

Explorando trocas de calor com o simulador Calorimetria – SimuFísica®

Exploring heat exchanges with the Calorimetry simulator – SimuFísica®

Marco P. M. de Souza ^{1*}, Alex Bonfim Siqueira ¹²

¹ Departamento de Física, Universidade Federal de Rondônia, R. Rio Amazonas, 351, Jardim dos Migrantes, CEP 76900-726, Ji-Paraná, Rondônia, Brasil.

² Escola Estadual Angelina Franciscan Mazutti, R. Valmir Taborda Câmara, 1778, Bom Jardim, CEP 78319-000, Campos de Júlio, Mato Grosso, Brasil.

*E-mail: marcopolo@unir.br

Recibido el 11 de mayo de 2025 | Aceptado el 5 de noviembre de 2025

Resumo

Este artigo apresenta o simulador Calorimetria – SimuFísica®, uma ferramenta computacional interativa desenvolvida para o ensino de processos de troca de calor. O simulador possibilita a exploração audiovisual e dinâmica de fenômenos como o aquecimento de líquidos e o estabelecimento do equilíbrio térmico entre corpos com diferentes temperaturas. Inicialmente, discutimos os fundamentos teóricos da calorimetria que orientam o modelo físico adotado no simulador, seguido da descrição de sua interface e de suas funcionalidades. Dois exemplos de aplicação didática são analisados, ilustrando como a ferramenta pode auxiliar na interpretação de gráficos, na compreensão dos conceitos de calor sensível e calor latente e na visualização das leis de conservação da energia. Os resultados evidenciam o potencial pedagógico do simulador como recurso para o ensino de termodinâmica em níveis médio e inicial de graduação.

Palavras-chave: ensino de calorimetria; simuladores computacionais; aplicativos educacionais; aprendizagem ativa; visualização de fenômenos físicos.

Abstract

This article presents the Calorimetry – SimuFísica® simulator, an interactive computational tool developed for teaching heat exchange processes. The simulator enables dynamic and audiovisual exploration of phenomena such as the heating of liquids and the establishment of thermal equilibrium between bodies at different temperatures. Initially, we discuss the theoretical foundations of calorimetry that guide the physical model adopted in the simulator, followed by a description of its interface and functionalities. Two examples of educational application are analyzed, illustrating how the tool can support the interpretation of graphs, the understanding of the concepts of specific heat and latent heat, and the visualization of the laws of energy conservation. The results highlight the pedagogical potential of the simulator as a resource for teaching thermodynamics at high-school and introductory undergraduate levels.

Keywords: calorimetry teaching; computer simulators; educational apps; active learning; visualization of physical phenomena.

I. INTRODUÇÃO

O uso de simulações computacionais interativas tem se consolidado como uma estratégia pedagógica eficaz no ensino de ciências, especialmente na Física. Desde as primeiras aplicações educacionais de modelagem numérica nas décadas de 1980 e 1990, vários estudos vêm mostrando como os simuladores podem melhorar o ensino de ciências. Projetos como o PhET Interactive Simulations (Wieman C. & Perkins K., 2005) e o Modellus (Teodoro, V. D., 2002) tornaram-se marcos na disseminação desse tipo de ferramenta em contextos escolares e universitários.

As bases teóricas para o uso de simulações estão ligadas a perspectivas construtivistas e de aprendizagem ativa, nas quais o estudante participa ativamente da construção do conhecimento ao manipular variáveis e observar os efeitos de suas escolhas (De Jong, T., & Van Joolingen, W. R., 1998; Jonassen, D. H., 2000). Nessa abordagem, a simulação funciona como um “micromundo exploratório”, permitindo que o aluno teste hipóteses e estabeleça conexões entre modelos teóricos e fenômenos observáveis.

Diversos estudos empíricos têm avaliado a eficiência e o impacto pedagógico de simuladores no ensino de Física. Finkelstein e colaboradores (2005) mostraram que estudantes que utilizaram simulações em substituição parcial a experimentos reais apresentaram ganhos conceituais equivalentes ou superiores. Pesquisas recentes de revisão destacam que o uso de simulações está associado a melhorias significativas na compreensão conceitual (Rutten, N., van Joolingen, W. R. & van der Veen, J. T., 2012), no engajamento (Jaime, D. M. & Leonel, A. A., 2024) e na motivação dos alunos, especialmente quando integradas a metodologias ativas.

O reconhecimento da relevância das simulações no ambiente escolar também é evidenciado por documentos oficiais do Brasil como a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que orienta o uso de recursos tecnológicos como facilitadores do processo de ensino-aprendizagem. Nesse contexto, surgem iniciativas como a plataforma SimuFísica®, que oferece um conjunto de simuladores interativos desenvolvidos para apoiar o ensino de Física em diferentes níveis de escolaridade.

O SimuFísica® é um software educacional multilíngue e multiplataforma composto por dezenas de simuladores voltados para vários tópicos da Física, tais como mecânica, termodinâmica, eletromagnetismo, óptica e física moderna. A plataforma pode ser acessada online gratuitamente por meio do endereço simufisica.com, além de estar disponível como para download como aplicativo para Windows, Android, iOS e Linux. Seu diferencial está na possibilidade de execução offline, na interface intuitiva, na flexibilidade para configuração dos parâmetros físicos em cada simulação e no salvamento das simulações mediante cadastro e login na plataforma. Conforme relatado em trabalhos recentes (Souza, M. P. M., 2024a; Souza, M. P. M., 2024b; Oliveira, C. M., 2024; Souza, M. P. M., 2025), podemos observar o potencial da plataforma para promover o engajamento dos alunos, a autonomia na aprendizagem e a construção ativa do conhecimento.

Neste artigo, apresentamos o aplicativo Calorimetria – SimuFísica®, que possibilita a simulação de processos de aquecimento de líquidos e de equilíbrio térmico. Na Seção II, discutimos os fundamentos teóricos da calorimetria que orientam a construção do modelo físico adotado. Na Seção III, descrevemos a interface e o funcionamento do simulador. Em seguida, na Seção IV, exploramos dois exemplos envolvendo resolução de problemas em sala de aula: o aquecimento de um líquido até sua evaporação e a troca de calor entre uma esfera metálica e um líquido. Por fim, na Seção V, apresentamos as considerações finais.

II. CALORIMETRIA – FUNDAMENTOS

Consideremos o problema de um líquido de massa m_0 aquecido por uma chama de potência ajustável P , porém constante. Para temperaturas abaixo do ponto de ebulição, o calor Q absorvido é proporcional ao aumento de temperatura ΔT , de acordo com a equação:

$$Q = m_0 c \Delta T, \quad (1)$$

em que c é o calor específico do líquido. Por outro lado, a quantidade de calor fornecida pela chama em um intervalo de tempo Δt é:

$$Q = P \Delta t. \quad (2)$$

Assumindo que toda a energia fornecida pela chama é absorvida pelo líquido — e desprezando perdas térmicas e a capacidade calorífica do recipiente —, podemos combinar as equações (1) e (2) para obter a temperatura do líquido como função do tempo:

$$T(t) = T_0 + \frac{Pt}{m_0 c}, \quad \text{para } t \leq t_E. \quad (3)$$

T_0 é a temperatura inicial e t_E é o instante em que a temperatura do líquido atinge o ponto de ebulição T_E , dado por:

$$t_E = \frac{m_0 c (T_E - T_0)}{P}. \quad (4)$$

Após esse instante, o calor fornecido é utilizado na vaporização do líquido. O calor necessário para evaporar uma massa m é dado por:

$$Q = mL, \quad (5)$$

onde L é o calor latente de vaporização. Combinando as equações (2) e (5), a massa evaporada ao longo do tempo, para $t > t_E$, é dada por:

$$m_{vap}(t) = m_0 + \frac{P(t - t_E)}{L}. \quad (6)$$

As equações (1), (3) e (6) constituem a base do modelo físico adotado no simulador Calorimetria para o modo *Aquecimento*, apresentado na Seção III.

Consideremos agora o seguinte problema: uma esfera metálica é inserida dentro de um recipiente contendo um líquido com uma temperatura diferente. Enquanto a temperatura do líquido permanece abaixo do ponto de ebulição, a evolução térmica do sistema é descrita pela lei do resfriamento de Newton, resultando no seguinte sistema de equações diferenciais ordinárias (Silva, W. P., 2003):

$$c_{liq} \frac{dT_{liq}}{dt} = -k(T_{liq} - T_{esf}), \quad (7a)$$

$$c_{esf} \frac{dT_{esf}}{dt} = k(T_{liq} - T_{esf}), \quad (7b)$$

em que c_{liq} e c_{esf} são os calores específicos do líquido e da esfera, respectivamente, e k é uma constante relacionada à taxa de transferência de calor, a qual depende da condutividade térmica e da área de contato entre as substâncias. O valor de k é adotado arbitrariamente como 1 cal/(g.°C.s) no simulador.

As soluções para o sistema (7), com as condições iniciais $T_{liq}(0) = T_0^{liq}$ e $T_{esf}(0) = T_0^{esf}$, são:

$$T_{liq}(t) = \frac{c_{esf} T_0^{esf} + c_{liq} T_0^{liq}}{c_{esf} + c_{liq}} + \frac{c_{esf}(T_0^{liq} - T_0^{esf})}{c_{esf} + c_{liq}} \exp \left[-\frac{k(c_{esf} + c_{liq})t}{c_{esf} c_{liq}} \right], \quad (8a)$$

$$T_{esf}(t) = \frac{c_{esf} T_0^{esf} + c_{liq} T_0^{liq}}{c_{esf} + c_{liq}} - \frac{c_{esf}(T_0^{liq} - T_0^{esf})}{c_{esf} + c_{liq}} \exp \left[-\frac{k(c_{esf} + c_{liq})t}{c_{esf} c_{liq}} \right]. \quad (8b)$$

Quando o líquido atinge o ponto de ebulição T_E^{liq} , sua temperatura se mantém constante e a energia transferida pela esfera é utilizada exclusivamente na vaporização. Nesse caso, a dinâmica do sistema é determinada pelas seguintes equações:

$$T_{liq}(t) = T_E^{liq}, \quad (9a)$$

$$T_{esf}(t) = T_E^{liq} + (T_0^{esf} - T_E^{liq}) \exp \left[-\frac{k}{c_{esf}} (t - T_E^{liq}) \right], \quad (9b)$$

$$m_{vap}(t) = \frac{|m_{esf} c_{esf} (T_{esf} - T_{liq})| - m_{liq} c_{liq} (T_E^{liq} - T_{liq})}{L}, \quad (9c)$$

em que m_{esf} e m_{liq} representam a massa da esfera e a massa inicial do líquido, e m_{vap} é a massa de líquido vaporizada. As equações (8) e (9) descrevem a dinâmica do simulador Calorimetria no modo *Equilíbrio térmico* e permitem que ele reproduza com fidelidade as etapas envolvidas na troca de calor com e sem mudança de fase.

É importante destacar que o modelo implementado nesta Seção adota hipóteses simplificadoras, como a ausência de perdas térmicas para o ambiente e a absorção integral da energia fornecida pela fonte de calor. No simulador, no modo *Aquecimento*, a transferência de energia é representada por uma chama sob o bquer, que na realidade irradiaria calor em todas as direções, sendo apenas uma fração absorvida pelo líquido e pelo recipiente. Essa idealização tem caráter pedagógico: permite representar o processo de aquecimento com base na relação direta entre potência fornecida, variação de temperatura e mudança de fase, sem introduzir parâmetros adicionais de difícil estimativa no ensino médio, como emissividade e geometria de irradiação.

A intenção do simulador não é reproduzir quantitativamente um experimento real de laboratório, mas oferecer uma visualização interativa dos processos de aquecimento e equilíbrio térmico coerente com os modelos teóricos clássicos. Aplicativos da plataforma SimuFísica® com enfoque mais experimental, como Pêndulo filmado (Souza, M. P. M., 2025), Laboratório virtual: queda livre, Laboratório virtual: interferômetro de Michelson e Laboratório virtual: pêndulo simples, são mais adequados para análises quantitativas comparativas com medições reais.

III. O SIMULADOR CALORIMETRIA – SIMUFÍSICA®

O simulador Calorimetria (Fig. 1), disponível na plataforma SimuFísica®, é uma ferramenta interativa voltada para o ensino e a aprendizagem dos principais conceitos associados às trocas de calor. A simulação permite visualizar e explorar processos de aquecimento e de equilíbrio térmico de maneira dinâmica e audiovisual, sendo adequada tanto para o ensino médio quanto para disciplinas introdutórias de física no ensino superior.

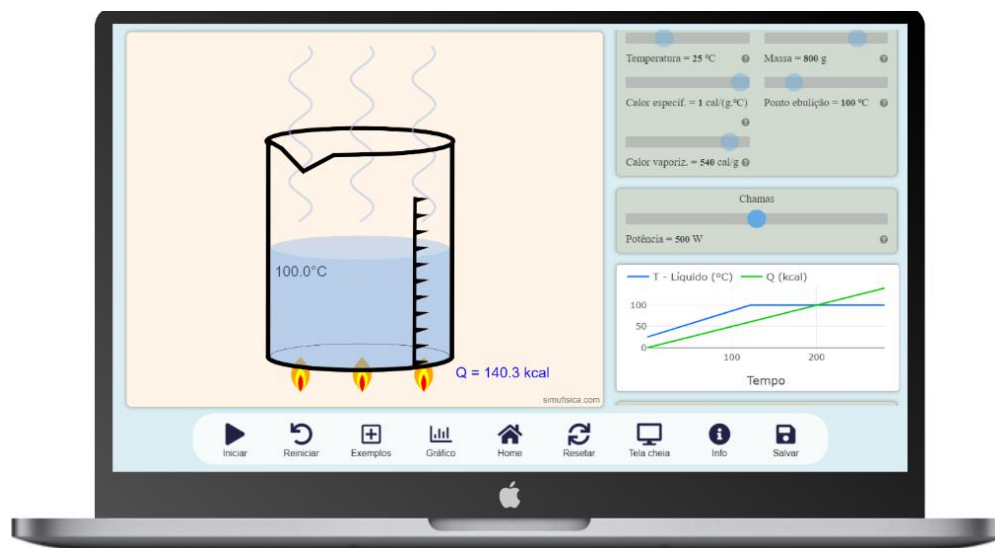


FIGURA 1. Simulador Calorimetria, da plataforma SimuFísica®, na versão online para desktop, configurado no modo *Aquecimento*. Link para acesso: <https://simufisica.com/simulacoes/calorimetria/>.

A interface do simulador foi pensada para ser intuitiva e funcional em diferentes dispositivos tanto computadores com telas grandes como smartphones, garantindo clareza na representação dos fenômenos físicos. Os elementos visuais centrais são o bquer com o líquido, a chama e a esfera metálica (quando presente). Os parâmetros físicos relevantes podem ser ajustados por meio de campos numéricos dispostos em painéis laterais, como mostrado na Fig. 1.

Há dois modos de simulação: *Aquecimento* e *Equilíbrio térmico*. No primeiro, o usuário observa a transferência de energia térmica para um líquido sendo aquecido por uma chama de potência regulável. É possível configurar propriedades como temperatura inicial, massa, calor específico, ponto de ebulição e calor de vaporização. A simulação apresenta o aquecimento do líquido até seu ponto de ebulição e, em seguida, a fase de vaporização, sendo finalizada automaticamente quando todo o líquido evapora.

No modo *Equilíbrio térmico*, o cenário simula a imersão de uma esfera metálica aquecida em um líquido mais frio, sem a presença de fonte externa de calor. A simulação inicia quando o usuário, através da função de clicar e arrastar do mouse ou dos dedos, no caso de o dispositivo possuir uma tela sensível ao toque, solta a esfera no recipiente. Além dos parâmetros do líquido, é possível configurar a temperatura inicial, a massa e o calor específico da esfera metálica. A simulação acompanha o processo de troca de calor entre os corpos até atingir o equilíbrio térmico, obedecendo ao princípio da conservação da energia.

Em ambos os modos de operação, o simulador exibe em tempo real o calor absorvido pelo líquido. Um diferencial relevante é a presença de efeitos sonoros que sinalizam eventos específicos, como o som da chama durante o aquecimento ou o impacto da esfera com o líquido e com o fundo do recipiente, contribuindo para uma experiência sensorial mais rica.

Na barra de ferramentas inferior, duas funcionalidades ampliam o potencial pedagógico do simulador: o botão *Exemplos*, que disponibiliza configurações prontas (como *Aquecimento do etanol* ou *Alumínio na água*), e o botão *Gráfico*, que exibe a evolução temporal da temperatura do líquido, da temperatura da esfera e do calor trocado, permitindo uma análise simultânea e comparativa dessas variáveis.

Com comandos simples como os botões Iniciar e Pausar localizado na barra de ferramentas inferior, o usuário tem controle direto da simulação, podendo alternar entre análise qualitativa e quantitativa. Além disso, o usuário pode, através de cadastro e login na plataforma, usar a funcionalidade do botão *Salvar* para guardar a simulação, juntamente com os parâmetros configurados, para acesso posterior, o que pode facilitar a rápida inicialização de uma atividade em sala de aula. Esses botões, juntamente com outros como o botão *Home*, compõem a interface padrão de vários simuladores do SimuFísica — consulte as referências (Souza, M. P. M., 2024a; Souza, M. P. M., 2024b; Oliveira, C. M., 2024) para mais informações.

IV. EXEMPLOS DE USO

Apresentamos nesta seção dois exemplos de atividades didáticas com o simulador Calorimetria, visando ilustrar seu uso em sala de aula para promover a compreensão de conceitos fundamentais sobre trocas de calor e mudanças de fase.

A. Problema 1

Um recipiente contém 500 g de água a 20 °C. Essa água é aquecida por uma chama que transfere, ao longo do tempo, 148 kcal de calor. Desconsidere a capacidade térmica do recipiente. O calor específico da água e o calor latente de vaporização são 1 cal/(g·°C) e 540 cal/g, respectivamente.

- (a) Qual é a temperatura final da água?
 (b) Houve evaporação da água? Se sim, qual foi a massa evaporada?

Solução: Para resolver o item (a), usamos a fórmula do calor sensível:

$$Q = mc\Delta T, \quad (10)$$

onde $Q = 148$ kcal, $m = 500$ g = 0,5 kg e $c = 1$ kcal/(kg·°C). Usando esses dados e isolando ΔT na equação (10), chegamos em

$$\Delta T = \frac{Q}{mc} = 296 \text{ °C}. \quad (11)$$

Como a água inicia a 20 °C, a temperatura final seria, caso não houvesse mudança de fase,

$$T_f = 20 + 296 = 316 \text{ °C}. \quad (12)$$

(isso pode ser conferido no simulador ao aumentarmos artificialmente o ponto de ebulição da água para acima de 316 °C). Contudo, na pressão atmosférica ao nível do mar, a água entra em ebulição a 100 °C, portanto a temperatura não pode ultrapassar esse valor. A energia excedente após atingir 100 °C provoca evaporação. Vamos calcular quanto calor é necessário para aquecer a água de 20 °C até 100 °C:

$$Q_1 = mc(100 - 20) = 0,5 \times 1 \times 80 = 40 \text{ kcal}. \quad (13)$$

Dessa forma, sobram

$$Q_2 = 148 - 40 = 108 \text{ kcal} \quad (13)$$

para serem usados na mudança de fase. A massa do evaporada é, portanto:

$$m_{\text{vap}} = \frac{Q_2}{L} = \frac{108}{540} = 200 \text{ g.} \quad (14)$$

Assim, a temperatura final da água é 100 °C e a massa de água evaporada, 200 g, restando 300 g de água no béquer.

Comparação com o simulador. Ao configurar o simulador com os parâmetros descritos (modo *Aquecimento*, 500 g de água, 20 °C iniciais, calor específico 1 cal/g·°C e valor latente 540 g/cal), observamos que a temperatura do líquido se eleva linearmente até 100 °C, conforme previsto pela equação de aquecimento. Após esse ponto, a curva de temperatura no gráfico se estabiliza, indicando a fase de ebulição (ver gráfico da Fig. 2).

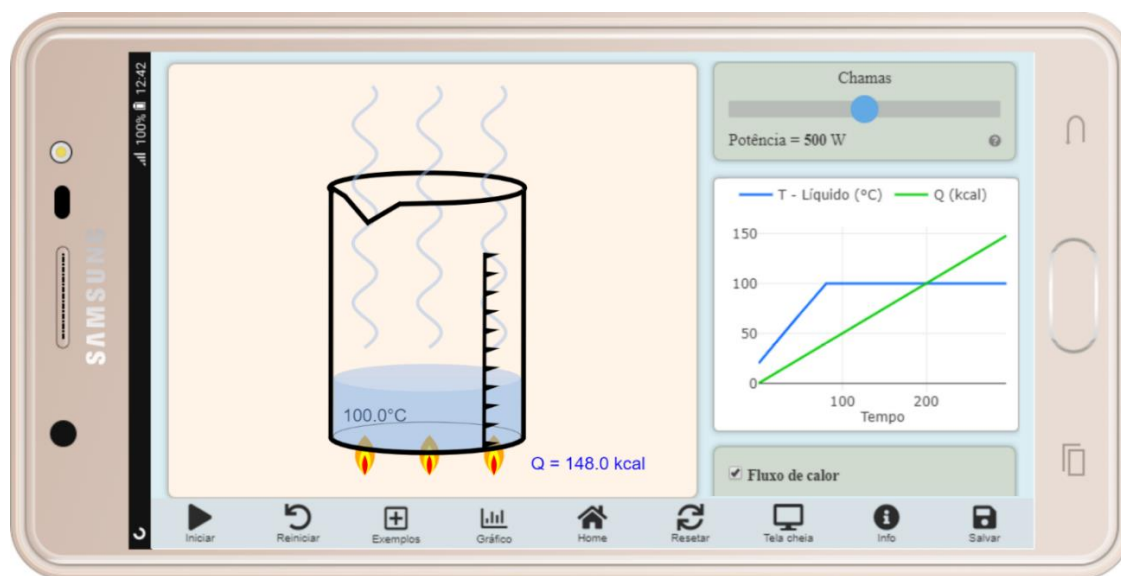


FIGURA 2. Simulador configurado para o Problema 1, no modo *Aquecimento* e na versão online para smartphone, onde podemos observar a evaporação da água após os 100 °C. No gráfico, temos as curvas de temperatura e de calor absorvido pela água em função do tempo. Link para acesso a essa configuração: <https://simufisica.com/sRyIT>.

Simultaneamente, o valor de calor absorvido indicado pelo simulador continua aumentando, o que confirma a ocorrência de vaporização. O nível do líquido no béquer (ver graduação do béquer na Fig. 2) começa a baixar gradativamente após o início da ebulição. Até atingir 148 kcal de calor absorvido, o nível do líquido desce de 500 g para 300 g, em concordância com o cálculo realizado (cada 100 g corresponde a uma graduação do recipiente). Esse exemplo demonstra como o simulador pode ser utilizado para reforçar o entendimento qualitativo e quantitativo dos conceitos de calor sensível, calor latente e mudanças de fase, promovendo uma abordagem comparativa entre teoria e simulação, além de trabalhar a questão da interpretação de gráficos.

B. Problema 2

Uma esfera de aço de 200 g, aquecida a 600 °C, é inserida em um recipiente contendo 700 mL de água a 25 °C. Desconsidere a capacidade térmica do recipiente. Não há mudança de fase nesse problema.

(a) Encontre a temperatura final do sistema.

(b) Calcule a quantidade de calor transferida da esfera para a água até o equilíbrio térmico. Dados – calor específico do aço: 0,1 cal/g·°C; calor específico da água: 1 cal/g·°C; densidade da água: 1 g/cm³.

Solução. A massa da água é 700 g, pois sua densidade é 1 g/cm³:

$$m_{\text{água}} = 700 \text{ g.} \quad (15)$$

Seja T_f a temperatura final de equilíbrio térmico. Como não há perdas e não ocorre mudança de fase, o calor cedido

pela esfera é igual ao calor absorvido pela água:

$$m_{\text{aço}} c_{\text{aço}} (T_{\text{aço}} - T_f) = m_{\text{água}} c_{\text{água}} (T_f - T_{\text{água}}). \quad (16)$$

Substituindo os valores, chegamos em

$$12000 - 20T_f = 700T_f - 1750, \quad (17)$$

cuja solução é

$$T_f \approx 40,97 \text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (18)$$

Assim, com base na equação (1), o calor cedido pela esfera é:

$$Q = 200 \times 0,1 \times (600 - 40,97) \approx 11,18 \text{ kcal}. \quad (19)$$

Comparação com o simulador. Ao configurar o simulador no modo *Equilíbrio térmico*, com a esfera metálica a 600 °C e a água a 25 °C, observa-se a diminuição da temperatura da esfera e o aumento da temperatura da água até estabilizarem-se em torno de 41 °C, como mostra o gráfico gerado pela simulação (Fig. 3).

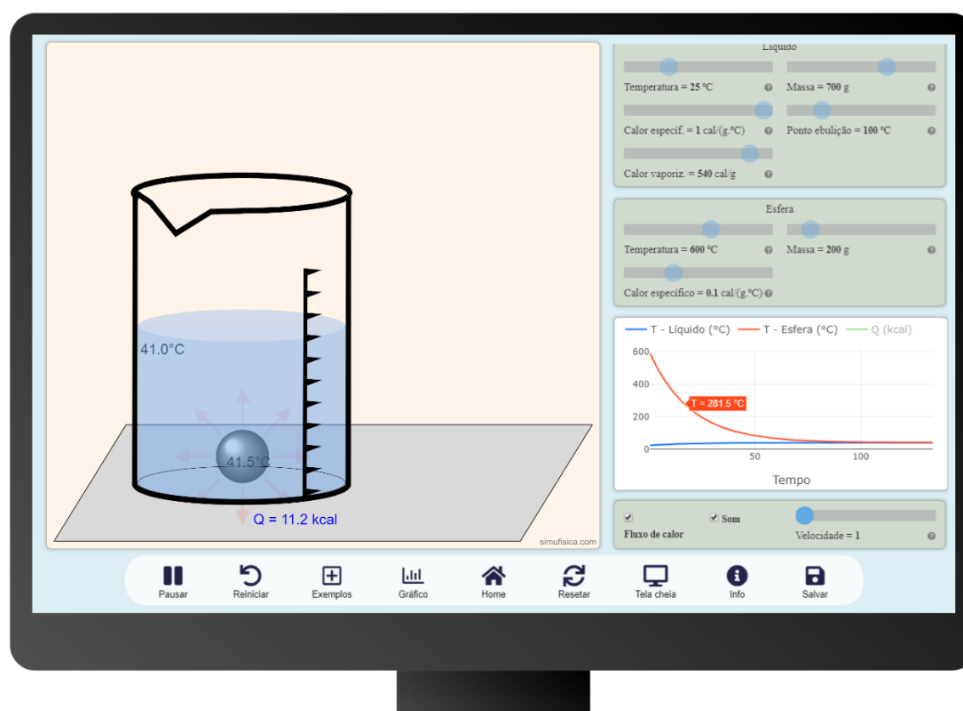


FIGURA 3. Simulador configurado para o Problema 2, no modo *Equilíbrio térmico* e na versão online para desktop, onde temos o final da simulação quando o sistema atingiu a temperatura de 41 °C, com um calor trocado de 11,2 kcal. No gráfico, temos as curvas das temperaturas da água e da esfera em função do tempo. Link para acesso a essa configuração: <https://simufisica.com/EMJ6d>.

A curva da temperatura da água cresce suavemente até o equilíbrio, enquanto a da esfera decresce rapidamente. Esse é um ponto que pode ser explorado pelo professor para ilustrar como diferentes calores específicos influenciam no aumento da temperatura. O calor absorvido pelo líquido cessa quando atinge 11,2 kcal, como mostrado na simulação (Fig. 3), em conformidade com os cálculos feitos. Esse exemplo reforça a utilidade do simulador na visualização de processos de equilíbrio térmico, oferecendo uma representação gráfica clara e quantitativa de todo o fenômeno.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho abordou o simulador Calorimetria – SimuFísica®, destacando seu potencial como ferramenta de apoio ao ensino de conceitos fundamentais relacionados às trocas de calor. Ao permitir a simulação de processos de aquecimento e de equilíbrio térmico, o simulador oferece aos estudantes uma experiência interativa, intuitiva e visualmente rica, que favorece a construção de significados em torno de tópicos que podem impor dificuldades no ensino de Física.

A implementação dos modelos físicos por trás da simulação, fundamentados nas equações do calor sensível, do calor latente e da lei do resfriamento de Newton, permite que os alunos confrontem resultados teóricos com os dados produzidos na simulação. Mais do que confirmar resultados analíticos, o simulador possibilita investigar o comportamento qualitativo das grandezas físicas, promover a interpretação de gráficos e favorecer o raciocínio sobre conservação de energia e equilíbrio térmico. Além disso, a presença de elementos como sons, exemplos pré-configurados e interface responsiva amplia a acessibilidade e o engajamento dos estudantes, permitindo que docentes utilizem o recurso tanto como apoio à exposição conceitual quanto como ferramenta para atividades investigativas ou simulações computacionais.

Como perspectiva futura, destacamos a importância de realizar estudos sistemáticos sobre o impacto pedagógico do simulador Calorimetria em diferentes contextos educacionais, bem como de explorar a integração de atividades interativas baseadas nesse simulador com metodologias ativas, como a aprendizagem baseada em problemas e o ensino híbrido (parte presencial, parte remoto). Por fim, o aprimoramento da interface gráfica e inclusão de mais parâmetros configuráveis também representam possibilidades de evolução da ferramenta, consolidando ainda mais seu papel como recurso auxiliar no ensino de Física.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho teve o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo 304017/2022-1), da Fundação Rondônia de Amparo ao Desenvolvimento das Ações Científicas e Tecnológicas e à Pesquisa do Estado de Rondônia (FAPERO, protocolo 36214.577.20546.20102023) e da Universidade Federal de Rondônia (UNIR, processo SEI 23118.006316/2024-79).

REFERÊNCIAS

- Banda, H. J. & Nzabahimana, J. (2021). Effect of integrating physics education technology simulations on students' conceptual understanding in physics: A review of literature. *Physical Review Physics Education Research*, 17, 023108. doi: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023108](https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.023108)
- De Jong, T. & Van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179-201. doi: [10.3102/00346543068002179](https://doi.org/10.3102/00346543068002179)
- Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S. & Reid, S. (2005). When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 1(1), 010103. doi: [10.1103/PhysRevSTPER.1.010103](https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.1.010103)
- Jaime, D. M. & Leonel, A. A., (2024). Uso de simulações: Um estudo sobre potencialidades e desafios apresentados pelas pesquisas da área de ensino de física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 46, e20230309. doi: [10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0309](https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0309)
- Jonassen, D. H. (2000). *Computers as Mindtools for Schools: Engaging Critical Thinking* (2ª ed.). New Jersey, USA: Merrill.
- Oliveira, C. M. (2024). *Ensino da temática energia com três aplicativos da plataforma SimuFísica no Novo Ensino Médio* (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Rondônia – UNIR, Brasil. <https://ri.unir.br/jspui/handle/123456789/4248/>
- Rutten, N., van Joolingen, W. R. & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, 58, 136-153.



doi: [10.1016/j.compedu.2011.07.017](https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017)

Silva, W. P., Precker, J. W., Silva, C. M. D. P. S., Silva, D. D. P. S. & Silva, C. D. P. S. (2003). Medida de calor específico e lei de resfriamento de Newton: um refinamento na análise dos dados experimentais. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25(4), 392.

doi: [10.1590/S0102-47442003000400010](https://doi.org/10.1590/S0102-47442003000400010)

Souza, M. P. M., Oliveira, C. M. & Araújo, R. P. P. (2024a). O simulador conservação de energia mecânica – SimuFísica®. *A Física na Escola*, 22, 240173.

doi: [10.59727/fne.v22i1.173](https://doi.org/10.59727/fne.v22i1.173)

Souza, M. P. M., Oliveira, S. P. & Luiz, V. L. (2024b). Motor elétrico – SimuFísica®: um aplicativo para o ensino de eletromagnetismo. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 46, e20230219.

doi: [10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0219](https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2023-0219)

Souza, M. P. M., Maia, J. G., & Andrade, L. N. (2025). Pendulum Tracker—SimuFísica®: a web-based tool for real-time measurement of oscillatory motion. *Physics Education*, 60, 055024.

doi: [10.1088/1361-6552/adf406](https://doi.org/10.1088/1361-6552/adf406)

Teodoro, V. D. (2002). *Modellus: Learning Physics with Mathematical Modelling* (Tese de Doutorado). Universidade Nova de Lisboa, Portugal.

Wieman, C. & Perkins, K. (2005). *Transforming physics education*. *Physics Today*, 58(11), 36-41.

doi: [10.1063/1.2155756](https://doi.org/10.1063/1.2155756)