INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

ANÁLISE TÉRMICA EM CICLOS DE GERAÇÃO DE ENERGIA

THERMAL ANALYSIS IN POWER GENERATION CYCLES

Simoni Maria Gheno[I]
Leonardo Guimarães Carvalho[II]
Lauriberto Françoso Júnior[III]

RESUMO

Esse estudo apresenta o estudo referente a análise das propriedades termodinâmicas de um ciclo de Rankine, compreendendo suas características e importância dentro da evolução tecnológica e sustentável atual. Inicialmente, foi desenvolvida uma planilha automatizada para gerar gráficos e informações sobre consumo e desempenho de sistemas, permitindo análises rápidas e confiáveis. Como avanço, os cálculos da planilha foram aprimorados e transferidos para o ambiente MATLAB, resultando em uma simulação mais robusta e automatizada do ciclo. Essa implementação possibilitou não apenas a automatização total dos cálculos, mas também a criação de gráficos termodinâmicos mais sofisticados, ampliando a análise dos processos. Foi realizada ainda uma revisão bibliográfica aprofundada, que embasou teoricamente todas as etapas. Conclui-se esta fase com a entrega de uma simulação automatizada e didática do ciclo de Rankine, com potencial de expansão para aplicações mais complexas no setor energético.

Palavras-chave: ciclo de Rankine; simulação; matlab; termodinâmica; eficiência energética.

ABSTRACT

This study presents an analysis of the thermodynamic properties of a Rankine cycle, addressing its characteristics and significance within the context of current technological and sustainable development. Initially, an automated spreadsheet was developed to generate charts and provide data on system consumption and performance, enabling rapid and reliable analyses. As further advancement, the spreadsheet's calculations were refined and migrated to the MATLAB environment, resulting in a more robust and automated simulation of the cycle. This implementation enabled not only full automation of the calculations but also the creation of more sophisticated thermodynamic diagrams, enhancing the analysis of the processes involved. Additionally, an in-depth literature review was conducted to provide theoretical support for all stages of the study. This phase concludes with the delivery of an automated

[I] Profa. Pós-Dra. da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – São Paulo – Brasil e Profª. Pós-Drª. da Universidade Paulista (UNIP) – Ribeirão Preto – São Paulo – Brasil. E-mail: simoni.gheno@docente.unip.br.
[II] Estudante do curso de Engenharia Mecânica da UNIP Araraquara – Araraquara – São Paulo – Brasil. E-mail: eng.leonardo.g.carvalho@gmail.com.
[III] Estudante do curso de Engenharia Mecânica da UNIP Araraquara – Araraquara – São Paulo – Brasil. E-mail: lauriberto1001@gmail.com.

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

and didactic simulation of the Rankine cycle, with the potential for expansion into more complex applications in the energy sector.

Keywords: rankine cycle; simulation; matlab; thermodynamics; energy efficiency
Data de submissão do artigo: 07/08/2025
Data de aprovação do artigo: 24/09/2025.
DOI: https://doi.org/10.33635/injimi.v1i01.346

1 INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico nas últimas décadas tem promovido transformações significativas em diversos setores da sociedade, impulsionando a automação, a digitalização e a conectividade global. No entanto, esse progresso também tem contribuído para a intensificação da degradação ambiental, especialmente no que se refere ao consumo excessivo de recursos naturais e à emissão de poluentes. Diante desse cenário, a busca por soluções sustentáveis e eficientes tornou-se uma prioridade estratégica para governos, empresas e instituições de pesquisa.

A eficiência energética e a sustentabilidade ambiental emergem como pilares fundamentais para o desenvolvimento de sistemas produtivos mais responsáveis e resilientes. Nesse contexto, destaca-se a crescente adoção de práticas alinhadas aos princípios da Governança Ambiental, Social e Corporativa (ESG), que envolvem a integração de tecnologias limpas, automação inteligente, responsabilidade social e multidisciplinaridade profissional (Singh, 2019) utilização de fontes alternativas de energia, como a solar e a eólica, bem como o desenvolvimento de processos que minimizem o consumo energético, são exemplos de iniciativas que visam uma produção ecologicamente correta.

No Brasil, a matriz energética é predominantemente composta por usinas hidrelétricas, o que torna o país vulnerável a variações climáticas e limita sua capacidade de expansão energética. Além disso, os investimentos em inovação tecnológica no setor elétrico não têm acompanhado o ritmo crescente da demanda por energia (ANP, 2023) Essa realidade evidencia a necessidade de modernização e diversificação das fontes de energia, com foco na eficiência e na sustentabilidade.

Na área da Engenharia Mecânica, os sistemas de geração de energia representam um campo de estudo essencial, envolvendo conceitos fundamentais como termodinâmica, transferência de calor e mecânica dos fluidos. Um exemplo clássico é o ciclo de Rankine, amplamente utilizado em usinas termelétricas, que integra diversos dispositivos operando de forma sincronizada e segura para a conversão de energia térmica em energia mecânica e, posteriormente, elétrica.

Diante desse panorama, este artigo tem como objetivo analisar a importância da eficiência energética e da sustentabilidade ambiental no contexto da Engenharia Mecânica, com ênfase no desenvolvimento e na otimização de sistemas de geração de energia. Serão abordadas as principais tecnologias envolvidas, os desafios enfrentados pelo setor e as perspectivas futuras para uma produção energética mais limpa e eficiente.

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

2 REVISÃO BILIOGRÁFICA

A termodinâmica é a base para a análise de sistemas de geração de energia, sendo regida por leis fundamentais que descrevem o comportamento da energia em sistemas físicos. A Primeira Lei da Termodinâmica, também conhecida como o princípio da conservação da energia, estabelece que a energia total de um sistema isolado permanece constante, podendo apenas ser transformada de uma forma para outra (Çengel; Boles, 2019). Em termos práticos, essa lei é expressa pela equação de balanço de energia, que relaciona calor, trabalho e variação de energia interna.

Por outro lado, a Segunda Lei da Termodinâmica introduz o conceito de entropia, que mede o grau de desordem de um sistema e permite avaliar a irreversibilidade dos processos. Segundo Clausius (1850), "é impossível construir um dispositivo que opere em um ciclo e produza nenhum outro efeito além da transferência de calor de um corpo frio para um corpo quente". Essa lei é essencial para compreender as limitações reais dos sistemas térmicos e a inevitabilidade das perdas energéticas. Gheno (2018) destaca que a entropia, ao contrário da energia, não é conservada e pode ser gerada dentro dos sistemas devido às irreversibilidades inerentes aos processos reais. Assim, a análise da geração de entropia é fundamental para avaliar a eficiência dos sistemas térmicos.

2.1 Sistemas isentrópicos

Processos isentrópicos são aqueles em que a entropia permanece constante, ocorrendo de forma adiabática e reversível. Esses processos são utilizados como referência ideal para a análise de dispositivos como turbinas e bombas, permitindo a avaliação da eficiência real dos equipamentos (Moran; Shapiro, 2018). Embora todos os processos reais apresentem irreversibilidades, a modelagem ideal é essencial para estabelecer parâmetros de comparação e otimização (Gheno, 2018).

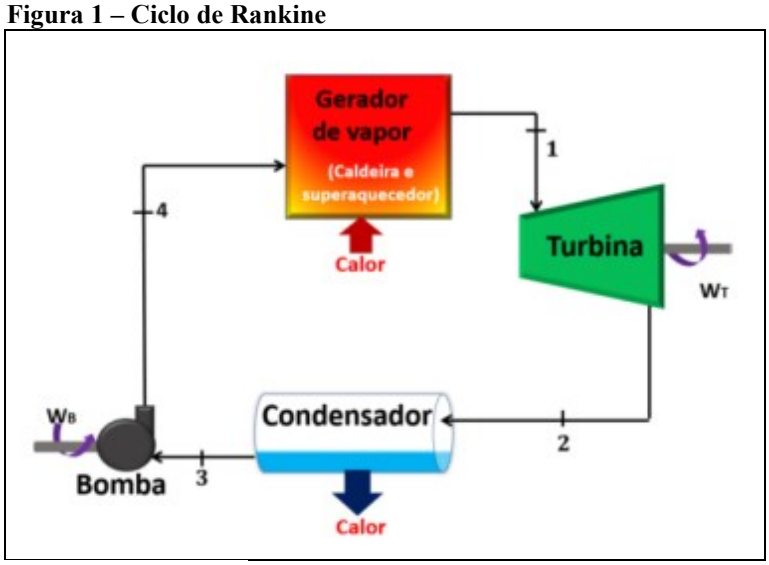
2.2 O ciclo de rankine

O ciclo de Rankine é amplamente utilizado em sistemas de geração de energia elétrica, sendo composto por quatro processos principais: expansão na turbina, condensação, compressão na bomba e aquecimento na caldeira. Os componentes básicos incluem a turbina, o condensador, a bomba e a caldeira, conforme ilustrado na Figura 1.

Segundo a Incose (2020), apesar de sua ampla aplicação, o ciclo de Rankine apresenta complexidades que exigem otimização contínua para melhorar sua eficiência energética e reduzir impactos ambientais.

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

Figura 1 – Ciclo de Rankine



Fonte: autores (2025)

2.3 Análise termodinâmica do ciclo de rankine

A análise termodinâmica dos ciclos de potência é essencial para o desenvolvimento de sistemas mais eficientes e sustentáveis. A aplicação de ferramentas como modelagem matemática, simulação e otimização permite maximizar o aproveitamento energético e minimizar os impactos ambientais (Lombardi *et al*., 2015).

Borgnakke e Sonntag (2013) ressaltam que a modelagem das propriedades termodinâmicas do ciclo de Rankine é fundamental para a otimização de usinas de geração de energia, considerando as irreversibilidades dos processos térmicos e de fluxo de massa.

2.4 Modelagem matemática do ciclo de rankine

A modelagem matemática do ciclo de Rankine ideal considera processos internamente reversíveis e operação em regime permanente. A equação geral de balanço de energia, derivada da Primeira Lei da Termodinâmica, é expressa por:

$$0 = \frac{\dot{Q}_{vc}}{\dot{m}} - \frac{\dot{W}_{vc}}{\dot{m}} + (h_e - h_s) \quad (1)$$

Onde:

$\frac{Q_{vc}}{m}$: *fluxo de calor por unidade de massa;* $\frac{\dot{W}_{vc}}{m}$: *trabalho por unidade de massa*

h_e: *entalpia de entrada;* h_s: *entalpia de saída*

Essa equação simplificada desconsidera variações de energia cinética e potencial, conforme prática comum na literatura (Moran; Shapiro, 2006).

Ao aplicarmos os balanços de massa e energia na turbina, condensador, bomba e caldeira, resulta em:

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

$$\frac{W_{turbina}}{\dot{m}} = h_1 - h_2 \quad (2)$$

$$\frac{Q_{caldeira}}{\dot{m}} = h_1 - h_4 \quad (3)$$

$$\frac{W_{bomba}}{\dot{m}} = h_4 - h_3 \quad (4)$$

$$\frac{Q_{condensador}}{\dot{m}} = h_2 - h_3 \quad (5)$$

Onde:

$\frac{W_{turbina}}{\dot{m}}$: *trabalho produzido pela turbina por unidade de massa*

$\frac{Q_{caldeira}}{\dot{m}}$: *fluxo de calor fornecido na caldeira por unidade de massa*

$\frac{W_{bomba}}{\dot{m}}$: *trabalho consumido pela bomba por unidade de massa*

$\frac{Q_{ccondensador}}{\dot{m}}$: *fluxo de calor dissipado no condensador por unidade de massa*

O rendimento térmico (η) do ciclo é dado por:

$$\eta = \frac{W_{liquído}}{Q_{caldeira}} \quad (6)$$

E a razão de trabalho reverso (bwr - *back work ratio*) é:

$$bwr = \frac{W_{bomba}}{W_{turbina}} \quad (7)$$

Essas expressões são fundamentais para a análise de desempenho e otimização de sistemas baseados no ciclo de Rankine.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia deste trabalho foi organizada em etapas sucessivas, com o objetivo de desenvolver uma ferramenta prática e precisa para a análise do ciclo de Rankine. O processo envolveu inicialmente a utilização de planilhas no Excel, seguido da migração e aprimoramento no ambiente MATLAB, garantindo maior automação, detalhamento e rigor técnico na simulação termodinâmica.

3.1 Materiais e ferramentas utilizadas e procedimentos metodológicos

A metodologia deste trabalho foi estruturada em etapas progressivas, visando o desenvolvimento de uma ferramenta prática e precisa para a análise do ciclo de Rankine. Inicialmente, a pesquisa focou na compreensão dos fundamentos teóricos do ciclo, incluindo transformações de energia e propriedades dos fluidos.

Para a fase inicial de simulação, utilizou-se uma planilha eletrônica no Microsoft Excel, que permitiu a organização de dados e a realização de cálculos fundamentais do ciclo

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

de Rankine. Esta planilha foi configurada para receber parâmetros de entrada como pressão e temperatura, gerando automaticamente valores de calor, trabalho e eficiência, além de diagramas T-s, característico de sistemas termodinâmicos, cujos resultados estão apresentados nas Figuras 2 e 3, para visualização inicial dos processos termodinâmicos. A precisão dos dados foi assegurada pelo software Mini REFPROP, do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos Estados Unidos, que forneceu propriedades termodinâmicas da água (entalpia, entropia, volume específico) essenciais para a construção e validação da planilha.

Posteriormente, o modelo foi migrado e aprimorado no ambiente MATLAB, escolhido por sua robustez e capacidade de automação. A lógica desenvolvida na planilha foi convertida em algoritmos e funções no MATLAB, permitindo replicar e expandir os cálculos com maior detalhamento e precisão. Para isso, foi empregada a formulação IAPWS IF (International Association for the Properties of Water and Steam), reconhecida por sua confiabilidade na modelagem das propriedades da água e do vapor em ciclos térmicos. O MATLAB possibilitou a automação completa do processo, incluindo a geração automatizada de diagramas T-s consolidando uma metodologia eficiente e tecnicamente rigorosa para a simulação termodinâmica do ciclo de Rankine.

3.2 Coleta e análise dos dados

A coleta e análise dos dados foram realizadas integralmente no ambiente MATLAB, onde o programa recebeu os parâmetros operacionais do ciclo, como pressões, temperaturas e eficiências da bomba e turbina. Com base nesses dados, o código calculou automaticamente todas as propriedades termodinâmicas necessárias para determinar o trabalho, calor e eficiência do ciclo.

O MATLAB também gerou os diagramas T-s, permitindo uma visualização clara do comportamento do fluido durante as etapas de aquecimento, expansão, condensação e compressão.

A análise quantitativa dos resultados possibilitou validar o desempenho do ciclo simulado, confirmando a fidelidade do modelo em relação ao comportamento esperado do ciclo de Rankine, tanto ideal quanto real.

3.3 Classificação da pesquisa

A pesquisa desenvolvida pode ser classificada como aplicada, por visar a resolução de um problema prático e a criação de uma ferramenta útil para análise de sistemas térmicos. Apresenta também características de pesquisa exploratória, uma vez que busca aprofundar o conhecimento sobre a simulação do ciclo de Rankine em diferentes ambientes computacionais.

Do ponto de vista metodológico, a abordagem foi quantitativa, com foco na análise de dados numéricos e nas relações entre as variáveis termodinâmicas envolvidas. O trabalho se configura também como um estudo de caso, pois aplica a metodologia desenvolvida a um sistema específico, com base em parâmetros reais de operação, permitindo avaliar seu desempenho e identificar possíveis melhorias.

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir da simulação computacional do ciclo de Rankine. Os dados foram organizados de acordo com as etapas do ciclo, conforme modelado no código MATLAB. As análises baseiam-se na fundamentação teórica e nos dados coletados por meio de interpolação em tabelas termodinâmicas simplificadas, geradas por imagem da tela de resultados no ambiente MATLAB. Foram obtidos dois conjuntos de resultados: um para o ciclo sem reaquecimento e outro para o ciclo com reaquecimento, sendo este último o principal foco da análise por representar uma configuração mais eficiente do sistema.

4.1 Definição dos parâmetros de entrada

A simulação inicia-se com a definição dos seguintes parâmetros: **Pressão no condensador** (kPa), **Pressão na caldeira** (kPa ou MPa), **Temperatura máxima de operação** (°C).

Esses valores são fornecidos pelo usuário e representam as condições iniciais de operação do ciclo. Com base neles, os estados termodinâmicos do fluido de trabalho (água/vapor) são determinados.

4.3 Estrutura do código e cálculos

O código desenvolvido em MATLAB organiza o ciclo de Rankine em quatro pontos principais:

Estado 1 – Saída do condensador (água saturada);
Estado 2 – Saída da bomba (água comprimida);
Estado 3 – Entrada da turbina (vapor superaquecido);
Estado 4 – Saída da turbina (vapor expandido).

Com base nesses estados, o programa realiza os seguintes cálculos:

Cálculo 1 - Trabalho realizado pela bomba;
Cálculo 2 - Trabalho extraído pela turbina;
Cálculo 3 - Calor adicionado na caldeira;
Cálculo 4 - Calor rejeitado no condensador;
Cálculo 5 - Eficiência térmica do ciclo.

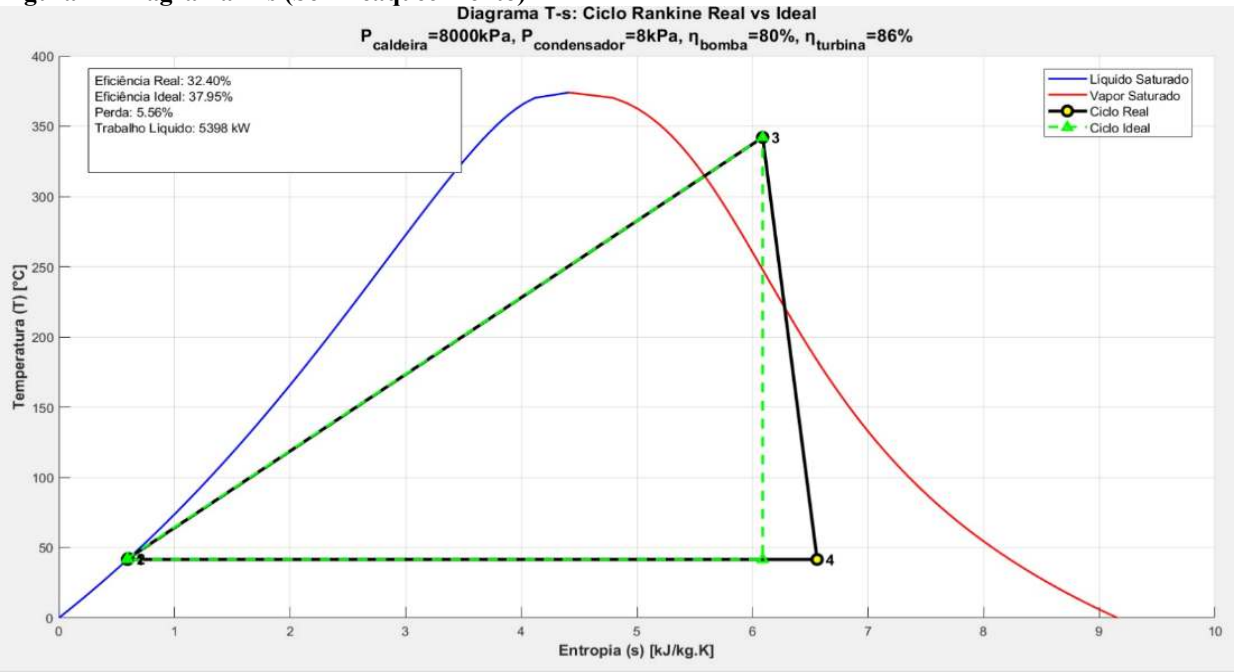
A estrutura do código é modular e organizada, o que facilita a leitura, verificação dos dados e futuras melhorias.

4.4 Geração de gráficos termodinâmicos

Os diagramas a seguir são gerados automaticamente da T-s (Temperatura *versus* Entropia): Ciclo simples (Figura 2) e reaquecimento (Figura 3). O diagrama com reaquecimento (Figura 3) representa a configuração mais completa do ciclo. Esses gráficos permitem visualizar os processos de compressão, aquecimento, expansão e condensação, facilitando a interpretação dos dados simulados.

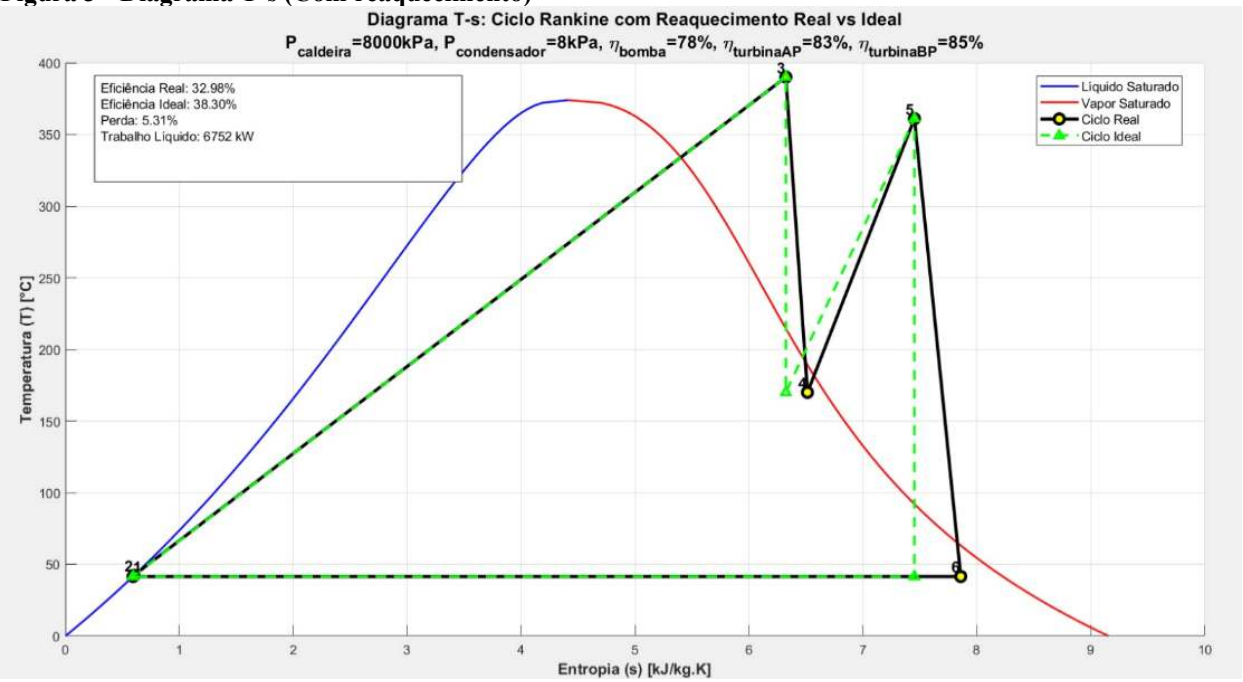
INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

Figura 2 - Diagrama T-s (Sem reaquecimento)



Fonte: autores (2025)

Figura 3 - Diagrama T-s (Com reaquecimento)



Fonte: autores (2025)

Os resultados obtidos são exibidos diretamente na interface do MATLAB, com as seguintes informações: Temperatura, pressão, entalpia e entropia em cada estado, Trabalho realizado e absorvido, Quantidade de calor transferido, Eficiência térmica do ciclo (%) (Figuras 4 e 5).

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

Os valores obtidos para a eficiência térmica variaram entre 30% e 35%, a depender dos parâmetros de entrada. Esses resultados estão de acordo com os valores teóricos esperados para ciclos ideais, e mostram boa coerência interna entre os cálculos realizados. Um ciclo padrão teórico de Rankine tem sua eficiência térmica em valores que variam entre 30 e 35% e os valores obtidos por meio de simulação estão exatamente nessa faixa.

A análise dos dados mostra que a simulação funcionou corretamente, com coerência entre os estados termodinâmicos e os processos esperados do ciclo de Rankine. Mesmo com o uso de tabelas simplificadas, geradas por imagem da tela de resultados no ambiente MATLAB, os valores obtidos foram adequados para fins de estudo e visualização dos conceitos do ciclo. Os dados da simulação são apresentados e explicitados nas Figuras 4 e 5, incluindo a percentagem. Essa porcentagem é calculada conforme apresentado na Equação 6.

As suposições adotadas, como a expansão isentrópica e a ausência de perdas, explicam os valores elevados de eficiência observados. Embora esses resultados não representem um sistema real, eles são úteis para entender o funcionamento ideal do ciclo.

Figura 4 – Imagem da tela de resultados no ambiente MATLAB (Sem reaquecimento)

Command Window

```
    RESULTADOS DO CICLO RANKINE REAL
========================================
Eficiência Térmica Real:     32.40 %
Trabalho Líquido:            5398.00 kW
Trabalho da Turbina:         5458.35 kW
Trabalho da Bomba:           60.35 kW
Calor Fornecido:             16661.90 kW
Calor Rejeitado:             11263.90 kW
Razão de Trabalho Reverso:   0.0111
Consumo Específico:          4.00 kg/kWh

========================================
   COMPARAÇÃO: REAL vs IDEAL
========================================
Eficiência Ideal:            37.95 %
Perda de Eficiência:         5.56 %
Trabalho Líquido Ideal:      6346.87 kW
Perda de Potência:           948.87 kW
Redução Relativa:            14.95 %

========================================
   PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS
========================================
Ponto | Descrição           | T(°C)   | P(kPa)    | h(kJ/kg)  | s(kJ/kg.K)
------|---------------------|---------|-----------|-----------|-----------
  1   | Entrada da bomba    |  41.51  |      8.00 |    173.85 |    0.5925
  2   | Saída da bomba      |  42.24  |   8000.00 |    183.91 |    0.5989
  3   | Entrada da turbina  | 342.01  |   8000.00 |   2960.89 |    6.0881
  4   | Saída da turbina    |  41.51  |      8.00 |   2051.17 |    6.5587
```

Fonte: autores (2025)

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

Figura 5 – Imagem da tela de resultados no ambiente MATLAB (Com reaquecimento)

```
========================================
   COMPARAÇÃO: REAL vs IDEAL
========================================
Eficiência Ideal:            38.30 %
Perda de Eficiência:         5.31 %
Trabalho Líquido Ideal:      8037.58 kW
Perda de Potência:           1285.84 kW
Redução Relativa:            16.00 %

========================================
   PROPRIEDADES TERMODINÂMICAS
========================================
Ponto | Descrição           | T(°C)   | P(kPa)    | h(kJ/kg) | s(kJ/kg.K)
------|---------------------|---------|-----------|----------|----------
  1   | Entrada da bomba    |  41.51  |     8.00  |   173.85 |   0.5925
  2   | Saída da bomba      |  42.30  |  8000.00  |   184.17 |   0.5997
  3   | Entrada Turbina AP  | 390.01  |  8000.00  |  3110.96 |   6.3232
  4   | Saída Turbina AP    | 170.00  |   792.00  |  2700.52 |   6.5129
  5   | Entrada Turbina BP  | 361.00  |   792.00  |  3185.45 |   7.4522
  6   | Saída Turbina BP    |  41.51  |     8.00  |  2460.28 |   7.8589
```

Fonte: autores (2025)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa alcançou seu objetivo principal ao desenvolver uma ferramenta de simulação robusta e automatizada para o ciclo de Rankine, utilizando o ambiente MATLAB. A transição de uma abordagem baseada em planilhas para um software de programação mais avançado permitiu uma análise mais precisa e dinâmica das propriedades termodinâmicas e do desempenho do ciclo. Os resultados obtidos demonstram a eficácia da ferramenta em simular o comportamento do ciclo de Rankine, tanto em condições ideais quanto reais, e sua capacidade de auxiliar na otimização de sistemas de geração de energia.

Os principais resultados incluem a automação completa dos cálculos termodinâmicos, a geração de diagramas T-s detalhados e a validação do modelo em comparação com a literatura teórica. A ferramenta desenvolvida oferece um recurso valioso para engenheiros e pesquisadores, permitindo a análise de sensibilidade de diferentes parâmetros operacionais e a exploração de cenários para otimização de projetos.

Como limitações, o modelo atual ainda utiliza algumas simplificações, como o desprezo de perdas de calor para o ambiente e a consideração de processos isentrópicos em turbinas e bombas ideais. Pesquisas futuras podem focar na incorporação de modelos mais complexos para considerar irreversibilidades, na integração com dados experimentais para validação em campo e na expansão para simular outros tipos de ciclos termodinâmicos ou fluidos de trabalho. Além disso, a ferramenta pode ser aprimorada com uma interface gráfica de usuário (GUI) para facilitar a interação e a visualização dos resultados por usuários menos familiarizados com o MATLAB.

INTERNATIONAL JOURNAL OF INNOVATION IN MANAGEMENT AND INDUSTRY

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS (ANP). **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis.** Rio de Janeiro: ANP, 2023.

BORGNAKKE, C.; SONNTAG, R. E. **Fundamentos da Termodinâmica.** 8. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

ÇENGEL, Y. A.; BOLES, M. A. **Termodinâmica.** 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2019.

CLAUSIUS, R. On the Moving Force of Heat, and the Laws regarding the Nature of Heat Itself which are Deduced Therefrom. **Annalen der Physik und Chemie**, v. 79, p. 368-397, 500-524, 1850.

GHENO, S. M. **Análise Exergética de Sistemas Termodinâmicos**. Curitiba: Editora Appris, 2018.

INCOSE. International Council on Systems Engineering. **Systems Engineering Handbook**: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities. 4. ed. Hoboken: Wiley, 2020.

LOMBARDI, G. *et al*. **Otimização Energética de Processos Industriais**. Rio de Janeiro: Interciência, 2015.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N. **Fundamentos da Termodinâmica.** 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

SINGH, R. K. **Sustainable Development and Corporate Social Responsibility.** New Delhi: Sage Publications, 2019.