



CRIANDO RECURSOS EDUCACIONAIS EM PYTHON PARA O ENSINO DE TERMODINÂMICA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6141

Autores: JESSICA FLEURY CURADO, VICTOR DA SILVA TEIXEIRA, ELIANE DE FÁTIMA CHINAGLIA, MARIANA POJAR, SUELI HATSUMI MASUNAGA

Resumo:

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a aplicação de dois programas em Python como ferramentas didáticas no ensino de termodinâmica na disciplina de Física II. Os programas, nomeados como Identificador de Processos Termodinâmicos (IPT) e Modelador de Ciclos Termodinâmicos (MCT), têm como objetivo auxiliar estudantes na compreensão e visualização de conceitos como trabalho, calor, energia interna e ciclos termodinâmicos. As soluções computacionais foram elaboradas de forma acessível, visando a aplicabilidade em ambiente acadêmico. Os resultados apontam benefícios tanto no entendimento conceitual quanto na resolução de problemas, indicando o potencial da integração entre computação e ensino em engenharia.

Palavras-chave: Educação em engenharia, Termodinâmica, Programação

CRIANDO RECURSOS EDUCACIONAIS EM PYTHON PARA O ENSINO DE TERMODINÂMICA

1 INTRODUÇÃO

A difusão das tecnologias digitais na educação tem gerado impactos significativos nas metodologias de ensino-aprendizagem, especialmente nas áreas de ciência e engenharia. No contexto do ensino de Física para os cursos de engenharia, a utilização de ferramentas computacionais tem o potencial para melhorar tanto a compreensão conceitual quanto o desempenho dos estudantes em atividades de modelagem, simulação e resolução de problemas (CARDOSO et al. 2019, 2022 BENTALEB et al., 2022).

A termodinâmica, em particular, é uma área que se beneficia dessa abordagem devido à sua forte base matemática, à diversidade de fenômenos físicos envolvidos e aos seus conceitos abstratos como energia interna, trabalho, calor e transformações de estado (HALLIDAY et al., 2016). Neste trabalho, propõe-se a utilização da linguagem Python (PYTHON, 2025) para o desenvolvimento de programas que auxiliem estudantes de Física II na identificação de transformações termodinâmicas e na modelagem de ciclos, contribuindo para o fortalecimento do raciocínio lógico e da compreensão conceitual.

O principal objetivo é fornecer aos estudantes ferramentas que auxiliem na identificação do tipo de processo termodinâmico a partir de dados de entrada (pressão e volume); na modelagem de ciclos com até quatro transformações, com visualização gráfica; e no cálculo de grandezas como trabalho, calor trocado, variação de energia interna, eficiência e desempenho. Com base nos resultados numéricos obtidos, busca-se também promover o aprofundamento de discussões conceituais sobre os processos analisados.

2 FUNDAMENTOS CONCEITUAIS ABORDADOS

A Lei dos Gases Ideais relaciona as variáveis de estado através da relação

$$pV = nRT, \quad (1)$$

onde p é a pressão, V o volume, n o número de mols, T a temperatura e R (8,31 J/mol·K) é a constante dos gases ideais. Ao se colocar um mol de diferentes gases em recipientes de mesmo volume e temperatura, observa-se que suas pressões são aproximadamente iguais. Ao repetir o processo com concentrações gradativamente menores desses gases, essa diferença entre as pressões também diminui até o ponto em que todos os gases reais respeitam essa condição [Equação (1)].

Um sistema gasoso pode trocar energia com o seu entorno mediante a realização de trabalho. O trabalho (W) realizado por um gás durante uma expansão ou compressão, entre um volume inicial (V_i) e um volume final (V_f), é definido pela integral

$$W = \int dW = \int_{V_i}^{V_f} p dV, \quad (2)$$

onde a pressão (p) pode variar ao longo da transformação volumétrica. Dessa forma, para o cálculo dessa integral, é importante o conhecimento da relação entre a pressão e o volume, bem como a identificação do processo termodinâmico responsável pela alteração dos parâmetros de estado do gás em análise.

Nos processos termodinâmicos, o princípio da conservação da energia se manifesta através da primeira lei da termodinâmica,

$$\Delta E_{\text{int}} = E_{\text{int}f} - E_{\text{int}i} = Q - W \quad (3)$$

ou

$$dE_{\text{int}} = dQ - dW, \quad (4)$$

que enuncia que a variação da energia interna (ΔE_{int}) de um sistema é equivalente à diferença entre o calor (Q) transferido para o sistema e o trabalho (W) realizado. Essa lei também é expressa em termos da energia interna final ($E_{\text{int}f}$) e energia interna inicial ($E_{\text{int}i}$), sendo que E_{int} é uma propriedade de estado, dependendo apenas do estado do material. A energia trocada com o ambiente Q é positiva quando o sistema absorve calor e negativa quando a libera. No caso da energia trocada em forma de trabalho, W é positivo quando o sistema realiza trabalho sobre o ambiente e negativo quando o ambiente realiza trabalho sobre o sistema.

Neste trabalho, são abordados quatro processos termodinâmicos especiais. Os processos isobáricos são realizados a p constante, em que $Q = nC_p\Delta T$ e $W = p\Delta V$, onde C_p é calor específico molar a pressão constante. Os processos isotérmicos ($\Delta E_{\text{int}} = 0$, $Q = W$) e isocóricos ($W = 0$, $\Delta E_{\text{int}} = Q$) ocorrem a T e V constante, respectivamente. No processo adiabático, $Q = 0$ e $\Delta E_{\text{int}} = -W$, sendo que se observa as relações $pV^\gamma = \text{constante}$ e $TV^{\gamma-1} = \text{constante}$, onde $\gamma = C_p/C_v$ é a razão entre o calor específico molar a pressão constante (C_p) e a volume constante (C_v). Em qualquer processo, a variação da energia interna de um gás que sofre uma variação ΔT é dada por $\Delta E_{\text{int}} = nC_v\Delta T$. Uma sequência de processos termodinâmicos que levam o sistema de um estado inicial a um estado final idêntico ao inicial constitui um ciclo termodinâmico, representado por um diagrama pV .

Nos processos cíclicos, a aplicação da primeira lei da termodinâmica, resulta em $\Delta E_{\text{int}} = 0$ e $Q = W$. Durante um ciclo, embora as variáveis de estado possam variar, a variação total da energia interna do sistema é nula. Ciclos termodinâmicos percorridos no sentido horário no diagrama pV correspondem ao funcionamento de máquinas térmicas, enquanto percorridos no sentido anti-horário, representam refrigeradores. Uma máquina térmica é um sistema que extrai energia térmica $|Q_Q|$ de uma fonte quente e utiliza parte dessa energia para realizar trabalho $|W|$. Sua eficiência (ε) é dada pela relação $\varepsilon = |Q_Q|/|W|$. Por outro lado, refrigerador é um sistema que utiliza trabalho para transferir uma energia $|Q_F|$ de uma fonte fria para uma fonte quente. Seu desempenho é avaliado pelo coeficiente $K = |W|/|Q_Q|$ (HALLIDAY et al., 2016).

3 METODOLOGIA

A linguagem Python foi escolhida por sua sintaxe simples, alta legibilidade e ampla documentação. Além disso, seu ecossistema rico em bibliotecas científicas e gráficas permite o desenvolvimento de simulações eficientes e interativas. Os programas foram desenvolvidos no Google Colab, por oferecer execução em nuvem e maior acessibilidade aos estudantes (VALLEJO et al., 2022). A estrutura dos *notebooks* no Google Colab foi organizada de modo a separar claramente trechos de código das instruções e saída dos cálculos, com utilização de células (*markdown*), para facilitar a leitura e o uso didático.

As principais bibliotecas utilizadas foram *NumPy* (OLIPHANT, 2007) para funções matemáticas e *Plotly* (PLOTLY, 2013) para geração de gráficos interativos. Para os cálculos dos parâmetros termodinâmicos foram elaboradas funções próprias em Python. As expressões matemáticas utilizadas foram baseadas na teoria clássica da Termodinâmica para

gases ideais monoatômicos, diatômicos e poliatômicos. Os resultados foram comparados com soluções analíticas de exercícios propostos em livros-texto amplamente utilizados, com foco na validação da precisão numérica dos algoritmos.

Para auxiliar na compreensão conceitual dos quatro processos termodinâmicos abordados em aula, além de aspectos conceituais da teoria cinética dos gases, foram desenvolvidas duas ferramentas computacionais em Python: o Identificador de Processos Termodinâmicos (IPT) e o Modelador de Ciclos Termodinâmicos (MCT). O IPT foi projetado para reconhecer automaticamente o tipo de processo que ocorre com um gás, a partir dos dados de entrada, e calcular as grandezas envolvidas. Já o MCT permite ao aluno construir graficamente ciclos termodinâmicos compostos por três ou quatro processos, analisando se o sistema representa uma máquina térmica ou um refrigerador, além de calcular sua eficiência ou coeficiente de desempenho.

Os *notebooks* das ferramentas IPT e MCT estão disponíveis publicamente no GitHub, com documentação comentada e exemplos práticos, incentivando sua utilização e adaptação por docentes, discentes e demais interessados (TEIXEIRA, 2023a; TEIXEIRA, 2023b).

3.1 Ferramenta IPT: Identificador de Processos Termodinâmicos

A ferramenta IPT foi concebida com o objetivo de auxiliar estudantes na identificação e análise de transformações gasosas elementares. A partir da inserção de dados de pressão e volume correspondentes a dois estados de um sistema gasoso, o programa compara os valores e reconhece o tipo de transformação termodinâmica realizada: isobárica, isocórica, isotérmica ou adiabática. Além disso, o programa permite, a partir dos valores de pressão e volume de um processo adiabático, identificar se o gás é monoatômico, diatômico ou poliatômico.

Para cada processo identificado, a ferramenta calcula as principais grandezas físicas envolvidas, como trabalho realizado, calor trocado e variação da energia interna, com base nas leis da Termodinâmica para gases ideais. Os resultados são apresentados em forma de texto e complementados por gráficos interativos no diagrama pV , permitindo a visualização clara do comportamento do sistema e associação da geometria da curva aos aspectos físicos da transformação.

Além da identificação automática, a ferramenta IPT disponibiliza mensagens de interpretação física e oferece a possibilidade de continuidade de análise para diferentes transformações, possibilitando ao usuário explorar sequências de processos com múltiplos estados.

3.2 Ferramenta MCT: Modelador de Ciclos Termodinâmicos

A ferramenta MCT expande a lógica do IPT ao permitir a modelagem de ciclos termodinâmicos compostos por três ou quatro transformações. O usuário seleciona os tipos de processo (isobárico, isocórico, isotérmico ou adiabático) e fornece os dados iniciais. Com base nessas informações, o programa constrói o ciclo no diagrama pV , calcula as grandezas termodinâmicas associadas a cada etapa e determina o tipo de ciclo realizado. Nesse caso, a ferramenta mantém os estados finais como pontos de partida para novos processos. Isso estimula a experimentação, a comparação entre diferentes transformações e o raciocínio progressivo.

O programa identifica automaticamente se o ciclo representa uma máquina térmica (ciclo no sentido horário) ou um refrigerador (ciclo no sentido anti-horário). Em seguida, calcula a eficiência ou o coeficiente de desempenho do ciclo, conforme cada caso.

A ferramenta MCT contribui especialmente para a compreensão de dispositivos térmicos reais, como motores e sistemas de refrigeração, proporcionando ao estudante uma

experiência de simulação e análise de sistemas completos, integrando múltiplos conceitos da disciplina.

3.3 Simulações e Resultados Obtidos com as Ferramentas

Com o auxílio da ferramenta IPT (Identificador de Processos Termodinâmicos), é possível calcular o trabalho realizado (W), o calor trocado (Q) e a variação da energia interna (ΔE_{int}) em um processo termodinâmico. O programa também identifica se o processo é isobárico, isocórico, isotérmico ou adiabático, exibindo a transformação correspondente em um diagrama pV . Para realizar essas análises, é necessário fornecer o valor da constante adiabática (γ). Caso o usuário disponha dos valores de pressão e volume dos estados inicial e final de um processo adiabático, o programa pode determinar o tipo de gás envolvido por meio da opção [2] do menu, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Determinação do tipo de gás na ferramenta IPT.

```

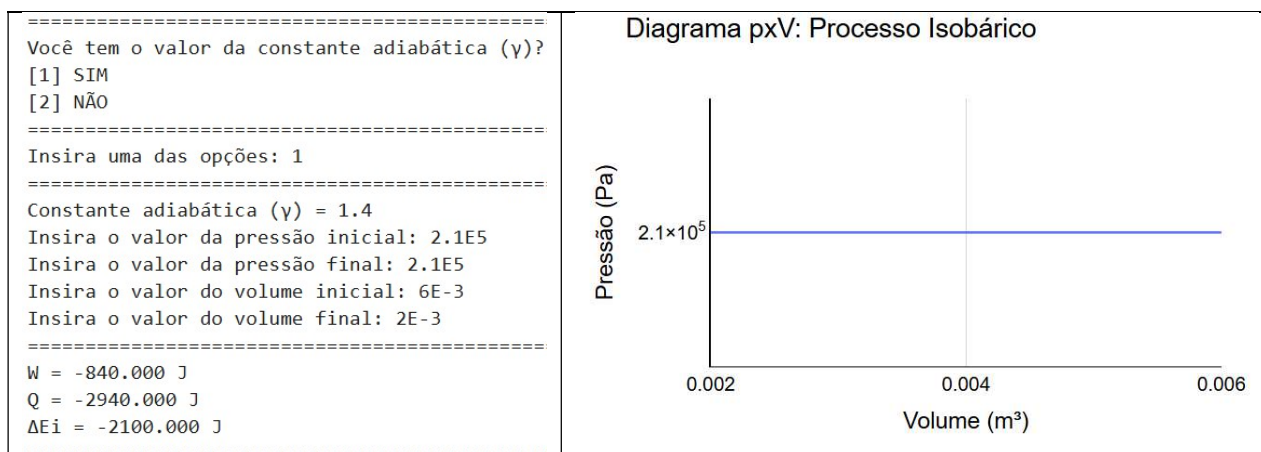
=====
Você tem o valor da constante adiabática (γ)?
[1] SIM
[2] NÃO
=====
Insira uma das opções: 2
=====
Insira o valor da pressão inicial: 3.7e5
Insira o valor da pressão final: 2.1e5
Insira o valor do volume inicial: 4e-3
Insira o valor do volume final: 6e-3
=====
Constante adiabática (γ) = 1.4
Você está trabalhando com um gás diatômico!
=====

```

Fonte: Autores

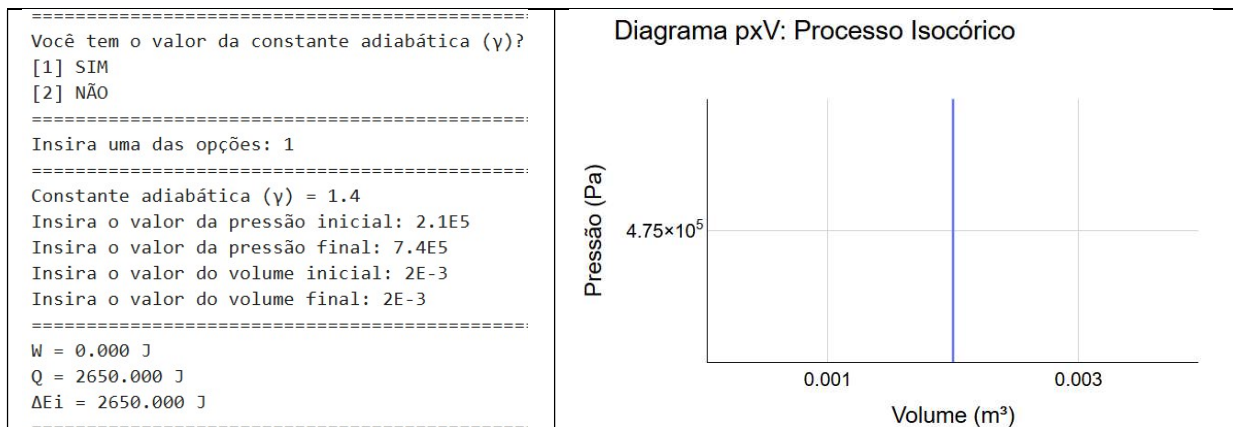
Ao inserir a constante adiabática e os valores de pressão e volume nos estados inicial e final, a ferramenta IPT calcula os valores de W , Q e ΔE_{int} , além de exibir um diagrama pV com a identificação do processo termodinâmico, como mostrado nas Figuras 2 a 5. Também é possível visualizar os valores ao longo das curvas posicionando o ponteiro do mouse sobre o ponto desejado, como mostrado nas Figuras 4 e 5.

Figura 2 – Determinação do tipo de processo (Isobárico) e cálculos de W , Q e ΔE_{int} na ferramenta IPT.



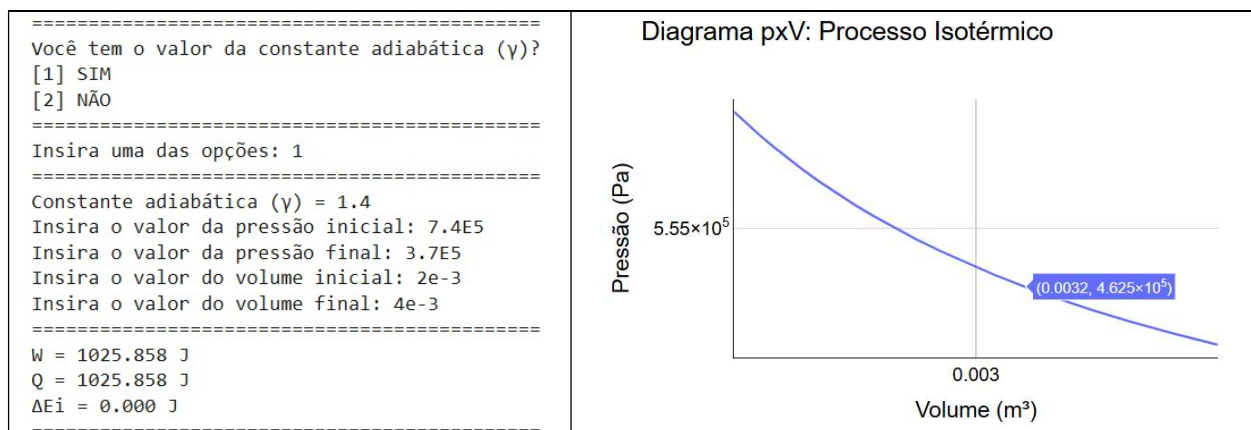
Fonte: Autores

Figura 3 – Determinação do tipo de processo (Isocórico) e cálculos de W , Q e ΔE_{int} na ferramenta IPT.



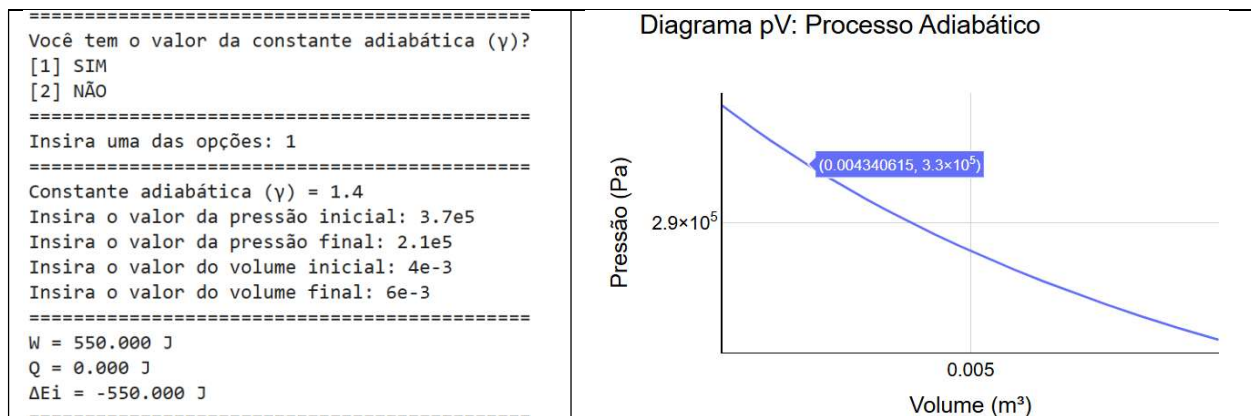
Fonte: Autores

Figura 4 – Determinação do tipo de processo (Isotérmico) e cálculos de W , Q e ΔE_{int} na ferramenta IPT.



Fonte: Autores

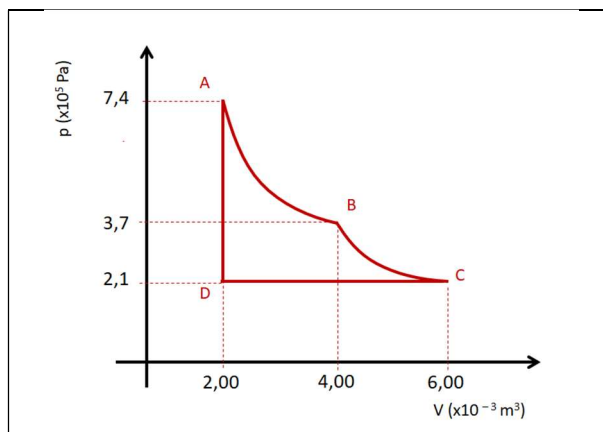
Figura 5 – Determinação do tipo de processo (Adiabático) e cálculos de W , Q e ΔE_{int} na ferramenta IPT.



Fonte: Autores

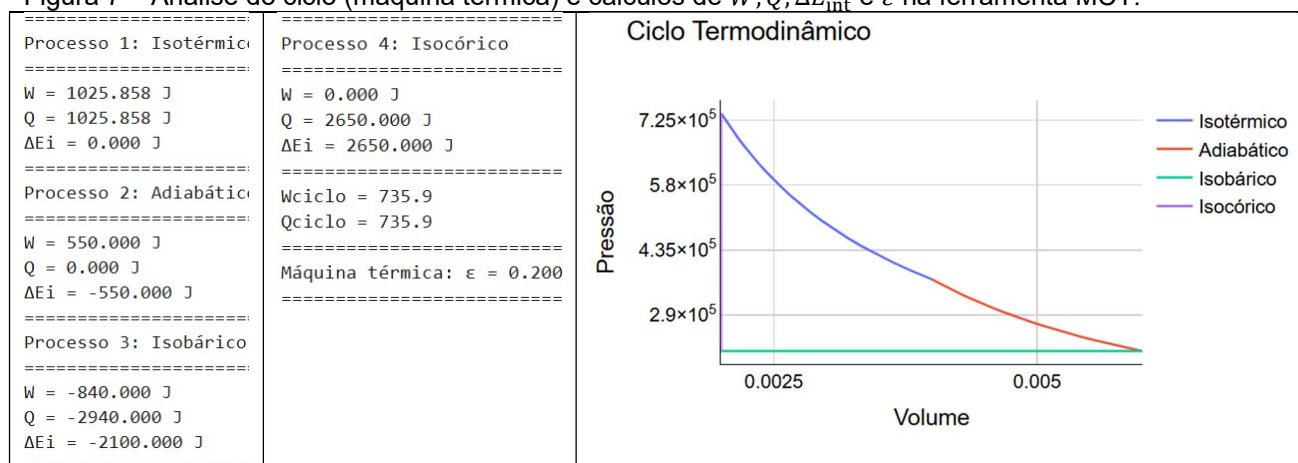
A ferramenta MCT (Modelador de Ciclos Termodinâmicos) permite analisar um ciclo termodinâmico completo, como o mostrado na Figura 6. Para utilizá-la, é necessário, primeiramente, identificar os processos termodinâmicos correspondentes a cada trecho do ciclo. Essa identificação já foi feita na ferramenta IPT, na qual os processos AB, BC, CD e DA foram classificados, respectivamente, como isotérmico, adiabático, isobárico e isocórico, conforme mostrado nas Figuras 2 a 5. A Figura 7 mostra o resultado gerado pelo MCT, em que os valores de W , Q e ΔE_{int} foram novamente calculados. Nessa ferramenta, também é determinado o tipo de ciclo (por exemplo, máquina térmica) e calculado o coeficiente de desempenho. O diagrama pV do ciclo também é gerado como parte do resultado da simulação.

Figura 6 – Exemplo de ciclo termodinâmico.



Fonte: Autores

Figura 7 – Análise do ciclo (máquina térmica) e cálculos de W , Q , ΔE_{int} e ε na ferramenta MCT.



Fonte: Autores

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adoção do ambiente Google Colab apresenta diversas vantagens no contexto educacional, pois permite executar códigos Python diretamente na nuvem, com acesso gratuito, interface amigável e integração com outras plataformas, o que o torna particularmente atrativo para estudantes e docentes. Além disso, a utilização e edição dos programas pode ser realizada em qualquer dispositivo que permita realizar *login* em uma conta Google.

Os programas foram submetidos a testes com dados retirados de exercícios tradicionais e situações-problema típicas do ensino de Termodinâmica. Os valores calculados para trabalho, calor e variação de energia interna apresentaram concordância com os resultados obtidos por métodos analíticos, validando a consistência física dos algoritmos implementados. A comparação dos resultados entre diferentes transformações, como isotérmicas e adiabáticas, permitiu verificar a robustez das equações utilizadas e sua aplicabilidade a diferentes condições iniciais.

Os gráficos gerados pelas bibliotecas interativas, especialmente nos diagramas pV , proporcionaram uma interface visual clara e didática, evidenciando as características distintas de cada transformação. No MCT, os ciclos foram representados com cores distintas, sentido dos ciclos e indicação dos estados termodinâmicos, possibilitando a identificação de ciclos de máquinas térmicas e ciclos de refrigeradores. A distinção entre ciclos no sentido horário (máquinas térmicas) e anti-horário (refrigeradores) foi facilitada pela representação gráfica dinâmica e pela interpretação automática realizada pelo programa.

A aplicação das ferramentas IPT e MCT foi avaliada quanto à eficácia na promoção da aprendizagem de conceitos termodinâmicos, à funcionalidade computacional e à receptividade por parte dos estudantes. A estrutura modular dos *notebooks* no Google Colab permitiu que estudantes com pouca ou nenhuma experiência prévia em programação utilizassem os recursos com autonomia. Foram valorizados elementos de interface como menus orientativos, células de instrução em *markdown*, mensagens de erro customizadas e sugestões automáticas. Tais elementos contribuíram para uma curva de aprendizagem mais suave e para o aumento do engajamento dos discentes.

Relatos informais de estudantes e registros de avaliações diagnósticas apontaram ganhos em compreensão conceitual e segurança na resolução de exercícios. O uso das ferramentas foi associado ao desenvolvimento de habilidades de análise crítica, ao fortalecimento do vínculo entre teoria e prática, e ao aumento do interesse pela disciplina.

Professores envolvidos relataram maior facilidade em ilustrar conceitos durante as aulas, além de incentivo à autonomia e experimentação por parte dos discentes.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com o apoio da Fundação Educacional Inaciana “Pe. Sabóia de Medeiros” – FEI, por meio da Bolsa Institucional de Iniciação Didática (PRO-BID 001/22). Agradecemos à FEI pelo incentivo à pesquisa e à formação acadêmica, bem como pelo suporte oferecido ao longo do desenvolvimento deste projeto.

REFERÊNCIAS

BENTALEB, K. A. et al. Effectiveness of integration of new ICTs in teaching/learning of quantum concepts. **International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE)**, v. 14, n. 2, p. 314, 2022.

CARDOSO, Alberto; LEITÃO, Joaquim; TEIXEIRA, César. Using the Jupyter notebook as a tool to support the teaching and learning processes in engineering courses. In: **The Challenges of the Digital Transformation in Education: Proceedings of the 21st International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL2018)-Volume 2**. Springer International Publishing, 2019. p. 227-236.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: gravitação, ondas e termodinâmica**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. v. 2.

PYTHON Software Foundation. Python 3.10.4 documentation. Disponível em: <https://docs.python.org/3/>. Acesso em: 18 abr. 25.

TEIXEIRA, V. S. **Repositório: Identificador de processos Termodinâmicos**. 2023a. Disponível em: <https://github.com/VicSk18/-Engineering-applications/tree/main/Identifier-of-Thermodynamic-Processes>. Acesso em: 18 abr. 25.

TEIXEIRA, V. S. **Repositório: Modelador de Ciclos Termodinâmicos**. 2023b. Disponível em: <https://github.com/VicSk18/-Engineering-applications/tree/main/Thermodynamic-Cycle-Modeler>. Acesso em: 18 abr. 25.

VALLEJO, William; DÍAZ-URIBE, Carlos; FAJARDO, Catalina. Google colab and virtual simulations: practical e-learning tools to support the teaching of thermodynamics and to introduce coding to students. **ACS omega**, v. 7, n. 8, p. 7421-7429, 2022.

CREATING EDUCATIONAL RESOURCES IN PYTHON FOR TEACHING THERMODYNAMICS

Abstract: *This work presents the development and application of two Python programs as didactic tools in the teaching of thermodynamics within the Physics II discipline. The programs, named Thermodynamic Process Identifier (TPI) and Thermodynamic Cycle Modeler (TCM), aim to assist students in understanding and visualizing concepts such as work, heat, internal energy, and thermodynamic cycles. The computational solutions were developed in an accessible manner, targeting applicability in an academic environment. The results indicate benefits in both conceptual understanding and problem-solving, highlighting the potential of the integration between computation and teaching in engineering.*

Keywords: *Engineering Education, Thermodynamics, Programming, Python, Computational Simulation.*

