

## Propriedades de Substância Pura e Gás Perfeito

versão 02.2021

---

### Substância Pura

**Exercício 1.** Considere um sistema que consiste em uma mistura líquido-vapor de água a 100 °C e título 0,9. Determine a pressão e o volume específico da mistura líquido/vapor.

**Exercício 2.** Determine a pressão da água em cada um de três estados definidos pela temperatura de 100 °C e volumes específicos de, respectivamente, 3,418 m<sup>3</sup>/kg, 1,0 m<sup>3</sup>/kg, e 0,0010410 m<sup>3</sup>/kg. Represente em um diagrama T x v.

**Exercício 3.** Determine a temperatura e título (se necessário) para água a uma pressão de 300 kPa e para os volumes específicos listados:

- a) 0,5 m<sup>3</sup>/kg
- b) 1,0 m<sup>3</sup>/kg

**Exercício 4.** Construa um diagrama T-v (usando as tabelas de propriedades do livro) para água. Mostre as linhas de pressão constante para 500 kPa e 30 MPa.

**Exercício 5.** Um vaso contém água a 100 kPa e título de 10%. Qual a fração em volume ocupada por cada fase?

**Exercício 6.** Sabe-se que uma panela de pressão contém líquido e vapor a 200 kPa e que seu volume é de 5 L. Sabendo-se que a massa de água colocada na panela antes de levá-la ao fogo é de 0,5- kg, calcular:

- a) volume específico do conjunto
- b) título
- c) massa de líquido e vapor
- d) volume ocupado pelo líquido e pelo vapor

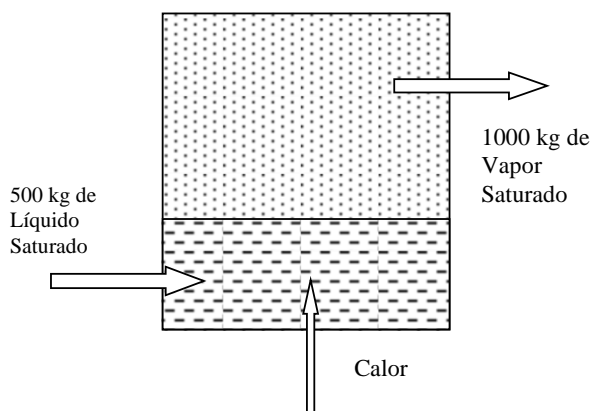
**Exercício 7.** Vapor de água a 3 MPa e 300°C encontra-se em um cilindro que é resfriado a volume constante até 200°C, sendo então comprimido isotermicamente até 3 MPa. Pede-se:

- a) represente os três estados em diagramas p-v e T-v;
- b) calcule  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$  e  $x_2$ .

**Exercício 8.** Considere 1 kg de água no ponto triplo. O volume da fase líquida é igual ao volume da fase sólida e o volume da fase vapor é igual a 10<sup>4</sup> vezes o da fase líquida. Determine a massa de água em cada fase.

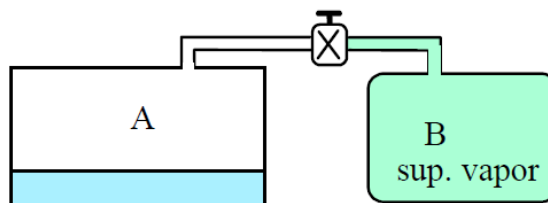
**Exercício 9.** Uma caldeira de volume constante contém uma mistura de líquido e vapor de água sujeita à pressão constante de 4 MPa. A caldeira recebe uma massa de 500 kg de líquido saturado e produz 1000 kg de vapor saturado seco na mesma pressão. Conhecendo o volume interno total da caldeira  $V_T = 5,0 \text{ m}^3$ , e o volume ocupado pela fase líquida  $V_{l,0} = 1,2 \text{ m}^3$  no instante inicial, pede-se:

- Calcular a massa total (líquido e vapor) que se encontra dentro da caldeira, antes e depois das trocas de massa (instante inicial e final).
- Massas de líquido e de vapor que se encontram dentro da caldeira, no instante final do processo.



**Exercício 10.** Considere dois tanques, A e B, ligados por uma tubulação e válvula. O tanque A tem um volume de 2,7 L e contém R-134a a 30°C, sendo 10% em volume na fase líquida e 90% na fase vapor. O tanque B está vazio. A válvula é aberta e, após um certo intervalo de tempo, os tanques ficam à mesma pressão, de 0,2 MPa. Durante esse processo há transferência de calor para manter a temperatura do R-134a a 30°C. Determine o volume do tanque B.

**Exercício 11.** Considere dois tanques conectados conforme a figura contendo água. O tanque A está a 200 kPa e o volume específico da mistura é 0,5 m<sup>3</sup>/kg. Sabe-se que  $V_A$  é 1 m<sup>3</sup>. O tanque B contém 3,5 kg de vapor superaquecido a 0,5 MPa e 400°C. A válvula é então aberta e os dois tanques entram em equilíbrio. Calcule o volume específico médio dos tanques.



## Gás Perfeito

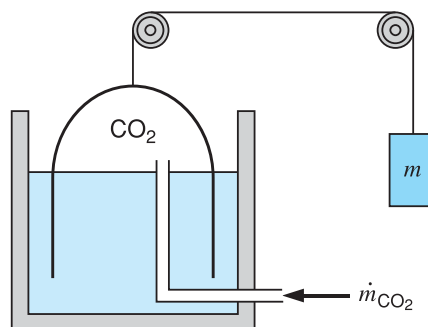
**Exercício 12.** Certa quantidade de ar ocupa um volume de  $5 \text{ m}^3$  quando sujeita à pressão de  $100 \text{ kPa}$  e temperatura de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Nessas condições, calcular a sua massa específica.

**Exercício 13.** Qual a massa de ar contida em uma sala de  $6 \times 10 \times 4 \text{ m}$  caso a pressão seja  $100 \text{ kPa}$  e a temperatura  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ?

**Exercício 14.** Uma tanque de  $0,5 \text{ m}^3$  contem  $10 \text{ kg}$  de um gás ideal de massa molar de  $24 \text{ kg/kmol}$ . A temperatura é de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Qual é a pressão?

**Exercício 15.** O ar confinado num pneu está inicialmente a  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $190 \text{ kPa}$ . Após percorrer um percurso, a temperatura do ar foi novamente medida e revelou um valor de  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Calcule a pressão do ar nesta condição.

**Exercício 16.** Um sistema de armazenamento de  $\text{CO}_2$  é submerso em água líquida com uma massa em contrabalanço. A pressão interna é medida em  $105 \text{ kPa}$  e a temperatura de  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ . Um volume de  $0,75 \text{ m}^3$  aumenta em um período de  $18,5 \text{ s}$ . Qual a vazão volumétrica e a vazão mássica que entra no volume de controle durante esse período.



**Exercício 17.** Um  $\text{kg}$  de ar percorre um ciclo termodinâmico composto por três processos:

- $1 \rightarrow 2$ :  $v=\text{cte}$  ( $T_1=300 \text{ K}$  e  $p_1=1 \text{ atm}$ );
- $2 \rightarrow 3$ : expansão isotérmica ( $p_2=2 \text{ atm}$ );
- $3 \rightarrow 1$ : compressão isobárica.

Pede-se: a) represente o ciclo em um diagrama p-v; b) determine  $T_2$ ; c) determine  $v_3$ .

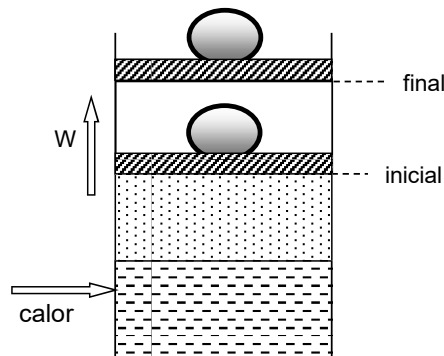
## Respostas e informações adicionais

- 1)  $P = 101,35 \text{ kPa}$ ,  $v = 1,505 \text{ m}^3/\text{kg}$  [exemplo livro Moran e Shapiro]
- 2) (a) vapor superaquecido  $P = 50 \text{ kPa}$ , (b) estado saturado  $P = 101,35 \text{ kPa}$ , (c) líquido comprimido  $P = 5 \text{ MPa}$  [exemplo livro Moran e Shapiro]
- 3) (a) estado saturado  $T = 133,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $x = 0,825$ , (b) vapor superaquecido  $T = 400 \text{ }^\circ\text{C}$
- 5) vapor 99,45%, líquido 0,55%
- 6) (a)  $v = 0,01 \text{ m}^3/\text{kg}$ , (b)  $x = 1,01\%$ , (c)  $m_l = 0,495 \text{ kg}$ ,  $m_v = 0,005 \text{ kg}$ , (d)  $V_l = 0,5 \text{ L}$ ,  $V_v = 4,5 \text{ L}$  [exemplo livro Ieno]
- 7)  $v_1 = 0,08114 \text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $v_2 = v_1$ ,  $v_3 = 0,001130 \text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $x_2 = 0,634$
- 8)  $m_s = 0,466 \text{ kg}$ ,  $m_l = 0,509 \text{ kg}$ ,  $m_v = 0,025 \text{ kg}$
- 9) (a)  $m_0 = 1.034,0 \text{ kg}$ ,  $m_F = 534,0 \text{ kg}$ , (b)  $m_{l,F} = 444,2 \text{ kg}$ ,  $m_{v,F} = 89,8 \text{ kg}$
- 10) 46,2 L
- 11)  $0,574 \text{ m}^3/\text{kg}$
- 12)  $1,19 \text{ kg}/\text{m}^3$  [exemplo livro Ieno]
- 13) 280,6 kg [exemplo livro Van Wylen]
- 14) 2,06 MPa [exemplo livro Van Wylen]
- 15) 204 kPa [exercício livro Van Wylen]
- 16)  $\dot{V} = 0,0405 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $\dot{m} = 0,0766 \text{ kg}/\text{s}$  [exemplo livro Van Wylen]
- 17)  $T_2 = 600 \text{ K}$ ,  $v_3 = 1,70 \text{ m}^3/\text{kg}$

## Trabalho

versão 03.2021

**Exercício 1.** Um cilindro é fechado por meio de um pistão de peso desprezível, que contém uma carga de 4000 N. A área do pistão é de  $100 \text{ cm}^2$  e a pressão atmosférica local é de  $100 \text{ kPa}$ . O cilindro contém vapor de água na temperatura inicial de  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ , ocupando um volume de  $0,01 \text{ m}^3$ . Uma fonte externa fornece calor ao vapor, cuja temperatura sobe para  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ , provocando o movimento do pistão e mantendo a pressão interna constante. (a) Calcular o trabalho realizado pela expansão do vapor. (b) Calcular a variação da energia interna no processo. (c) Calcular o calor fornecido. (d) calcular a variação da entalpia e justificar o resultado baseando-se no conceito de que  $h = u + pv$



**Exercício 2.** Um cilindro é fechado por meio de um pistão de  $0,40 \text{ m}^2$  que suporta uma carga de  $50.000 \text{ N}$ . O volume interno deste cilindro é de  $1,2 \text{ m}^3$  e está cheio de ar atmosférico na temperatura inicial de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Uma fonte externa fornece calor ao ar, e este sofre aquecimento provocando o movimento do pistão, sem atrito. Desta forma a pressão interna permanece inalterada. O processo termina quando o pistão se desloca a uma distância de  $2,5 \text{ m}$ . Calcular:

- Pressão absoluta do ar, dentro do cilindro (procure na tabela o  $R_{Ar}$ ).
- Trabalho realizado pelo sistema.
- A variação da energia interna no processo (procure na tabela Anexo A) os calores específicos a pressão e volume constante.
- Mostre que para gás perfeito  $c_p - c_v = R$
- Calcule o calor transferido no processo.

Dados:  $P_{atm} = 100 \text{ kPa}$ .

**Exercício 3.** Considere uma montagem composta por um tanque com volume de  $0,4 \text{ m}^3$  conectado através de uma tubulação com válvula a um cilindro com um pistão que pode se deslocar sem atrito e que requer uma pressão de  $150 \text{ kPa}$  para ser deslocado. Inicialmente, o tanque contém argônio a  $250 \text{ kPa}$  e  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  e o pistão está encostado na superfície inferior do cilindro. A válvula que liga os dois recipientes é aberta permitindo o fluxo de argônio para o cilindro. No final do processo o argônio está em um estado uniforme a  $150 \text{ kPa}$  e  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Calcule o trabalho realizado pelo argônio.

Dados:  $R_{Ar} = 208,1 \text{ J/kg.K}$

**Exercício 4.** Um cilindro vertical contém um pistão que pode se deslocar sem atrito. Na condição inicial, o cilindro contém  $3 \text{ L}$  de R-134a a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  e título de  $90\%$ . O pistão tem massa de  $100 \text{ kg}$  e seção transversal de  $50 \text{ cm}^2$  e é mantido no lugar por um pino. A pressão ambiente é de  $0,1 \text{ MPa}$  e a aceleração gravitacional é de  $10 \text{ m/s}^2$ . O pino é removido e o pistão sobe. Após um certo intervalo de tempo, o sistema atinge o equilíbrio, sendo a temperatura final  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pede-se:

- a pressão e volume finais do R-134a;
- o trabalho realizado pelo R-134a.

## Respostas e informações adicionais

- 1) 1.150 J
- 2) (a) 225 kPa, (b) 225 kJ
- 3) 40 kJ
- 4) (a) 300 kPa e 8 L, (b) 1,5 kJ

## Primeira Lei da Termodinâmica – Sistemas

versão 04.2021

### Sistema

**Exercício 1.** Um cilindro contém uma mistura de líquido e vapor de água, sujeita à pressão constante de 1 MPa, ocupando um volume inicial de  $1,2 \text{ m}^3$ . O sistema recebe calor de uma fonte externa, provocando o movimento do pistão até resultar o volume final de  $1,8 \text{ m}^3$ . Sabe-se que no final do processo a energia interna específica é igual a  $1.000 \text{ kJ/kg}$ . Calcular o calor fornecido ao sistema durante o processo.

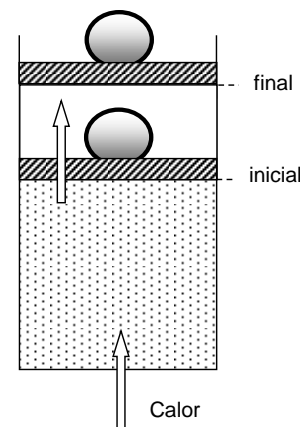
**Exercício 2.** Um tanque fechado de volume constante contém  $200 \text{ kg}$  de vapor superaquecido na temperatura inicial de  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  e pressão de  $400 \text{ kPa}$ . Uma quantidade de calor entra no tanque e provoca o aumento da pressão para  $500 \text{ kPa}$ . Pede-se:

- Calcular a temperatura no final do processo (usar valor mais próximo da tabela).
- Calcular a quantidade de calor que entra no tanque.
- Calcular o calor específico deste vapor, para o aquecimento a volume constante.

**Exercício 3.** O cilindro da figura contém vapor de água sujeito à pressão  $P_0 = 4 \text{ MPa}$  e à temperatura  $T_0 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$ , ocupando um volume inicial  $V_0 = 1,6 \text{ m}^3$ . O sistema recebe calor, provocando elevação na temperatura. A pressão permanece constante, devido ao movimento do pistão. O processo termina quando o volume interno atinge o valor de  $2,4 \text{ m}^3$ .

Calcular:

- Temperatura e energia interna do vapor no estado final.
- Calor fornecido ao sistema durante o processo.



**Exercício 4.** Considere uma montagem composta por um tanque com volume de  $0,14 \text{ m}^3$ , que contém R-134a como vapor saturado a  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ , conectado através de uma tubulação com válvula a um cilindro com um pistão. Esse pistão pode se deslocar sem atrito e requer uma pressão de  $200 \text{ kPa}$  para ser movimentado. Quando a válvula é aberta, R-134a escoou do tanque para o cilindro até que a pressão no tanque atinja  $200 \text{ kPa}$ . Durante o processo é trocado calor com o meio de modo que a temperatura do R-134a seja  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pede-se a quantidade de calor transferida.

**Exercício 5.** 13) Um recipiente isolado é composto por dois compartimentos: A (volume = 30 L) e B (volume = 14 L), separados por uma membrana. No compartimento B há um misturador e contém, inicialmente, 1 kg de R-134a a 30 °C. O compartimento A está inicialmente vazio ( $p=0$  Pa). O R-134a é agitado pelo misturador até que a membrana se rompa. A membrana é projetada para romper a 2 MPa.

Pede-se:

- a) a temperatura do R-134a quando a membrana se rompe;
- b) o trabalho realizado pelo misturador;
- c) a pressão e temperatura do R-134a após o rompimento da membrana e o quando tiverem entrado em equilíbrio termodinâmico.



## Respostas e informações adicionais

- 1) 6255 kJ
- 2) (a) 300 °C, (b) 31.216 kJ, (c) 1,56 kJ/kg.K
- 3) (a) 500 °C, (b) 13.370 kJ
- 4) 141,8 kJ
- 5) (a) 130 °C, (b) -158 kJ, (c)  $P = 600$  kPa,  $T = 80$  °C (aproximados)

## Primeira Lei da Termodinâmica – Volume de Controle

versão 04.2021

**Exercício 1.** Vapor de água no estado superaquecido encontra-se na pressão  $P_1 = 3 \text{ MPa}$  e temperatura de  $450 \text{ }^\circ\text{C}$ , e passa por uma turbina sem troca de calor. Na saída a pressão é  $P_2 = 10 \text{ kPa}$  e o título do vapor é  $x_2 = 86\%$ . Pede-se:

- Sabendo que o vapor que sai da turbina passa por uma condensação total até o estado de líquido saturado, perdendo  $6.800 \text{ kW}$ , calcular a vazão de líquido que sai da turbina.
- Determinar o trabalho produzido pela turbina.

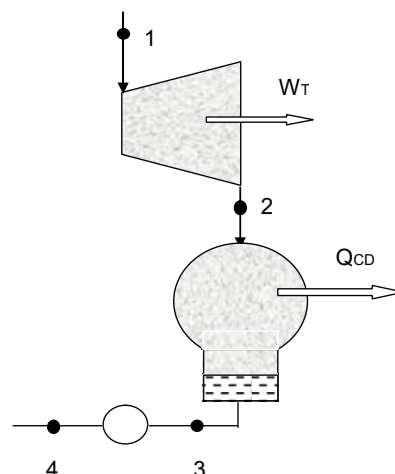
**Exercício 2.** Uma caldeira recebe a água que sai de uma bomba na pressão de  $3 \text{ MPa}$  no estado líquido comprimido, na temperatura de  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ . A caldeira produz vapor superaquecido na temperatura de  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ . Pede-se:

- Calcular a potência da bomba (kW), sabendo que na sua entrada a pressão é de  $40 \text{ kPa}$  e que a vazão de água é  $10.000 \text{ kg/h}$ .
- Calcular os fluxos de calor nas fases de aquecimento da água até o início da vaporização, durante a vaporização, e durante o superaquecimento do vapor.

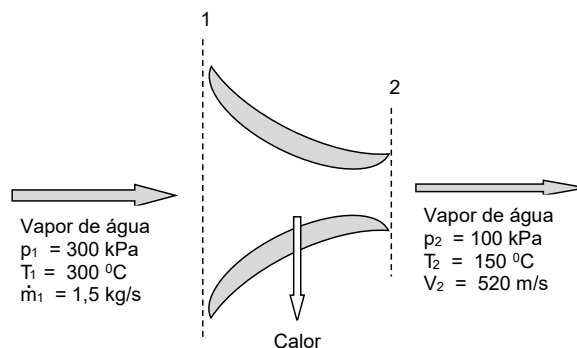
**Exercício 3.** Conhecendo a vazão de vapor que passa pela turbina  $\dot{m}_1 = 20.000 \text{ kg/h}$  e a soma  $(\dot{W}_T - \dot{Q}_{CD}) = 16,8 \text{ MW}$ , pede-se:

- Obter a temperatura e a entalpia do vapor na entrada da turbina.
- Calcular a potência da turbina e a transferência de calor no condensador, sabendo que o título na saída da turbina é igual a  $0,82$ .

Dados:  $P_1 = 4 \text{ MPa}$ ,  $P_2 = P_3 = 0,01 \text{ MPa}$ ,  $x_3 = 0,0$



**Exercício 4.** A figura representa um bocal de expansão no qual um fluxo de vapor passa com perda de calor, entrando com uma velocidade considerada desprezível. Com os dados da figura, calcular o calor perdido através do bocal.

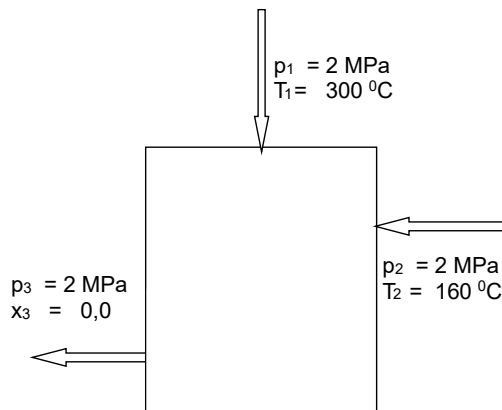


**Exercício 5.** Em um ciclo de potência, vapor de água passa por uma turbina e segue para o condensador na pressão de 10 kPa. Nesta pressão, o vapor se condensa totalmente até o estado líquido saturado. Conhecendo o calor trocado durante a condensação  $\dot{Q}_{CD} = 550 \text{ kW}$  e a vazão de vapor  $\dot{m} = 0.27 \text{ kg/s}$ , pede-se:

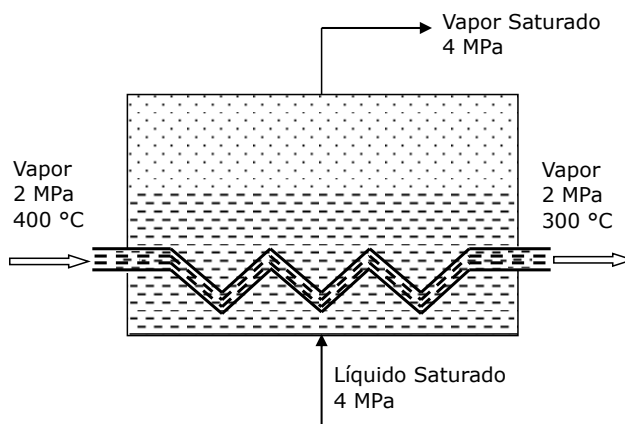
- Calcular o título do vapor na saída da turbina.
- Um circuito de água é usado para remover o calor do condensador. Durante o processo, sua temperatura varia de 20 a 38 °C. Determinar a vazão da água.

**Exercício 6.** A figura representa um aquecedor de água onde entra a massa  $m_2$  de líquido a 160 °C e a massa  $m_1$  de vapor a 300 °C. Ambos se misturam e o conjunto sai do aquecedor pela seção (3) no estado líquido saturado. Calcular:

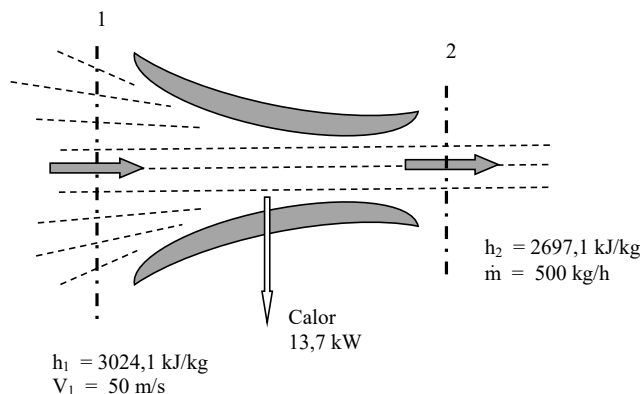
- Relação entre a massa de vapor  $m_1$  e a massa da mistura na saída  $m_3$ .
- Potência de uma bomba instalada na saída do aquecedor para elevar a pressão até 10 MPa, sendo que a vazão de água é igual a 25.000 kg/h.



**Exercício 7.** A figura representa um trocador de calor que produz 20.000 kg/h de vapor de água saturado seco na pressão de 4 MPa. O trocador de calor é alimentado pela água que entra na mesma pressão, no estado líquido saturado. O calor utilizado para a produção do vapor saturado vem de uma serpentina por onde passa uma outra massa de vapor superaquecido na pressão de 2 MPa. Utilizando os dados da figura e sabendo que o regime é permanente, calcular a vazão de vapor que passa pela serpentina e o calor trocado entre os fluidos.



**Exercício 8.** No bocal da figura o vapor sofre uma redução de pressão com aumento de velocidade e perda de calor. Com os dados da figura, calcular a velocidade  $V_2$  de saída do vapor.



## Respostas e informações adicionais

- 1) (a) 0,46 kg/s; (b) 3.620 kW
- 2) (a) -8,2 kW; (b) 1789 kW, 4988 kW e 1185 kW
- 3) (a)  $T_1 = 600$  °C,  $h_1 = 3215,8$  kJ/kg; (b)  $\dot{W}_T = 5,9$  MW,  $\dot{Q}_{CD} = -10,9$  MW
- 4) 236 kW
- 5) (a) 85%; (b) 7,3 kg/s
- 6) (a) 0,10; (b) 55,5 kW
- 7) 42,5 kg/s e 9.520 kW
- 8) 678 m/s