

2015-B4

GABARITO

Aluno: _____

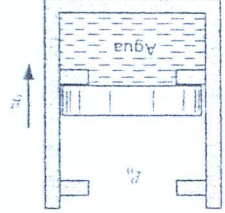
Observações: _____

- (a) A interpretação das questões faz parte da avaliação;
 (b) Todos os cálculos devem ser demonstrados, sob pena de anulação da questão;
 (c) Os critérios de correção estão disponíveis no rodapé da última folha;
 (d) Calculadora com tela gráfica não é permitida;
 (e) Quando converter, o SISTEMA ou o VOLUME de CONTROLE deve ser definido. Caso contrário a questão pode ser anulada.

- (1) (30 pontos) Um balão esférico e elástico contém nitrogênio a 20°C e 500 kPa. Inicialmente, o volume do balão é 0,5 m³. Admita que a pressão interna neste balão é proporcional ao seu diâmetro. Calor é transferido ao nitrogênio até que o volume interno do balão se torne igual a 1,0 m³.
 (a) O nitrogênio pode ser considerado como um gás perfeito neste processo?
 (b) Determine o calor transferido ao nitrogênio durante este processo.

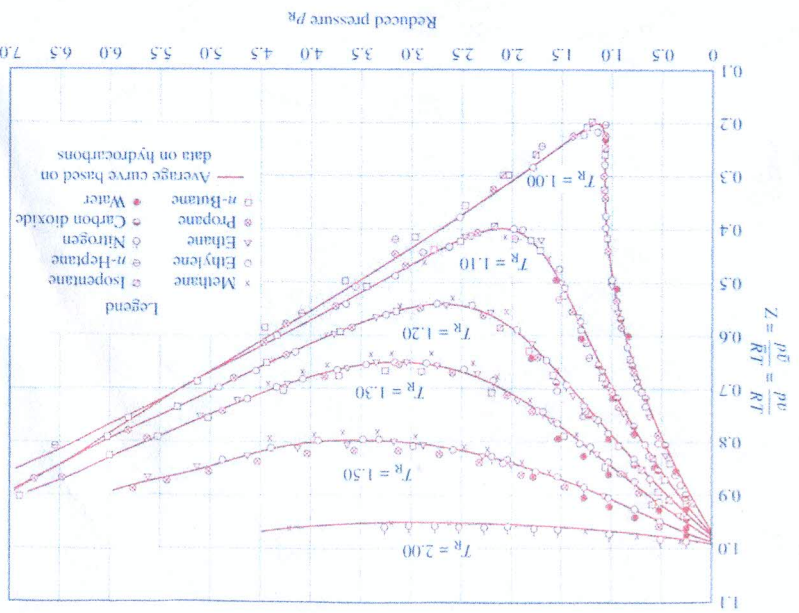
- (2) (35 pontos) Um conjunto cilindro-pistão contém ar modelado como um gás ideal com razão de calores específicos constante e dada por $k=1,4$. O ar passa por um ciclo de potência composto por quatro processos em série:
 1-2: expansão a temperatura constante a 600K de $p_1=0,5$ MPa até $p_2=0,4$ MPa.
 2-3: expansão politrópica com $n=k$ até $p_3=0,3$ MPa.
 3-4: compressão a pressão constante até $V_4=V_1$.
 4-1: aquecimento a volume constante.
 (a) Esboce este ciclo em um diagrama p-v.
 (b) Determine o calor e o trabalho específico transferido em cada processo
 (c) Determine o calor e o trabalho específico transferido no ciclo.
 (d) Determine a eficiência térmica.

- (3) (35 pontos) Considere o arranjo cilindro-pistão mostrado na figura, na qual o pistão pode deslizar livremente e sem atrito entre dois conjuntos de esbarros. Quando o pistão repousa sobre os esbarros inferiores o volume da câmara é 400 litros e quando o pistão atinge os esbarros superiores o volume é 600 litros. O cilindro contém, inicialmente água a 100 kPa e com título de 20 %. Esse sistema é então aquecido até atingir o estado de vapor saturado. Sabendo que é necessária uma pressão interna de 300 kPa para que o pistão inicie o seu movimento determine:
 a) A pressão final no cilindro.
 b) O calor transferido e o trabalho realizado em todo o processo.



Propriedade	Equação
Pressão absoluta em um cilindro	$P = \frac{F}{A}$
Volume específico	$v = \frac{V}{m}$
Título	$x = \frac{m_{ap}}{m_{total}}$
Propriedade intensiva ϕ - mudança de fase	$\phi = \phi^{ls} + x(\phi^{vs} - \phi^{ls})$
Trabalho	$W = \int p \, dV$
Processo politrópico	$pV^n = \text{constante}$
Primeira lei da termodinâmica	$\delta Q - \delta W = dE$
Modelo de calor específico	$du = c_v dT$
Equação de estado de gás ideal	$pV = mRT$
Constante particular do gás	$R = \frac{R_u}{M} = \frac{8,314}{M}$
Relação entre calores específicos - gás	$c_p = c_v + R$ $\gamma = c_p / c_v$
Modelo de líquido incompressível	$\phi(T, p) = \phi(T)$
Eficiência térmica	$\eta = \frac{Q_{gasto}}{W_{ciclo}}$

Formulário



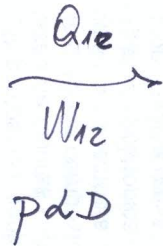
1ª QUESTÃO:

$$T_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$P_1 = 500 \text{ kPa}$$

$$V_1 = 0,5 \text{ m}^3$$

N_2



$$T_2 =$$

$$P_2 =$$

$$V_2 = 1 \text{ m}^3$$

$$T_c = 126 \text{ K}$$

$$P_c = 33,9 \text{ bar} = 3,39 \text{ MPa}$$

$$a) T_r = \frac{T}{T_c} = \frac{293}{126} = 2,33 > 2,0 \quad \text{OK}$$

$$M_{N_2} = 28,01 \text{ kg/kmol}$$

$$Pr = \frac{P}{P_c} = \frac{0,5}{3,39} = 0,147 > 0,1 \quad \tilde{n}$$

$$\bar{v} = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8,314}{28,01} = 0,29682 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

É gás ideal pela condição de T_r

10

$$b) Q_{12} - W_{12} = m(u_2 - u_1) = m c_v (T_2 - T_1)$$

$$p \propto D \rightarrow p = k_1 D \Rightarrow \frac{P_1}{D_1} = \frac{P_2}{D_2} \rightarrow P_2 = P_1 \frac{D_2}{D_1} = 500 \cdot \frac{1,241}{0,9847} = 616,48 \text{ kPa}$$

$$V = \frac{\pi D^3}{6} \rightarrow \left. \begin{array}{l} D_1 = 0,9847 \text{ m} \\ D_2 = 1,241 \text{ m} \end{array} \right\} k_1 = \frac{P_1}{D_1} = \frac{500}{0,9847} = 507,77 \frac{\text{kPa}}{\text{m}}$$

$$p(V) = k_1 \left(\frac{6V}{\pi} \right)^{1/3}; \quad W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p(V) dV = k_1 \left(\frac{6}{\pi} \right)^{1/3} \int_{V_1}^{V_2} V^{1/3} dV$$

$$W_{12} = k_1 \left(\frac{6}{\pi} \right)^{1/3} \frac{3}{4} V^{4/3} \Big|_{V_1}^{V_2} = \frac{3k_1}{4} \left(\frac{6}{\pi} \right)^{1/3} (V_2^{4/3} - V_1^{4/3})$$

$$W_{12} = \frac{3 \cdot 507,77}{4} \left(\frac{6}{\pi} \right)^{1/3} (1^{4/3} - 0,5^{4/3}) = + 284,98 \text{ kJ} \quad 5$$

$$m = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{500 \cdot 0,5}{0,29682 \cdot 293,15} = 2,873 \text{ kg} \quad 5$$

$$T_2 = \frac{P_2 V_2}{m R} = \frac{616,48 \cdot 1}{2,873 \cdot 0,29682} = 722,89 \text{ K} = 449,74^\circ\text{C}$$

$$\bar{T} \approx 508,02 \text{ K}$$

$T \text{ [K]}$

$C_v \text{ [kJ/kgK]}$

500

0,759

$$C_v = 0,760 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

508,02

?

550

0,768

$$\begin{aligned} Q_{12} &= W_{12} + m c_v (\bar{T}_2 - \bar{T}_1) \\ &= 284,98 + 2,873 \cdot 0,760 (449,74 - 25) \\ &= \underline{+ 1.223,03 \text{ kJ}} \quad 10 \end{aligned}$$

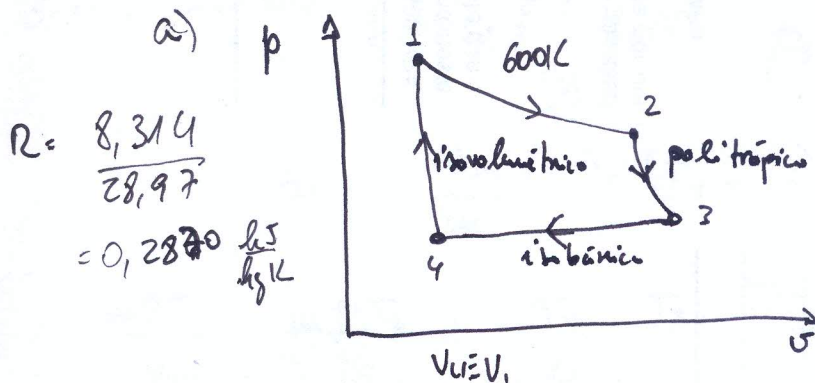
2ª QUESTAS:

$$k = 1,4$$

①
 $T_1 = 600 \text{ K}$
 $P_1 = 0,5 \text{ MPa}$

②
 $T_2 = T_1$
 $P_2 = 0,4 \text{ MPa}$

③
 $P_3 = 0,3 \text{ MPa}$



$$\begin{aligned} R &= \frac{8,314}{28,97} \\ &= 0,2870 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \end{aligned}$$

$u = h$ (adiabáticos)

10

1-2: isotérmico:

$$Pv = mRT$$

$$W_{12} = \int_{v_1}^{v_2} P dv = mRT \int_{v_1}^{v_2} \frac{dv}{v}$$

$$W_{12} = mRT \ln \frac{v_2}{v_1} = mRT_1 \ln \frac{P_1}{P_2}$$

$$w_{12} = \frac{W_{12}}{m} = RT_1 \ln \frac{P_1}{P_2} = 0,287 \cdot 600 \cdot \ln \frac{0,5}{0,4}$$

$$w_{12} = 38,43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad 2$$

$$Q_{12} - W_{12} = \bar{u}_2 - \bar{u}_1 = 0$$

$$Q_{12} = W_{12} \therefore q_{12} = w_{12} = 38,43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad 2$$

2-3: Politrópico:

$$W_{2-3} = \frac{P_3 v_3 - P_2 v_2}{1-k}$$

$$\text{mas } P_2 v_2^k = P_3 v_3^k$$

$$P_2^{1-k} v_2^k = P_3^{1-k} v_3^k$$

$$T_3 = T_2 \cdot \left(\frac{P_2}{P_3} \right)^{\frac{1-k}{k}}$$

$$T_3 = 600 \left(\frac{0,4}{0,3} \right)^{\frac{-0,4}{1,4}}$$

$$T_3 = 552,66 \text{ K} \quad 1$$

$$W_{2-3} = \frac{P_3 V_3 - P_2 V_2}{1-k} = \frac{P_3 \frac{mRT_3}{P_3} - P_2 \frac{mRT_2}{P_2}}{1-k} = \frac{mR(T_3 - T_2)}{1-k}$$

$$w_{2-3} = \frac{W_{2-3}}{m} = \frac{R(T_3 - T_2)}{1-k} = \frac{0,287(552,66 - 600)}{1-1,4} = +33,97 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{23} - W_{23} = U_3 - U_2$$

$$q_{23} - w_{23} = u_3 - u_2 = C_v(T_3 - T_2)$$

$$C_p = C_v + R \therefore C_v = C_p - R$$

$$k = C_p / C_v \therefore C_p = k C_v$$

$$C_v = k C_v - R$$

$$q_{23} = w_{23} + C_v(T_3 - T_2) = 33,97 + \frac{0,287}{0,4}(552,66 - 600)$$

$$q_{23} = 0 \quad \text{Adiabático.}$$

$$C_v = \frac{R}{k-1}$$

3-4 isobárico.

$$W_{34} = \int_{V_3}^{V_4} p dV = p_3(V_4 - V_3) = p_3 m R \left(\frac{T_4}{P_4} - \frac{T_3}{P_3} \right)$$

$$w_{34} = \frac{W_{34}}{m} = R(T_4 - T_3) = 0,287(T_4 - T_3)$$

$$\frac{mRT_4}{V_4} = \frac{mRT_3}{V_3} \therefore \frac{T_4}{V_4} = \frac{T_3}{V_3}, \text{ mas } V_4 = V_1 \therefore \frac{T_4}{V_1} = \frac{T_3}{V_3}$$

$$T_4 = T_3 \frac{V_1}{V_3} = \frac{600}{0,5} \cdot \frac{0,3}{1} = 360 \text{ K}$$

$$w_{34} = 0,287(360 - 552,66) = -55,39 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{34} = w_{34} + u_4 - u_3 = w_{34} + C_v(T_4 - T_3) = -55,39 + \frac{0,287}{0,4}(360 - 552,66)$$

$$q_{34} = -193,62 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

4-1: isovolumétrica: $W_{41} = 0$

$$q_{41} - w_{41} = u_1 - u_4 = C_v(T_1 - T_4) = \frac{0,287}{0,4}(600 - 360)$$

$$q_{41} = 172,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\begin{aligned}
 d) \quad W_{ciclo} &= W_{12} + W_{23} + W_{34} + W_{41} \\
 &= 38,43 + 33,97 + 55,39 + 0 \\
 &= 127,81 \text{ kJ/kg} \quad \underline{\quad} \quad \color{red}{2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{ciclo} &= q_{12} + q_{23} + q_{34} + q_{41} \\
 &= 38,43 + 0 + 193,62 + 172,2 \\
 &= 304,25 \text{ kJ/kg} \quad \underline{\quad} \quad \color{red}{2}
 \end{aligned}$$

$$d) \quad \eta = \frac{W_{ciclo}}{Q_H} = \frac{127,81}{38,43 + 172,2} = \frac{127,81}{210,63} = 0,607 \quad \underline{\quad} \quad \color{red}{8,07\%}$$

3ª Questão:

$V_1 = 400 \text{ l}$

$V_2 = 600 \text{ l}$

$p_1 = 100 \text{ kPa}$

$x_1 = 0,2$

$p_i = 300 \text{ kPa}$

$$\begin{aligned}
 u_1 &= u_{e1} + x_1 u_{s1} \\
 u_1 &= 0,001043 + 0,2 \cdot 16930 \\
 u_1 &= 3386,4 \text{ kJ/kg} = \frac{V_1}{m} \therefore m = \frac{0,4}{0,33864} = 1,178 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$u_2 = \frac{0,6}{1,178} = 0,5095 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = u_3$$

a) $P_{sat}(u_3) = 361 \text{ kPa}$ 15

$$\begin{aligned}
 Q_{13} &= m(u_3 - u_1) + W_{13} \\
 &= m(u_3 - u_1) + W_{1i} + W_{i2} + W_{23}
 \end{aligned}$$

$$W_{12} = p_i (V_2 - V_1) = 300(0,6 - 0,4) = 60 \text{ kJ}$$

$$u_i = 417,36 + 0,2 \cdot 2068,7 = 835,1 \text{ kJ/kg}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{13} &= 1,178(2550,0 - 835,1) + 60 \\
 &= 2080 \text{ kJ} \quad \underline{\quad} \quad \color{red}{20}
 \end{aligned}$$

