

Disciplina: Termodinâmica Aplicada
Prof.: Rodrigo Lisita Ribera

Lista de exercícios referentes ao capítulo da Primeira Lei da Termodinâmica

Exercícios retirados do livro “Fundamentos da Termodinâmica”. Borgnake e Sontag, tradução da 7ª edição americana.

Energia Cinética e Potencial

5.15 Um conjunto cilindro-pistão aciona verticalmente para baixo, a partir do repouso, o martelo de massa de 25 kg de uma máquina de forja, até a velocidade de 50 m/s. Sabendo que o curso do martelo é igual a 1 m, determine a variação de energia total do martelo.

5.18 O macaco hidráulico de uma oficina levanta um automóvel de massa igual a 1750 kg. O curso do pistão é de 1,8 m e a pressão na seção de descarga da bomba hidráulica que aciona o macaco é constante e igual a 800 kPa. Determine o aumento de energia potencial do automóvel e o volume de óleo que foi bombeado para o conjunto cilindro-pistão desse macaco.

5.21 Um porta-aviões utiliza uma catapulta movida a vapor d'água para ajudar a decolagem de aviões. A catapulta pode ser modelada como um conjunto cilindro-pistão que apresenta pressão média durante a operação igual a 1250 kPa. Um avião, com massa de 17 500 kg, deve ser acelerado do repouso até 30 m/s. Determine o volume interno do conjunto cilindro-pistão necessário sabendo que a catapulta fornece 30% da energia necessária para a decolagem.

5.24 Um pistão de 2 kg acelera até 20 m/s a partir do repouso. Qual é a pressão constante de gás necessária se a área do pistão é de 10 cm², o deslocamento do pistão é de 10 cm e a pressão externa é 100 kPa.

5.27 Determine a fase e as propriedades P , T , v , u e x (se aplicável) que faltam para:

- Água a 5000 kPa, $u = 3000$ kJ/kg
- Amônia a 50 °C, $v = 0,08506$ m³/kg
- Amônia a 28 °C, 1200 kPa
- R-134a a 20 °C, $u = 350$ kJ/kg

5.30 Determine as propriedades P , T , v , u , h e x (se aplicável) que faltam e indique os estados nos diagramas P - v e T - v para:

- a) R-410A a 500kPa, $h = 300$ kJ/kg
- b) R-410A a 10 °C, $u = 200$ kJ/kg
- c) R-134a a 40 °C, $h = 400$ kJ/kg

5.33 Determine as propriedades que faltam para o dióxido de carbono a:

- a) 20 °C, 2 MPa: $v = ?$ e $h = ?$
- b) -10 °C, $x = 0,5$: $T = ?$ e $u = ?$
- c) 1 MPa, $v = 0,05$ m³/kg: $T = ?$ e $h = ?$

5.36 Um tanque rígido, com volume de 100 L, contém nitrogênio a 900 K e 3 MPa. O tanque é, então, resfriado até que a temperatura atinja 100 K. Qual é o trabalho realizado e o calor transferido nesse processo?

5.39 Um tanque rígido com capacidade de 200 L contém amônia a 0 °C e com título igual a 60% . O tanque e a amônia são aquecidos até que a pressão atinja 1 MPa. Determine o calor transferido nesse processo.

5.42 Um conjunto cilindro com pistão sem atrito contém 2 kg de vapor superaquecido de refrigerante R-134a a 100 °C e 350 kPa. O conjunto é, então, resfriado a pressão constante até que o refrigerante apresente título igual a 75% . Calcule a transferência de calor nesse processo.

5.54 Um conjunto cilindro-pistão opera a pressão constante e contém $0,2$ kg de água como vapor saturado a 400 kPa. O conjunto é então resfriado até que o volume ocupado pela água se torne igual à metade do volume inicial. Determine a transferência de calor nesse processo.

- 5.57 Uma garrafa de aço fechada contém dióxido de carbono a $-20\text{ }^\circ\text{C}$, $x = 20\%$ e o volume é $0,05\text{ m}^3$. Uma válvula de segurança na garrafa se abre quando a pressão atinge 6 MPa . Por um acidente, a garrafa é aquecida até que a válvula se abra. Determine a temperatura quando a válvula se abriu e o calor transferido.

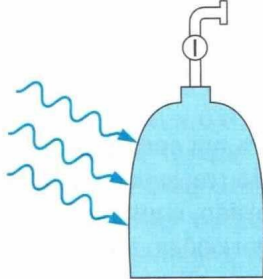


Figura P5.57

- 5.60 Um dispositivo cilindro-pistão contém dióxido de carbono a $-20\text{ }^\circ\text{C}$ e título 75% . O CO_2 é comprimido num processo em que a pressão varia linearmente com o volume até 3 MPa e $20\text{ }^\circ\text{C}$. Determine a transferência de calor específica.
- 5.63 Água num tanque A está a 250 kPa com título de 10% e massa de $0,5\text{ kg}$. O tanque está conectado a um cilindro-pistão que mantém a pressão de 200 kPa e contém $0,5\text{ kg}$ de água. Inicialmente a temperatura é de $400\text{ }^\circ\text{C}$. A válvula é aberta e suficiente calor é transferido de modo que, no estado de equilíbrio final, a temperatura é uniforme e igual a $150\text{ }^\circ\text{C}$. Determine a pressão e o volume finais, o trabalho e a transferência de calor no processo.

- 5.66 Um cilindro-pistão contém água em dois volumes separados por uma membrana rígida, $V_A = 0,2\text{ m}^3$ e $V_B = 0,3\text{ m}^3$. A água em A está inicialmente a 1000 kPa , $x = 0,75$ e em B está a 1600 kPa e $250\text{ }^\circ\text{C}$. A membrana se rompe e a água atinge um estado uniforme a $200\text{ }^\circ\text{C}$. Qual é a pressão final? Determine o trabalho e a transferência de calor no processo.

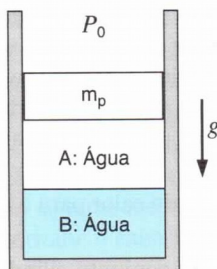


Figura P 5.66

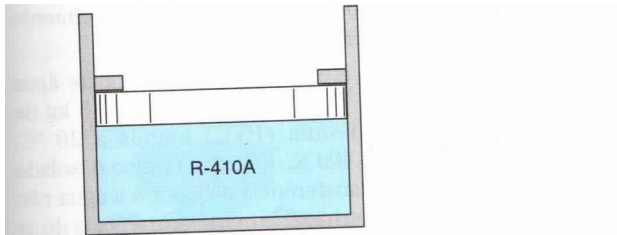


Figura P5.68

- 5.69 Um dispositivo como mostrado na Figura P5.68 contém 0,1 kg de R-410A, inicialmente a 100 kPa e 50 °C. A pressão que equilibra o pistão é de 400 kPa e o conjunto é resfriado, de modo que o volume é reduzido à metade do inicial. Determinar o calor transferido.

- 5.72 Um conjunto cilindro–pistão contém 10 kg de água. Inicialmente, a água apresenta pressão e título iguais a 100 kPa e 50%. A água é então aquecida até que o volume interno do conjunto se torne igual ao triplo do volume inicial. A massa do pistão é tal que esse inicia seu movimento quando a pressão interna atinge 200 kPa (veja a Figura P5.72). Determine a temperatura da água no estado final e a transferência de calor no processo.

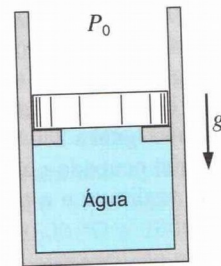


Figura P5.72

- 5.75 O tanque rígido A mostrado na Figura P5.75 tem volume igual a 0,6 m³ e contém 3 kg de água a 120 °C e o tanque rígido B tem volume igual a 0,4 m³ e contém água a 600 kPa e 200 °C. Os tanques estão conectados ao conjunto cilindro–pistão inicialmente vazio.

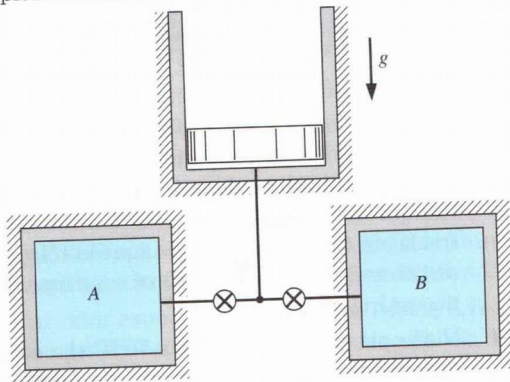


Figura P5.75

O pistão do conjunto inicia seu movimento quando a pressão interna se torna igual a 800 kPa. As válvulas são abertas vagarosamente e calor é transferido para a água até que se atinja um estado uniforme com temperatura igual a 250 °C. Determine a pressão e o volume ocupado pela água no estado final, o trabalho realizado e a transferência de calor no processo.

Equação da Energia: Sólidos e Líquidos

- 5.78 Eu tenho 2 kg de água líquida a 20 °C e 100 kPa. Adiciono 20 kJ de energia a pressão constante. Se a energia for utilizada para o aquecimento, que temperatura a água vai atingir? Se a energia for transferida na forma de trabalho, que velocidade será atingida se uma força horizontal constante for aplicada? Que altura será atingida se a massa de água for elevada na vertical com o uso daquela quantidade de energia?
- 5.84 Um automóvel, com massa de 1275 kg, se desloca a 60 km/h quando os freios são acionados e a velocidade é reduzida rapidamente a 20 km/h. Considere que a massa das pastilhas de freio é de 0,5 kg e os discos de aço do freio têm massa de 4,0 kg. Sabendo que o calor específico do material das pastilhas é igual a 1,1 kJ/kg K, determine o aumento da temperatura do conjunto pastilhas-disco de freio. Admita que as pastilhas e os discos estejam sempre à mesma temperatura.
- 5.87 Uma panela de aço com massa de 1 kg contém 1 kg de água. A temperatura do conjunto é uniforme e igual a 15 °C. A panela é colocada sobre uma chama num fogão e o conjunto é aquecido até a água entrar em ebulição. Desprezando a transferência de calor da panela para o ambiente, determine a transferência de calor necessária para o processo ocorrer.

Propriedades de Gases Ideais: u , h , C_p , e C_v

- 5.96 Nitrogênio a 300 kPa é aquecido até 500 K. Determine a variação da entalpia usando
- a) a Tabela B.6,
 - b) a Tabela A.8 e
 - c) a Tabela A.5.

Equação da Energia: Gases Ideais

- 5.102 Ar é aquecido de 300 K a 350 K a volume constante. Determine ${}_1q_2$. Qual é valor de ${}_1q_2$ se a temperatura aumenta de 1300 K a 1500 K?
- 5.105 Um vaso rígido contém 2 kg de CO₂ a 100 kPa e 1200 K e é aquecido até 1400 K. Determine a transferência de calor no processo utilizando:
- o calor específico indicado na Tabela A.5 e
 - as propriedades do CO₂ indicadas na Tabela A.8.

- 5.111 A Figura P5.111 mostra um cilindro fechado, isolado e dividido em duas regiões, cada uma com 1 m^3 , por um pistão que está imobilizado por um pino. A região *A* contém ar a 200 kPa e 300 K e a *B* contém ar a $1,0 \text{ MPa}$ e 1000 K .

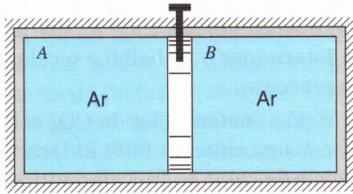


Figura P5.111

- O pino é então removido, liberando o pistão. No estado final, devido à transferência de calor através do pistão, as regiões apresentam a mesma temperatura. Determine as massas de ar contidas nas regiões *A* e *B* e, também, a temperatura e pressão finais desse processo.
- 5.114 Um conjunto cilindro–pistão–mola linear contém 2 kg de CO_2 à temperatura de $400 \text{ }^\circ\text{C}$ e à pressão de 500 kPa . O CO_2 é resfriado até $40 \text{ }^\circ\text{C}$ e, nessa condição, a pressão se torna igual a 300 kPa . Calcule a transferência de calor nesse processo.
- 5.117 Ar está em um tanque rígido de volume $0,75 \text{ m}^3$ a 100 kPa e 300 K . O tanque é aquecido até 400 K , estado 2. Agora de um lado do tanque age um pistão que permite a expansão lenta do ar, a temperatura constante, até o volume de $1,5 \text{ m}^3$, estado 3. Determine a pressão nos estados 2 e 3 e o total de trabalho e calor trocados.
- 5.120 Um conjunto cilindro–pistão–mola linear contém $1,5 \text{ kg}$ de ar a $27 \text{ }^\circ\text{C}$ e 160 kPa . O ar é aquecido, num processo em que a relação entre a pressão e o volume é linear, até o estado em que o volume interno da câmara se torna igual ao dobro do volume inicial. Faça um gráfico desse processo num diagrama $P-v$. Determine, também, o trabalho e o calor transferido no processo.
- 5.123 Um conjunto cilindro–pistão contém $0,1 \text{ kg}$ de ar a 100 kPa e 300 K . O ar é então comprimido, lenta e isotermicamente, até que a pressão atinja 250 kPa . Mostre o processo num diagrama $P-v$ e determine o trabalho realizado e o calor transferido nesse processo.

5.132 Um conjunto cilindro–pistão contém 1 kg de gás propano a 700 kPa e 40 °C. O pistão tem área da seção transversal de 0,5 m² e a força externa total que age sobre o pistão é proporcional ao quadrado do volume interno do conjunto. Calor é transferido para o propano até que a temperatura atinja 700 °C. Determine a pressão final no interior do cilindro, o trabalho realizado pelo propano e o calor trocado durante o processo.

5.138 Uma panela com 1,2 kg de água a 20 °C é colocada num fogão que supre 250 W de potência à água. Qual é a taxa de aumento da temperatura (K/s)?

5.141 Uma panela com 1,2 kg de água a 20 °C é colocada sobre um fogão que fornece 250 W de potência à água. Quanto tempo vai decorrer até que a água entre em ebulição (100 °C)?

5.147 Os aquecedores de uma nave espacial, de repente, falharam. Calor é transferido por radiação à razão de 100 kJ/h e os instrumentos elétricos dissipam 75 kJ/h. Inicialmente, o ar está a 100 kPa e 25 °C e o volume do ar na nave é de 10 m³. Qual é o tempo necessário para que a temperatura do ar na nave atinja -20 °C ?

5.150 Um conjunto cilindro–pistão opera à pressão constante de 700 kPa e contém água. O volume ocupado pela água e o título são iguais a 0,1 m³ e 90%, respectivamente. Um aquecedor é ligado e a água é aquecida com uma taxa de transferência de calor igual a 2,5 kW. Qual é o tempo necessário para que todo o líquido evapore?

5.162 Água num dispositivo cilindro–pistão, similar ao da Figura P5.160 está a 100 °C, $x = 0,5$ e a massa é de 1 kg, a pressão para equilibrar o pistão é de 300 kPa. A água é aquecida até 300 °C por um aquecedor elétrico. Em que temperatura desaparece a fase líquida? Determine P e v finais, o trabalho e o calor trocado no processo.

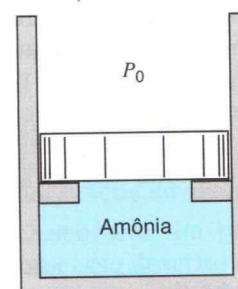


Figura P5.160

5.165 O conjunto cilindro–pistão–mola linear mostrado na Figura P5.165 contém água, a 3 MPa e 400 °C, e apresenta volume de 0,1 m³. Se o pistão estiver encostado no fundo do cilindro, a mola exercerá uma força sobre ele tal que a pressão interna necessária para movimentar o pistão será de 200 kPa. Calor é transferido do sistema até que

a pressão atinja 1 MPa. Determine o calor transferido no processo.

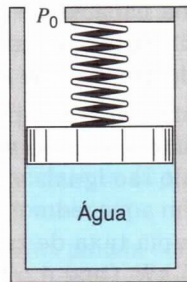


Figura P5.165

5.168 Um balão esférico contém 2 kg de R-410A a 0 °C com título de 30%. Esse sistema é aquecido até a pressão no balão atingir 1 MPa. Para esse processo pode-se assumir que a pressão é diretamente proporcional ao diâmetro do balão. Como a pressão varia com o volume e qual é o calor trocado no processo?

5.171 A Figura P5.171 mostra um conjunto cilindro–pistão, *B*, conectado ao tanque *A*, que tem volume de 1 m³, por uma tubulação com válvula de controle. Inicialmente, ambos contêm água, sendo que o tanque *A* contém vapor d'água saturado a 100 kPa e o conjunto *B* apresenta volume de 1 m³ e a água está a 400 °C e 300 kPa. A válvula é, então, aberta e a água atinge um estado uniforme em *A* e *B*.

- Determine as massas iniciais em *A* e *B*.
- Se a temperatura do estado final for 200 °C, calcule a transferência de calor e o trabalho nesse processo.

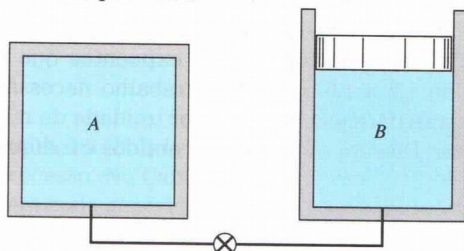


Figura P5.171

5.15 31 kJ
 5.18 30,89 kJ, 0,0386 m³
 5.21 1,89 m³
 5.24 4100 kPa
 5.27 a. Vapor, 450 °C, 0,0633 m³/kg
 b. Vapor, 1600 kPa,
 1364,9 kJ/kg
 c. Líquido, 0,00167 m³/kg
 310,9 kJ/kg
 d. L + V, $x = 0,7583$, 573 kPa
 0,02754 m³/kg
 5.30 a. 13,3 °C, 0,0604 m³/kg,
 270 kJ/kg
 b. 1086 kPa, $x = 0,6956$,
 218 kJ/kg
 c. 1017 kPa, $x = 0,8788$,
 382 kJ/kg
 5.33 a. 0,0245 m³/kg, 368,4 kJ/kg
 b. 4502 kPa, 192 kJ/kg
 c. 9,1 °C, 369,5 kJ/kg
 5.36 0, -691 kJ
 5.39 721 kJ
 5.42 -275 kJ
 5.45 165 kJ
 5.48 291 kJ, -165 kJ
 5.51 7,8 kJ, 3,7 °C
 5.54 -214 kJ
 5.57 22 °C, 1826 kJ
 5.60 0,92 kJ/kg, 87 kJ/kg
 5.63 200 kPa, 0,96 m³, 29,7 kJ,
 756 kJ
 5.66 1000 kPa, 218 kJ, 744 kJ
 5.69 -0,664 kJ, -21,8 kJ
 5.72 829 °C, 26 MJ
 5.75 1,21 m³, 800 kPa, 170 kJ,
 5536 kJ
 5.78 22,5 °C, 141 m/s, 1019 m
 5.81 65 °C
 5.84 66 °C
 5.87 395 kJ
 5.90 1 kJ/kg K, 14%, 21%
 5.93 397, 490, 485 kJ/kg
 5.96 214,4, 209,1, 208,4 kJ/kg
 5.102 36 kJ/kg, 45 kJ/kg
 5.105 261 kJ, 444 kJ
 5.108 941 kJ
 5.111 2,32 kg, 3,48 kg, 736 K, 613 kPa
 5.114 -643 kJ
 5.117 133 kPa, 66,7 kPa, 69 kJ, 132 kJ
 5.120 161 kJ, 852 kJ
 5.123 -7,89 kJ, -7,89 kJ
 5.126 73,7 kJ/kg

5.129 70,6 kJ, -36,8 kJ
 5.132 1491 kPa, 41,5 kJ, 1025 kJ
 5.135 27,25 kJ
 5.138 0,25 K/s
 5.141 322 s
 5.144 5,92 kW, 267 N
 5.147 15 h
 5.150 0,0012 kg/s
 5.159 2611 kJ
 5.162 122 °C, 300 kPa, 0,87 m³,
 11,5 kJ, 1356 kJ
 5.165 -2069 kJ
 5.168 212,8 kJ
 5.171 0,59 kg, 0,97 kg, -265 kJ,
 -485 kJ