entre eles.

Considerações Finais

A presente pesquisa analisou as contribuições de uma prática pedagógica pautada na Aprendizagem Colaborativa e na construção de um experimento de baixo custo sobre transmissão de calor (convecção térmica e inversão térmica) no Ensino Médio. Os resultados demonstraram a viabilidade técnica e financeira da proposta, cujo custo reduzido (R$ 1,00 por protótipo devido ao uso de materiais recicláveis) ratifica a sua aplicabilidade em escolas públicas desprovidas de infraestrutura de laboratório e que muitas vezes os custos são desprendidos pelo professor da disciplina. A incorporação de garrafas PET descartáveis promoveu a reflexão sobre a reutilização de resíduos sólidos sob a ótica da Sustentabilidade Crítica.

Sob a perspectiva pedagógica, a Aprendizagem Colaborativa atuou como elemento central para o engajamento, a autonomia e o trabalho em equipe dos estudantes. Durante a montagem e manipulação do protótipo, observou-se que os discentes assumiram o protagonismo da atividade, debatendo hipóteses, superando dificuldades operacionais, como o manuseio adequado das garrafas e da carta de baralho e auxiliando-se mutuamente na tomada de decisões.

A mediação docente, pautada na função de facilitador, foi determinante nesse processo por meio de questionamentos reflexivos, o professor orientou as discussões sem fornecer respostas prontas, estimulando a investigação científica. Como resultado dessa interação, verificou-se que os grupos compreenderam satisfatoriamente os conceitos de densidade e correntes de convecção associados à transmissão de calor, sendo capazes de correlacionar o comportamento dos fluidos no experimento a fenômenos do cotidiano, como o funcionamento dos aparelhos de ar-condicionado.

Conclui-se que a articulação entre sustentabilidade, experimentação de baixo custo e Aprendizagem Colaborativa se constituiu em um caminho pedagógico eficiente para o ensino de Física. Recomenda-se a aplicação dessa abordagem a outros tópicos do currículo escolar e a realização de estudos futuros com acompanhamento quantitativo da aprendizagem.

Referências

BACH, O. I. A Aprendizagem Colaborativa: Um Caminho Para a Co-Construção do Conhecimento no Século XXI. **Missioneira**, v. 27, n. 4, p. 265-269, 2025.

BARBOSA, Anderson; *et al***.** Aprendizagem Colaborativa: Definição, Aplicações e o Papel do Professor. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**. São Paulo, v. 11, n. 4, abr. 2025.

BERNHARD, J., & CARSTENSEN, A-K. (2015). **Learning and Teaching Electrical Circuit Theory. Physics Teaching in Engineering Education**, p. 163-178.

BRUNO, B.A.; ANDERSON, A.M. Using objective-driven heat transfer lab experiences to simultaneously teach critical thinking skills and technical content. **Innovations in Engineering Education 2005: Mechanical Engineering Education, Mechanical Engineering Technology Department Heads**. 2005. https://doi.org/10.1115/imece2005-82689

COLLAZOS, C.; MUÑOZ, J.; HERNÁNDEZ, Y. **Aprendizaje Colaborativo Apoyado por Computador**. Projeto LATIn, 2014.

DUARTE, S. E. (2012). Física para o Ensino Médio usando Simulações e Experimentos de Baixo Custo: um Exemplo Abordando Dinâmica da Rotação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 29, n. especial 1, p. 525–542.

FLEISCHMANN, S.; MANOHARAN, S. A scalable and replicable heat transfer laboratory sequence to enhance undergraduate learning. **International Journal of Mechanical Engineering Education**. 2026. https://doi.org/10.1177/03064190261458386

GALINDO-ROSALES, F.J. Critique on STEM activities for heat transfer learning. **Education for Chemical Engineers**. 2024. https://doi.org/10.1016/j.ece.2024.06.002

GARCEZ, A.; DUARTE, R.; EISENBERG, Z. Produção e Análise de Videogravações em Pesquisas Qualitativas. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 37, n.2, p. 249-262, 2011.

HERRERA, J.S. Project-Based Learning for Sustainable Design in a Heat Transfer Course. **Journal of Problem Based Learning in Higher Education**. 2026. https://doi.org/10.54337/ojs.jpblhe.v14i1.10531

HONORATO, A.; *et al*. **A Vídeo-Gravação como Registro, a Devolutiva como Procedimento:** Pensando sobre Estratégias Metodológicas na Pesquisa com Crianças. In: 29º Reunião Anual da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Educação. Caxambu-MG: ANPEd, 2006.

LAYRARGUES, P. P. O Cinismo da Reciclagem: o Significado Ideológico da Reciclagem da Lata de Alumínio e suas Implicações para a Educação Ambiental. In: LOUREIRO, C. F. B.; LAYRARGUES, P. P.; CASTRO, R. S. (Orgs.). **Educação Ambiental**: Repensando o Espaço da Cidadania. São Paulo-SP: Cortez, 2002. Capítulo 7, p. 179-219.

LOZANO, A.; LÓPEZ GONZÁLEZ, R.; PEREIRA, F.J.; BLANCO FONTAO, C. Impact of Cooperative Learning and Project-Based Learning through Emotional Intelligence: A Comparison of Methodologies for Implementing SDGs. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. 2022. https://doi.org/10.3390/ijerph192416977

MAHANTA, N.; DIXIT, U.S.; DAVIM, J.P. A Pedagogical Gadget for Teaching Heat Transfer. *Engineering Pedagogy:* **A Collection of Articles in Honor of Prof. Amitabha Ghosh**. 2023. https://doi.org/10.1007/9789811980169_10

MUHAMAD NOOR; M.F., MAMAT; M.Z., MOHAMAD, Z.F. Impact of Engagement in Campus Sustainability Activities to Competency Development: Change Agents' Experiences and Perspectives. **Sustainability (Switzerland)**. 2024. https://doi.org/10.3390/su16051780

RAMCHUNDER, S.J.; ZIEGLER, A.D. Promoting sustainability education through hands-on approaches: a tree carbon sequestration exercise in a Singapore green space. **Sustainability Science**. 2021. https://doi.org/10.1007/s11625-020-00897-5

RODRIGUES, K. C., MARINHO, E. C. P., SILVA, J. R. S., & CUNHA, K. S. (2014). **Avaliação da Aprendizagem de Eletricidade a partir de uma Proposta de Educação Científica Baseada em Projetos**. In: IV Simpósio Nacional de Ensino de Ciências e Tecnologia. Ponta Grossa-PR, p. 1-12.

SILVA, J. B., & SALES, G. L. (2018). Atividade Experimental de Baixo Custo: o Contributo do Ludião e suas Implicações para o Ensino de Física. **Revista do Professor de Física**, v. 2, n. 2, Artigo 2, p. 27-39.

SINGHA, R.; SINGHA, S. Application of experiential, inquiry-based, problem-based, and project-based learning in sustainable education. **Teaching and Learning for a Sustainable Future: Innovative Strategies and Best Practices**. 2024. https://doi.org/10.4018/978-1-6684-9859-0.ch006

STRADA, F.; LÓPEZ, M.X.; FABRICATORE, C., BOTTINO, A. Leveraging a collaborative augmented reality serious game to promote sustainability awareness, commitment and adaptive problem-management. **International Journal of Human Computer Studies**. 2023. https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2022.102984

TORRES, P. L.; IRALA, E. A. Aprendizagem Colaborativa: Teoria e Prática. In:Patrícia Lupion Torres (Org.). **Complexidade:** redes e conexões na produção do conhecimento. Curitiba-PR: SENAR-PR, Coleção Agrinho. 2014, p. 61-93.

YZNAGA-BLANCO, I.; KAÑETAS, P. J. P.; HERNÁNDEZ-RODRÍGUEZ, F. Transforming Engineering Education through Project-Based Learning: A Solar Water Heater Case Study for Teaching Thermodynamics. **Proceedings of the LACCEI international Multi-conference for Engineering, Education and Technology**. 2026. https://doi.org/10.18687/LACCEI2026.1.1.725

ZARATE-NAVARRO, M.A.; SCHIAVONE-VALDEZ, S.D.; CUEVAS, J.E.; ROMERO-CANO, L.A. (2024) STEM activities for heat transfer learning: Integrating simulation, mathematical modeling, and experimental validation in transport phenomena education. ***Education for Chemical Engineers***. 2024. https://doi.org/10.1016/j.ece.2024.06.004

ZHOU, X.; CHEN, L.-H.; CHEN, C.-L. Collaborative learning by teaching: A pedagogy between learner-centered and learner-driven. **Sustainability (Switzerland)**. 2019). https://doi.org/10.3390/su11041174