

**GUIA DE USUÁRIO**  
**FERRAMENTA DIDÁTICA: CICLO DE RANKINE**

# ÍNDICES

<b>1. BEM-VINDOS À FERRAMENTA DIDÁTICA: CICLO DE RANKINE .....</b>	<b>3</b>
1.1 O que é?.....	3
1.2 Principais Funcionalidades.....	3
1.3 Ambientes suportados .....	3
1.4 Como usar este Manual .....	3
1.5 Contato de suporte.....	3
<b>2 HOME / CALCULADORA DE PROPRIEDADES.....</b>	<b>4</b>
2.4 Exemplo para Calculadora de Propriedades.....	6
<b>3. CICLO DE RANKINE SIMPLES.....</b>	<b>8</b>
3.1 Exemplo Ciclo de Rankine Simples.....	9
<b>4. CICLO DE RANKINE REAQUECIMENTO .....</b>	<b>11</b>
4.1 Exemplo 1 do Ciclo de Rankine com Reaquecimento .....	12
4.2 Exemplo 2 do Ciclo de Rankine com Reaquecimento .....	14
<b>5. CICLO DE RANKINE REGENERATIVO.....</b>	<b>16</b>
5.1 Exemplo do Ciclo de Rankine Regenerativo .....	17
<b>6. CICLO DE RANKINE REGENERATIVO COM REAQUECIMENTO .....</b>	<b>19</b>
6.1 Exemplo do Ciclo de Rankine Regenerativo com Reaquecimento .....	20
<b>7. UNIDADES .....</b>	<b>22</b>
<b>8. DESENVOLVIMENTO E TECNOLOGIAS UTILIZADAS .....</b>	<b>22</b>
8.1 Back-End.....	22
8.2 Front-End .....	22
<b>9. VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO SOFTWARE .....</b>	<b>23</b>
9.1 Vantagens do Software.....	23
9.2 Limitações do Software.....	23
<b>10. COMO SE TORNAR UM DESENVOLVEDOR DO SOFTWARE.....</b>	<b>23</b>
10.1 Contato Inicial .....	23
10.2 Apresentação da Ideia: .....	23
10.3 Habilidades em Programação.....	23
10.4 Revisão e Avaliação: .....	23
10.5 Colaboração e Desenvolvimento:.....	23
10.6 Feedback e Melhorias Contínuas: .....	23
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>25</b>

## **1. BEM-VINDOS À FERRAMENTA DIDÁTICA: CICLO DE RANKINE**

Este guia auxilia no uso do software e fornece informações detalhadas para o usuário sobre a ferramenta. Sinta-se à vontade para utilizar.

### **1.1 O que é?**

Ferramenta Didática: Ciclo de Rankine é um software que auxilia estudantes das disciplinas de Termodinâmica Básica, Termodinâmica Aplicada, Sistemas Térmicos entre outras disciplinas da Universidade Federal do Oeste da Bahia a resolver questões de forma mais rápida e eficiente. Nesse sentido, o uso do software possibilita obter resultados dos ciclos e propriedades de forma intuitiva devido a interface gráfica de simples e intuitiva.

### **1.2 Principais Funcionalidades**

- Calcular propriedades termodinâmicas;
- Calcular alguns Ciclos de Rankine, como o Simples, com Reaquecimento, Regenerativo e Regenerativo com Reaquecimento.

### **1.3 Ambientes suportados**

- Windows 8 e superiores, 32 e 64 bits

### **1.4 Como usar este Manual**

Este manual foi projetado para ser um recurso abrangente que o guiará através do uso eficaz do Ferramenta Didática: Ciclo de Rankine Cada seção aborda aspectos específicos do software e fornece instruções detalhadas sobre como realizar determinadas tarefas.

### **1.5 Contato de suporte**

Se você tiver alguma dúvida ou precisar de suporte adicional, não hesite em entrar em contato conosco por meio do e-mail: [mauricio.a3347@ufob.edu.br](mailto:mauricio.a3347@ufob.edu.br).

Nosso software é de código aberto e estamos abertos a novos desenvolvedores que desejam contribuir. Se você está interessado em adicionar novos recursos, corrigir bugs ou melhorar a experiência do usuário, nós valorizamos e encorajamos sua participação. Junte-se a nós e faça parte do nosso esforço para tornar nosso software ainda melhor. No Índice 10 há detalhes de como se torna um desenvolvedor.

## 2 HOME / CALCULADORA DE PROPRIEDADES

MF - Ferramenta didática Ciclo de Rankine

MENU 9

FERRAMENTA DIDÁTICA: CICLO DE RANKINE

### CALCULADORA DE PROPRIEDADES

Propriedade desejada: Todas 1

Fluido: 1-Butene 2

Selecione qual variável é a propriedade 1: Pressão 3

Digite o valor da propriedade 1: 4

Selecione qual variável é a propriedade 2: Pressão 5

Digite o valor da propriedade 2: 6

CALCULAR 7

LIMPAR 8

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - MAURÍCIO FERNANDES

### 1. Seleciona qual propriedade deseja buscar.

Encontra-se como opções:

-Todas: Onde todas as propriedades serão procuradas na tabela.

- Pressão
- Temperatura
- Volume específico
- Energia interna
- Entalpia
- Entropia
- Título

### 2. Seleciona qual fluido será procurada as propriedades.

Encontra-se como opções:

- |                      |            |         |
|----------------------|------------|---------|
| • 1-Butene           | • Hydrogen | • R123  |
| • Acetone            | • Methane  | • R124  |
| • Ammonia            | • Methanol | • R125  |
| • Benzene            | • Nitrogen | • R134a |
| • CarbonDioxide      | • Oxygen   | • R141b |
| • CarbonMonoxid<br>e | • Propyne  | • R142b |
| • Ethane             | • R113     | • R143a |
| • Ethanol            | • R114     | • R218  |
| • Helium             | • R115     | • R410A |
|                      | • R116     | • Water |

**3. Seleciona a primeira dependência para buscar a propriedade desejada.**

Encontra-se como opções:

- Pressão
- Temperatura
- Volume específico
- Energia interna
- Entalpia
- Entropia
- Título

**4. Campo para inserir o valor da primeira dependência.**

**5. Seleciona a segunda dependência para buscar a propriedade desejada.**

Encontra-se como opções:

- Pressão
- Temperatura
- Volume específico
- Energia interna
- Entalpia
- Entropia
- Título

**6. Seleciona a segunda dependência para buscar a propriedade desejada.**

**7. Botão “Calcular” procura a propriedade desejada com os parâmetros inseridos.**

**8. Botão “Limpar” remove os dados inseridos e encontrados da CALCULADORA DE PROPRIEDADES**

**9. “MENU” onde encontra mais outras opções do software como Ciclos de Rankine, Informações, Contatos e Responsáveis.**

## 2.4 Exemplo para Calculadora de Propriedades

Os resultados são exibidos na mesma página a qual é inserido os dados para facilitar a visualização do input com output. Por exemplo, para calcular o volume específico:

- 1- Propriedade desejada Volume Específico
- 2- Fluido: 'Water' / Água
- 3- Propriedade 1: Pressão
- 4- Valor da propriedade 1: 10 kPa
- 5- Propriedade 2: Entropia
- 6- 7 kJ/kg
- 7- Botão Calcular

MF - Ferramenta didática Ciclo de Rankine

MENU FERRAMENTA DIDÁTICA: CICLO DE RANKINE

CALCULADORA DE PROPRIEDADES

Propriedade desejada: Volume específico

Fluido: Water

Selecione qual variável é a propriedade 1: Pressão

10

Selecione qual variável é a propriedade 2: Entropia

7

CALCULAR O resultado é: 12.42306 LIMPAR

O resultado é : 0.00101 para liquido saturado O resultado é : 14.67013 para vapor saturado

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - MAURÍCIO FERNANDES


Há três resultados exibidos, o primeiro que calcula o valor real de acordo com a entropia já fazendo a interpolação e os outros nos estados de saturação: liquido saturado e vapor saturado.

Ao selecionar a propriedade desejada “Todas”, as propriedades encontradas são apresentadas nos tópicos RESULTADOS. Caso os valores encontrados estão na região bifásica são apresentadas também os valores de líquido saturado e vapor saturado de cada propriedade encontrada.

MF - Ferramenta didática Ciclo de Rankine

FERRAMENTA DIDÁTICA: CICLO DE RANKINE

### CALCULADORA DE PROPRIEDADES



Propriedade desejada: Todas

Fluido: Water

Selecione qual variável é a propriedade 1: Pressão

10

Selecione qual variável é a propriedade 2: Entropia

7

CALCULAR LIMPAR

#### RESULTADOS

Valor da Pressão: 10.00000 kPa	Valor da Energia: 2093.20460 kJ/kg
Valor da Temperatura: 45.80633 °C	Valor da Entalpia: 2217.43520 kJ/kg
Valor do Volume específico: 12.42306 m³/kg	Valor da Entropia: 7.00000 kJ/kg

#### VALORES DE SATURAÇÃO

O volume do líquido saturado é: 0.00101 m³/kg	O volume do vapor saturado é: 14.67013 m³/kg
A energia do líquido saturado é: 191.79584 kJ/kg	A energia do vapor saturado é: 2437.15737 kJ/kg
A entalpia do líquido saturado é: 191.80594 kJ/kg	A entalpia do vapor saturado é: 2583.85867 kJ/kg
A entropia do líquido saturado é: 0.64920 kJ/kg	A entropia do vapor saturado é: 8.14882 kJ/kg

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - MAURÍCIO FERNANDES

Importante ressaltar que para determinar o título de duas propriedades deve-se selecionar *Título* na propriedade desejada, sendo exclusivamente dessa forma. Além disso, ao inserir o valor do título deve se colocar em casas decimais, por exemplo, quando for 80% deve ser inserido 0.8.

Outrossim, todos os números reais com casas decimais são colocados PONTO (.) e não vírgula.

### 3. CICLO DE RANKINE SIMPLES

MF - Ferramenta didática Ciclo de Rankine

FERRAMENTA DIDÁTICA: CICLO DE RANKINE

MENU

Simplex Exemplo 10

DADOS DO CICLO

A bomba depende de:

☐ TÍTULO ☐ TEMPERATURA

Entre com a pressão da bomba (kPa) (ESTADO 1)

Temperatura da bomba (Selecione TEMPERATURA) (ESTADO 1)

Entre com a pressão de saída da bomba (kPa) (ESTADO 2):

A saída da caldeira/entrada da turbina depende de:

☐ TÍTULO ☐ TEMPERATURA

Entre com o título da caldeira em % (Selecione TÍTULO) (ESTADO 3)

Temperatura da caldeira (Selecione TEMPERATURA) (ESTADO 3):

CALCULAR 8 LIMPAR 9

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - MAURÍCIO FERNANDES

1. Dependência da bomba refere-se em quais propriedades da bomba são conhecidas para realizar o cálculo;
2. Campo para inserir a pressão do Estado 1;
3. Campo para inserir a temperatura do Estado 1 caso a temperatura seja uma propriedade conhecida no Estado;
4. Campo para inserir a Pressão de saída da bomba, Estado 2;
5. Dependência da saída da caldeira ou entrada da turbina;
6. Campo para inserir o título do Estado 3;
7. Campo para inserir a temperatura do Estado 3;
8. Botão para calcular o ciclo;
9. Botão para limpar os campos e resultados;
10. Aba de um exemplo do livro o qual o software resolve.

A definição da numeração dos estados termodinâmicos é arbitrária, na aba Exemplo é definido as considerações das etapas do ciclo.



### 3.1 Exemplo Ciclo de Rankine Simples

MF - Ferramenta didática Ciclo de Rankine

MENU

Simples

Exemplo

**Exemplo 10.3 - Çengel 7ª Edição**

Considere uma usina a vapor de água operando segundo o ciclo de Rankine ideal. Vapor entra na turbina a 3 MPa e 350 °C e é condensado no condensador à pressão de 10 kPa. Determine (a) a eficiência térmica dessa usina, (b) a eficiência térmica se o vapor for superaquecido a 600 °C e não a 350 °C, e (c) a eficiência térmica se a pressão da caldeira for elevada até 15 MPa enquanto a temperatura na entrada da turbina é mantida a 600 °C.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - MAURÍCIO FERNANDES

Aplicando o Exemplo 10.3 na interface:

MF - Ferramenta didática Ciclo de Rankine

MENU

Simples

Exemplo

DADOS DO CICLO

A bomba depende de:

TÍTULO

TEMPERATURA

10

Temperatura da bomba (Selecione TEMPERATURA) (ESTADO 1)

3000

A saída da caldeira/entrada da turbina depende de:

TÍTULO

TEMPERATURA

Entre com o título da caldeira em % (Selecione TÍTULO) (ESTADO 3)

350

CALCULAR

LIMPAR

Eficiência: 0.334 ou 33.443%

Trabalho da turbina: 979.983 kJ/kg

Trabalho da bomba: -3.021 kJ/kg

Calor da caldeira: 2921.237 kJ/kg

Figure 1

Ciclo de Rankine no Diagrama T-s

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - MAURÍCIO FERNANDES

A seguir é descrito o passo a passo na interpretação da questão e como foi analisado para inserir nos campos.

1. Como a questão não menciona temperatura no Estado 1, selecionou Título;
2. A questão menciona que é condensado a 10 kPa, como é um trocador de calor é a pressão constante. Logo, a entrada da bomba (Estado 1) também é 10 kPa;
3. Campo para inserir a temperatura do Estado 1, caso seja selecionado Temperatura;
4. Para o Ciclo de Rankine Simples, a saída da bomba é o Estado de pressão máxima. Logo, para o Estado 2 foi inserido 3000 kPa.
5. A questão menciona que a temperatura entra na turbina a 350 °C, logo é selecionado Temperatura;
6. Campo para inserir o título caso seja selecionado título;
7. Campo para inserir a temperatura, 350 °C (Estado 3);
8. Botão calcular;

Como resultado é retornado eficiência, trabalho da turbina, trabalho da bomba, calor da caldeira e o gráfico. No exemplo acima, a eficiência encontrada para o ciclo foi em torno de 33,44%.

## 4. CICLO DE RANKINE REAQUECIMENTO

MF - Ferramenta didática Ciclo de Rankine

FERRAMENTA DIDÁTICA: CICLO DE RANKINE

MENU

Reaquecimento Exemplo 15

**DADOS DO CICLO**

A bomba depende de:

☐ TÍTULO ☐ TEMPERATURA

Entre com a pressão da entrada da bomba (kPa) (ESTADO 1):

Temperatura da bomba (Selecione TEMPERATURA) (ESTADO 1)

Entre com a pressão de saída da bomba (kPa) (ESTADO 2):

A saída da caldeira/entrada da turbina depende de:

☐ TÍTULO ☐ TEMPERATURA

Entre com o título da caldeira em % (SELECIONE TÍTULO) (ESTADO 3):

Temperatura da turbina (SELECIONE TEMPERATURA) (ESTADO 3):

Pressão intermediária (KPa) (ESTADO 4):

A turbina de baixa pressão depende de:

☐ TÍTULO ☐ TEMPERATURA

Temperatura da turbina (SELECIONE TEMPERATURA) (ESTADO 5):

Entre com o título da turbina em % (SELECIONE TÍTULO) (ESTADO 5):

CALCULAR OTIMIZAR LIMPAR

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - MAURÍCIO FERNANDES

1. Dependência da bomba refere-se em quais propriedades da bomba são conhecidas para realizar o cálculo;
2. Campo para inserir a pressão do Estado 1;
3. Campo para inserir a temperatura do Estado 1 caso a temperatura seja uma propriedade conhecida no Estado;
4. Campo para inserir a Pressão de saída da bomba, Estado 2;
5. Dependência da saída da caldeira ou entrada da turbina de alta pressão;
6. Campo para inserir o título caso seja uma variável conhecida (Estado 3);
7. Campo para inserir a temperatura do Estado 3 caso seja conhecida;
8. Campo para inserir a pressão intermediária, (Estado 4) a pressão de reaquecimento;
9. Dependência da turbina de baixa pressão;
10. Campo para inserir a temperatura do Estado 5;
11. Campo para inserir o título do Estado 5;
12. Botão para calcular;
13. Botão para otimizar o ciclo e avaliar qual seria a melhor pressão intermediária para obter a maior eficiência do ciclo e maior trabalho líquido, plotando o gráfico;
14. Botão para limpar os campos preenchidos e resultados;
15. Exemplo do ciclo para calcular usando o software.

## 4.1 Exemplo 1 do Ciclo de Rankine com Reaquecimento

MF - Ferramenta didática Ciclo de Rankine

MENU

Reaquecimento Exemplo

10.35 - Çengel 7ª Edição

Uma usina de potência a vapor de água opera no ciclo de Rankine ideal com reaquecimento. Vapor entra na turbina de alta pressão a 6 MPa e 400 °C, saindo a 2 MPa. Em seguida, o vapor é reaquecido a uma pressão constante até 400 °C antes de expandir até 20 kPa na turbina de baixa pressão. Determine o trabalho produzido pelas turbinas em kJ/kg e a eficiência térmica do ciclo. Mostre também o ciclo em um diagrama T-s que inclua as linhas de saturação.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - MAURÍCIO FERNANDES

Aplicando o Exemplo 10.35 na interface:

MF - Ferramenta didática Ciclo de Rankine

MENU

Reaquecimento Exemplo

**DADOS DO CICLO**

A bomba depende de:

☒ TÍTULO ☐ TEMPERATURA

20

Temperatura da bomba (Selecione TEMPERATURA) (ESTADO 1)

6000

A saída da caldeira/entrada da turbina depende de:

☐ TÍTULO ☒ TEMPERATURA

Entre com o título da caldeira em % (SELECIONE TÍTULO) (ESTADO 3):

400

2000

A turbina de baixa pressão depende de:

☐ TÍTULO ☒ TEMPERATURA

400

Entre com o título da turbina em % (SELECIONE TÍTULO) (ESTADO 5):

**CALCULAR** **OTIMIZAR** **LIMPAR**

Eficiência: 0.358 ou 35.796%

Trabalho da turbina: 1175.911 kJ/kg

Trabalho da bomba: -6.083 kJ/kg

Calor da caldeira: 3268.085 kJ/kg

Figure 1

Diagrama T-s do Ciclo de Rankine

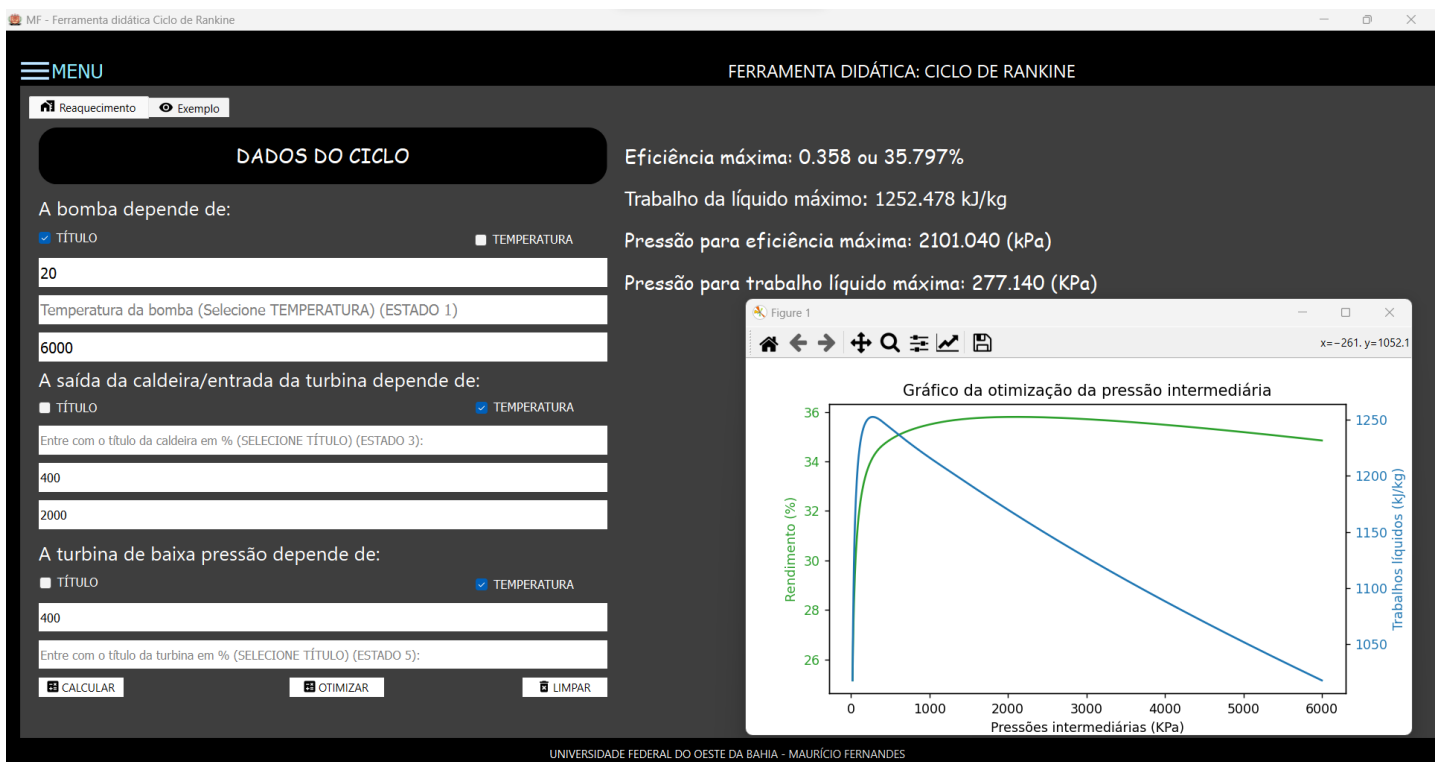
UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - MAURÍCIO FERNANDES

A seguir é descrito o passo a passo na interpretação da questão e como foi analisado para inserir nos campos.

1. Seleciona a dependência da bomba, como não falou de temperatura, selecionou título;
2. A pressão de entrada da bomba é 20 kPa (Estado 2);
3. Como não foi marcado temperatura, não será considerado temperatura;
4. Campo para pressão de saída da bomba, é onde há a pressão máxima do ciclo, 6000 kPa (Estado 3);
5. Selecionar a dependência da turbina de alta: Foi selecionado temperatura pois a questão indica uma temperatura de 400 °C;
6. Campo não preenchido pois é de título e foi selecionado temperatura;
7. Foi inserido 400 °C para temperatura da turbina de alta;
8. A pressão intermediária ou pressão de saída da turbina de alta para o reaquecimento a questão indica que é 2000 kPa;
9. A dependência da turbina de baixa foi marcada Temperatura;
10. Foi inserido a temperatura de 400 °C;
11. Como foi selecionado temperatura na dependência de turbina de baixa, foi deixado em branco;
12. Botão calcular.

O resultado retornado foi de 35,79% para eficiência, 1175 kJ/kg para o trabalho da turbina, -6 kJ/kg para o trabalho da bomba, 3268 kJ/kg para o calor da caldeira além do gráfico gerado.

Outra opção para esse ciclo é a otimização da pressão intermediária dada acionada pelo botão Otimizar. Ao otimizar o ciclo do exemplo acima, temos:

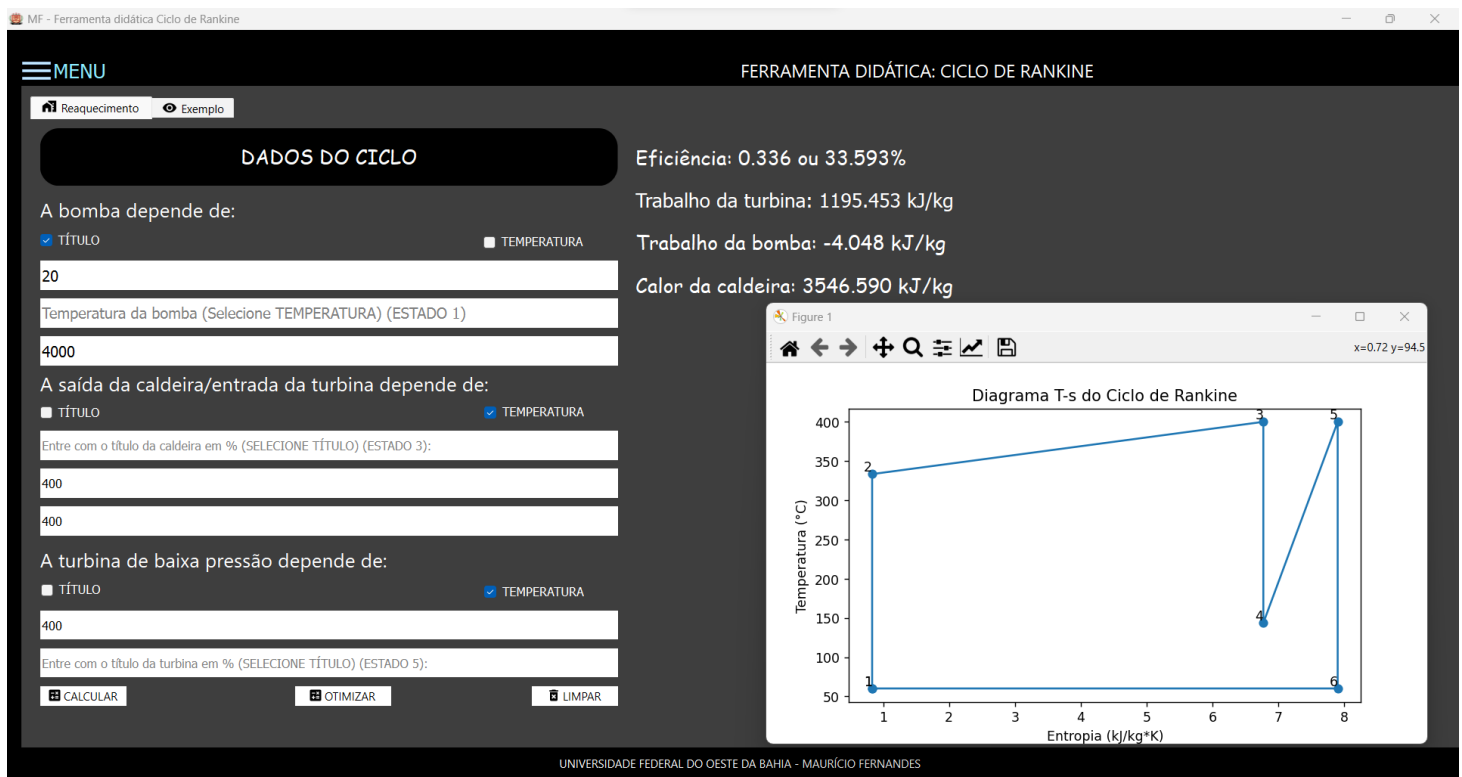


A eficiência máxima encontrada foi de 35,797% e o ponto de pressão intermediária para essa eficiência foi de 2101,040 kPa. É possível observar que para a eficiência máxima tem uma diferença pequena comparado ao resultado encontrado com o exemplo. No entanto, como é uma questão do livro, geralmente as pressões intermediárias consideram próximo da eficiência máxima. Além disso, é possível utilizar outros exemplos para analisar a otimização de forma mais clara.

#### 4.2 Exemplo 2 do Ciclo de Rankine com Reaquecimento

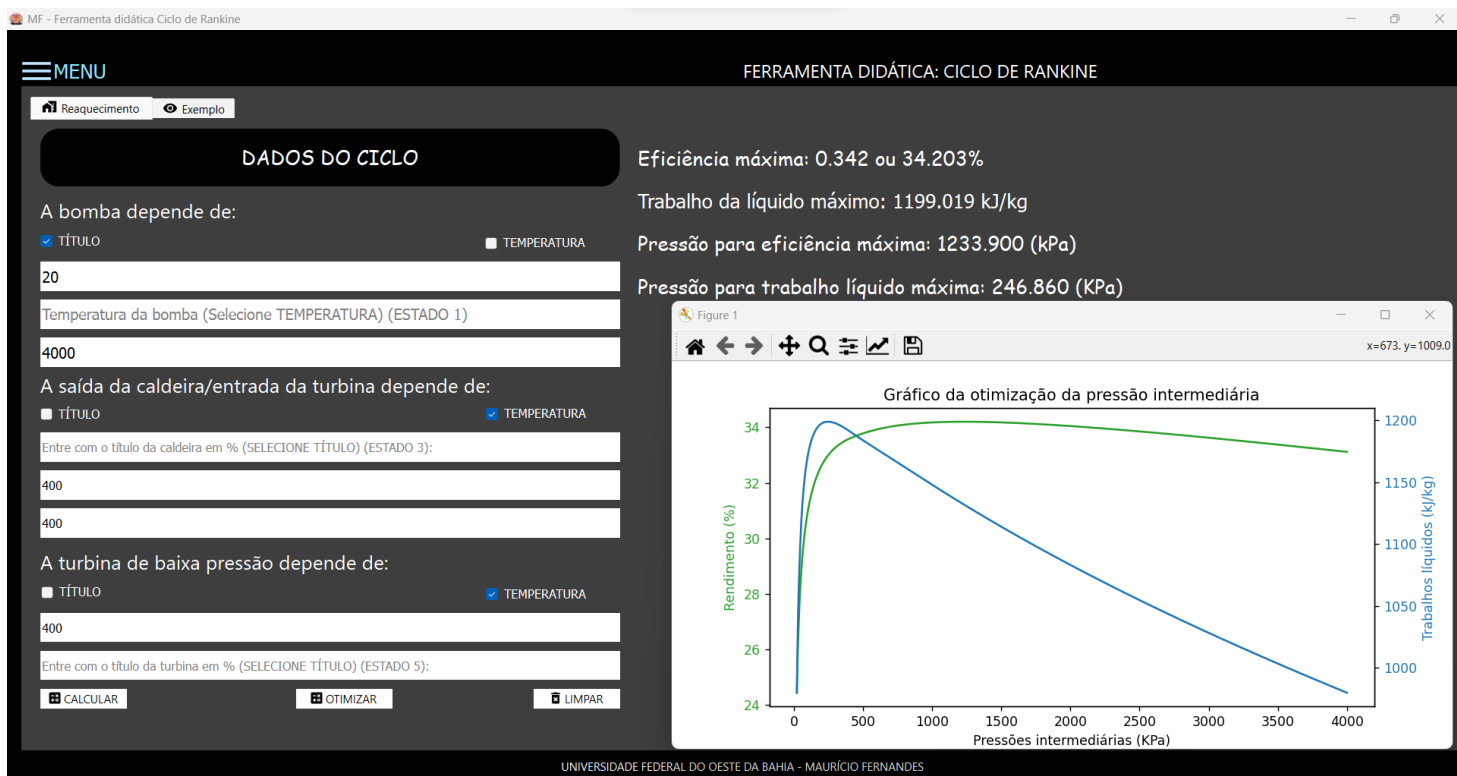
- 1- Altere 20 kPa por 10 kPa;
- 2- Altere a pressão máxima, 6000 kPa para 4000 kPa;
- 3- Mantém as temperaturas;
- 4- Altere a pressão intermediária de 2000 kPa para 400 kPa.

Ao clicar em calcular, obtemos:



Ao realizar o cálculo com as alterações indicadas acima, obteve-se uma eficiência de 33,593%, 1195,453 kJ/kg de trabalho da turbina, -4,048 kJ/kg de trabalho da bomba, 3546,59 kJ/kg de calor da caldeira e o gráfico do diagrama T-s.

O intuito é avaliar a função otimizar para obter a pressão intermediária que corresponde a maior eficiência e o maior trabalho líquido. Nesse sentido, com os parâmetros acima, ao clicar o botão otimizar, temos:



Como resultado, obteve-se uma eficiência máxima de 34,203% no ponto de pressão intermediária de 1233,9 kPa e um trabalho líquido máximo de 1199,019 kJ/kg no ponto de pressão intermediária de 246,86 kPa.

## 5. CICLO DE RANKINE REGENERATIVO

MF - Ferramenta didática Ciclo de Rankine

MENU FERRAMENTA DIDÁTICA: CICLO DE RANKINE

Regenerativo Exemplo Regenerativo com reaquecimento Exemplo

**DADOS DO CICLO**

A bomba 1 depende de:

☐ TÍTULO ☐ TEMPERATURA

Entre com a pressão da entrada da bomba (kPa) (ESTADO 1):

Temperatura da bomba (Selecione TEMPERATURA) (ESTADO 1):

Entre com a pressão de saída da bomba 1 (kPa) (ESTADO 2):

A bomba 2 depende de:

☐ TÍTULO ☐ ENTALPIA PELA 1ª LEI NO AQUECEDOR

Entre com a fração y (SELECIONE ENCONTRAR PELA ENTALPIA)

A turbina depende de:

☐ TÍTULO ☐ TEMPERATURA

Entre com a pressão da turbina (kPa) (ESTADO 5):

Temperatura da turbina (SELECIONE TEMPERATURA) (ESTADO 5):

Entre com o título da turbina em % (SELECIONE TÍTULO) (ESTADO 5):

11  12

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - MAURÍCIO FERNANDES

1. Dependência da bomba refere-se em quais propriedades da bomba são conhecidas para realizar o cálculo;
2. Campo para inserir a pressão do Estado 1;
3. Campo para inserir a temperatura do Estado 1 caso a temperatura seja uma propriedade conhecida no Estado;
4. Campo para inserir a Pressão de saída da bomba, Estado 2;
5. Selecionar a dependência da bomba 2;
6. Campo para inserir a fração y, caso selecione resolver pela primeira lei no aquecedor;
7. Selecionar a dependência da turbina;
8. Campo para inserir a pressão na entrada da turbina (Estado 5);
9. Campo para inserir a temperatura do Estado 5, caso seja selecionado temperatura;
10. Campo para inserir o título do Estado 5, caso seja selecionado título;
11. Botão para calcular;
12. Botão para limpar.

Na primeira aba de Exemplo encontra-se uma questão a qual é possível resolver utilizando o software. A seguir é apresentada a aba.



## 5.1 Exemplo do Ciclo de Rankine Regenerativo

MF - Ferramenta didática Ciclo de Rankine

MENU FERRAMENTA DIDÁTICA: CICLO DE RANKINE

Regenerativo Exemplo Regenerativo com reaquecimento Exemplo



**Exemplo 10.5 - Çengel 7ª Edição**

Considere uma usina de potência a vapor de água que opera segundo o ciclo de Rankine regenerativo ideal com um aquecedor de água de alimentação aberto. Vapor entra na turbina a 15 MPa e 600 °C e é condensado no condensador à pressão de 10 kPa. Parte do vapor deixa a turbina a uma pressão de 1,2 MPa e entra no aquecedor de água de alimentação aberto. Determine a fração de vapor extraída da turbina e a eficiência térmica do ciclo.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - MAURÍCIO FERNANDES

Aplicando na interface:

MF - Ferramenta didática Ciclo de Rankine

MENU FERRAMENTA DIDÁTICA: CICLO DE RANKINE

Regenerativo Exemplo Regenerativo com reaquecimento Exemplo

**DADOS DO CICLO**

A bomba 1 depende de:

☒ TÍTULO ☐ TEMPERATURA

10

Temperatura da bomba (Selecione TEMPERATURA) (ESTADO 1):

1200

A bomba 2 depende de:

☒ TÍTULO ☐ ENTALPIA PELA 1ª LEI NO AQUECEDOR

Entre com a fração y (SELECIONE ENCONTRAR PELA ENTALPIA)

A turbina depende de:

☐ TÍTULO ☒ TEMPERATURA

15000

600

Entre com o título da turbina em % (SELECIONE TÍTULO) (ESTADO 5):

CALCULAR LIMPAR

Eficiência: 0.463 ou 46.312%

Trabalho da turbina: 1299.057 kJ/kg

Trabalho da bomba: -16.641 kJ/kg

Calor da caldeira: 2769.092 kJ/kg

Fração y: 0.227

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - MAURÍCIO FERNANDES

A seguir é descrito o passo a passo na interpretação da questão e como foi analisado para inserir nos campos.

1. Como não menciona nada sobre temperatura no Estado 1, é selecionado título;
2. A questão menciona que é condensado a 10 kPa, como é um trocador de calor é pressão constante. Logo, a pressão que entra na Bomba 1 (Estado 1) é 10 kPa;
3. Caso seja selecionado Temperatura, campo para inserir a temperatura;
4. Pressão de saída da Bomba 1, pelo diagrama, a saída da bomba vai para uma AAA aberto o qual é misturado a pressão constante. Portanto, se parte do vapor sai a 1200 kPa, é mesma pressão do Estado 2;
5. Dependência da Bomba 2, como a questão solicita a fração  $y$ , considera-se título;
6. Campo caso seja marcado para resolver a questão pela Primeira Lei no Aquecedor fornecendo o valor da fração  $y$ ;
7. Dependência da turbina, como a questão menciona a temperatura que entra na turbina, seleciona Temperatura;
8. Campo para inserir a pressão (máxima) que entra na turbina;
9. Campo para inserir a temperatura que entra na turbina;
10. Campo para inserir o título, caso seja selecionado Título na dependência da turbina;
11. Botão para calcular o ciclo
12. Botão para limpar os dados preenchidos e os resultados.

Como resultado, obteve-se a eficiência de 46,31%, o trabalho da turbina de 1299 kJ/kg, o trabalho da bomba de -16,64 kJ/kg, o calor da caldeira de 2769 kJ/kg e a fração  $y$  de 0,227.

## 6. CICLO DE RANKINE REGENERATIVO COM REAQUECIMENTO

MF - Ferramenta didática Ciclo de Rankine

MENU FERRAMENTA DIDÁTICA: CICLO DE RANKINE

Regenerativo Exemplo Regenerativo com reaquecimento Exemplo

**DADOS DO CICLO**

Entre com a vazão mássica do ciclo: 1

A bomba 1 depende de: 2  
☐ TÍTULO ☐ TEMPERATURA

Entre com a pressão de entrada da bomba (kPa) (ESTADO 1): 3

Temperatura da bomba (SELECIONE TEMPERATURA) (ESTADO 1): 4

Entre com a pressão de saída da bomba 1 (kPa) (ESTADO 2): 5

A bomba 2 depende de: 6  
☐ TÍTULO ☐ TEMPERATURA

Entre com a pressão de entrada da bomba 2 (kPa) (ESTADO 3): 7

Entre com a temperatura de saída da bomba 2 8

A turbina de alta pressão depende de: 9  
☐ TÍTULO ☐ TEMPERATURA

Temperatura da turbina (SELECIONE TEMPERATURA) (ESTADO 5): 10

Entre com o título da turbina (SELECIONE TÍTULO) (ESTADO 5): 11

Entre com a pressão de saída da turbina de alta (kPa) (ESTADO 6): 12

A turbina de baixa pressão depende de: 13  
☐ TÍTULO ☐ TEMPERATURA

Temperatura da turbina (SELECIONE TEMPERATURA) (ESTADO 7): 14

Entre com o título da turbina (SELECIONE TÍTULO) (ESTADO 7): 15

Entre com as eficiências isentrópicas das bombas e turbinas:

Entre com a eficiência isentrópica das turbinas (%): 16

Entre com a eficiência isentrópica das bombas (%): 17

CALCULAR 18 LIMPAR 19

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - MAURÍCIO FERNANDES

1. Campo para inserir vazão mássica do ciclo;
2. Dependência da bomba refere-se em quais propriedades da bomba são conhecidas para realizar o cálculo;
3. Campo para inserir a pressão do Estado 1;
4. Campo para inserir a temperatura do Estado 1 caso a temperatura seja uma propriedade conhecida no Estado;
5. Campo para inserir a Pressão de saída da bomba, Estado 2;
6. Selecionar a dependência da bomba 2;
7. Campo para inserir a pressão de entrada da Bomba 2 (Estado 3);
8. Campo para inserir a temperatura de saída da Bomba 2 (Estado 11);
9. Selecionar dependência da turbina de alta pressão;
10. Campo para inserir a temperatura da turbina de alta pressão (Estado 5), caso seja selecionado Temperatura;
11. Campo para inserir o título da turbina de alta pressão (Estado 5), caso seja selecionado Título;
12. Campo para inserir a pressão de saída da turbina de alta pressão (Estado 6);
13. Selecionar a dependência da turbina de baixa pressão;
14. Campo para inserir a temperatura da turbina de baixa pressão (Estado 7), caso seja selecionado Temperatura;
15. Campo para inserir a título da turbina de baixa pressão (Estado 7), caso seja selecionado Título;
16. Campo para inserir a eficiência isentrópica das turbinas;
17. Campo para inserir a eficiência isentrópica das bombas;
18. Botão para calcular o ciclo;

19. Botão para limpar o preenchimento do ciclo e resultados.

Na segunda aba de Exemplo encontra-se uma questão a qual é possível resolver utilizando o software. A seguir é apresentado a aba.

### 6.1 Exemplo do Ciclo de Rankine Regenerativo com Reaquecimento

**10-60 - Çengel 7ª Edição**

Uma usina de potência a vapor opera no ciclo de Rankine com reaquecimento e regeneração com um aquecedor de água de alimentação fechado. Vapor entra na turbina a 8 MPa e 500 °C com uma vazão de 15 kg/s e é condensado no condensador a uma pressão de 20 kPa. O vapor é reaquecido a 3 MPa até 500 °C. Parte do vapor, extraído da turbina de baixa pressão a 1,0 MPa, é completamente condensado no aquecedor de água de alimentação e bombeado até 8 MPa antes de se misturar à água de alimentação à mesma pressão. Considerando uma eficiência isentrópica de 88% para a turbina e para a bomba, determine (a) a temperatura do vapor na entrada do aquecedor de água de alimentação, (b) o fluxo de massa do vapor extraído da turbina para o aquecedor de água de alimentação, (c) a potência líquida e (d) a eficiência térmica.

Respostas: (a) 350 °C; (b) 2,64 kg/s; (c) 16,2 MW; (d) 36,7%

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - MAURÍCIO FERNANDES

Aplicando o Exemplo na interface, temos:

**DADOS DO CICLO**

15

A bomba 1 depende de:

☒ TÍTULO ☐ TEMPERATURA

20

Temperatura da bomba (Selecione TEMPERATURA) (ESTADO 1):

8000

A bomba 2 depende de:

☒ TÍTULO ☐ TEMPERATURA

1000

Entre com a temperatura de saída da bomba 2

A turbina de alta pressão depende de:

☐ TÍTULO ☒ TEMPERATURA

500

Entre com o título da turbina (SELECIONE TÍTULO) (ESTADO 5):

3000

A turbina de baixa pressão depende de:

☐ TÍTULO ☒ TEMPERATURA

500

Entre com o título da turbina (SELECIONE TÍTULO) (ESTADO 7):

Entre com as eficiências isentrópicas das bombas e turbinas:

88

88

**CALCULAR** **LIMPAR**

**Eficiência: 0.366 ou 36.592%**

**Trabalho da turbina: 16343.686 kW**

**Trabalho da bomba: -137.679 kW**

**Calor da caldeira: 44288.459 kW**

**A temperatura do estado 8 é: 349.865 °C**

**O fluxo de massa do vapor extraído: 2.637 kg/s**

**O trabalho líquido do ciclo: 16206.007 kW**

**Fração y: 0.176**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DA BAHIA - MAURÍCIO FERNANDES

A seguir é descrito o passo a passo na interpretação da questão e como foi analisado para inserir nos campos.

1. O campo é preenchido com a vazão mássica de 15 kg/s;
2. Como não menciona temperatura no Estado 1, foi selecionado Título;
3. A pressão do condensador é 20 kPa, como é trocador de calor, é a mesma que entra na bomba 1;
4. Campo para inserir a temperatura do Estado 1, caso seja selecionado Temperatura;
5. Campo para inserir a pressão de saída da Bomba 1, observa que o trocador de calor é fechado, logo não há mistura de fluidos. Portanto, considera que as pressões permanecem constantes;
6. Como não menciona temperatura, seleciona Título para dependência da Bomba 2;
7. Campo para inserir a pressão de entrada da Bomba 2, a pressão de entrada da bomba 2 é igual a pressão do Estado 8 porque as pressões permanecem constantes no trocador de calor fechado;
8. Campo para inserir a temperatura, caso seja selecionado Temperatura na dependência da Bomba 2;
9. Selecionar a dependência da turbina de alta pressão, como a questão menciona temperatura, selecionou Temperatura;
10. Campo para inserir o valor da temperatura da turbina de alta pressão;
11. Campo para inserir o título da turbina de alta pressão, caso seja selecionado Título;
12. Campo para inserir a pressão de reaquecimento;
13. Selecionar dependência da turbina de baixa pressão, como a questão menciona temperatura de reaquecimento, seleciona Temperatura;
14. Campo para inserir o valor da Temperatura de reaquecimento;
15. Campo para inserir o título da turbina de baixa pressão, caso seja selecionado Título na dependência;
16. Campo para inserir a eficiência isentrópica da turbina;
17. Campo para inserir a eficiência isentrópica da bomba;
18. Botão para calcular o ciclo.

Como resultado, obteve-se a Temperatura do Estado 8: 349,865 °C, o fluxo de massa extraído: 2,637 kg/s, Eficiência do ciclo: 36,592%, Potência líquida: 16,206 MW.

## 7. UNIDADES

A Tabela 1 abaixo apresenta as unidades e a forma de cada propriedade.

PROPRIEDADE	UNIDADE
Pressão	kPa
Temperatura	°C
Volume específico	m <sup>3</sup> /kg
Energia interna	kJ/kg
Entalpia	kJ/kg
Entropia	kJ/kg
Título	Porcentagem ou decimal
Vazão mássica	Kg/s
Potência	kW ou MW

## 8. DESENVOLVIMENTO E TECNOLOGIAS UTILIZADAS

### 8.1 Back-End

Python foi a linguagem escolhida para desenvolver o back-end deste software devido à sua flexibilidade, eficiência e vasta gama de bibliotecas disponíveis. Integrações cruciais foram realizadas utilizando bibliotecas como CoolProp, Matplotlib e NumPy para cálculos, visualizações e manipulação de dados. Especificamente, a biblioteca CoolProp desempenhou um papel fundamental ao fornecer propriedades termodinâmicas necessárias para os cálculos realizados pelo software. Utilizando dados precisos e atualizados, o CoolProp permitiu que o sistema realizasse análises termodinâmicas precisas e confiáveis, contribuindo assim para a qualidade dos resultados obtidos.

### 8.2 Front-End

O PySide6, em conjunto com o Qt Designer, foi a combinação escolhida para desenvolver a interface gráfica de usuário deste software. O Qt Designer oferece uma interface intuitiva para a criação de layouts de GUIs, permitindo um desenvolvimento eficiente e visualmente atraente. Sua integração perfeita com o PySide6 facilitou a implementação dos designs criados no Qt Designer diretamente no código Python, proporcionando uma experiência de desenvolvimento coesa e simplificada. Através dessa integração, foi possível criar interfaces gráficas altamente funcionais e esteticamente agradáveis, garantindo uma experiência de usuário otimizada para os usuários do software.

## **9. VANTAGENS E LIMITAÇÕES DO SOFTWARE**

Esta seção destina-se a fornecer uma visão clara das capacidades do software, bem como suas limitações, para que os usuários possam entender completamente o que esperar ao utilizá-lo.

### **9.1 Vantagens do Software**

- Respostas rápidas dos ciclos suportados;
- Propriedades termodinâmicas de forma rápida;
- Auxilia nos estudos;
- Interface mais acessível para os usuários comparado à software como EES;
- Ser aberto para novos desenvolvedores.

### **9.2 Limitações do Software**

- Não ter opção para suportar ciclos não nativos;
- Não adicionar vazão mássica em todos os ciclos;
- Não calcular entropias reais em todos os ciclos.

## **10. COMO SE TORNAR UM DESENVOLVEDOR DO SOFTWARE**

### **10.1 Contato Inicial**

Entre em contato conosco através do e-mail: [mauricio.a3347@ufob.edu.br](mailto:mauricio.a3347@ufob.edu.br), expressando seu interesse em se tornar um desenvolvedor colaborador do nosso projeto.

### **10.2 Apresentação da Ideia:**

Apresente sua ideia para adicionar novos recursos, corrigir bugs ou melhorar a experiência do usuário. Descreva detalhadamente a proposta, incluindo sua relevância para o projeto e os benefícios esperados.

### **10.3 Habilidades em Programação**

Demonstre suas habilidades em programação. Forneça informações sobre sua experiência anterior, projetos relevantes e linguagens de programação que você domina. Se possível, forneça exemplos de seu trabalho anterior ou um portfólio online.

### **10.4 Revisão e Avaliação:**

Nossa equipe revisará sua proposta e avaliará suas habilidades em programação. Se sua proposta for considerada relevante e suas habilidades atenderem às nossas necessidades, entraremos em contato para discutir os próximos passos.

### **10.5 Colaboração e Desenvolvimento:**

Se selecionado, você se tornará um membro da equipe de desenvolvimento e receberá acesso aos recursos necessários para contribuir para o projeto. Trabalharemos juntos para implementar sua ideia e garantir que ela atenda aos padrões de qualidade do projeto.

### **10.6 Feedback e Melhorias Contínuas:**

Após a implementação da sua contribuição, incentivamos o feedback contínuo e colaboração para aprimorar ainda mais o projeto. Estamos comprometidos em criar um ambiente de desenvolvimento colaborativo e gratificante para todos os membros da nossa equipe.

*A etapa 10.3 não é crucial para ser desenvolvedor, apenas um diferencial. Se estiver comprometido em fazer parte do projeto, não precisa saber programação desde que esteja comprometido em aprender.*

Se você estiver interessado em se tornar um desenvolvedor colaborador do nosso projeto, não hesite em entrar em contato conosco para iniciar o processo de colaboração. Estamos ansiosos para trabalhar com você e fazer avanços significativos no nosso projeto junto.



## REFERÊNCIAS

BOLES, M.; ÇENGEL, Y. Termodinâmica. 7ª edição. **São Paulo: AMGH Editora**, p. 6-7, 2013.

BELL, I. H.; WRONSKI, J.; QUOILIN, S.; LEMORT, V. Pure and Pseudo-pure Fluid Thermophysical Property Evaluation and the Open-Source Thermophysical Property Library CoolProp. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 53, n. 6, p. 2498-2508, 2014. DOI: 10.1021/ie4033999.