

Termodinâmica (EQE-359) – Lista de exercícios II

1) Duas correntes gasosas a 62 bar e 20 °C são misturadas: uma de metano (1,0 m<sup>3</sup>/min) e a outra de dióxido de carbono (1,5 m<sup>3</sup>/min). Todas as correntes do processo se comportam conforme a equação de estado de van der Waals. Calcule a taxa de troca de calor quando o misturador é operado isotermicamente e quando a corrente de saída está a 80 °C. Dados: R = 8,314 J/(mol.K); tabela. Resposta: 77,77 e 607,93 kW.

	T <sub>c</sub> (K)	P <sub>c</sub> (bar)	C <sub>p</sub> <sup>gi</sup> /R (T em K)	k <sub>ij</sub>
CH <sub>4</sub>	190,6	46,0	1,70 + 9,08.10 <sup>-3</sup> T	0,09
CO <sub>2</sub>	304,2	73,8	5,46 + 1,04.10 <sup>-3</sup> T	

2) Para uma solução binária líquida a 30 °C,  $V = 58,6 x_1 + 118,5 x_2 + x_1 x_2 (0,22 (x_1 - x_2) - 1,03)$  (V em mL/mol). São necessários 2 L de solução com 25% do componente 1 (à mesma temperatura). Calcule os volumes dos componentes puros que devem ser misturados e o volume em excesso total da solução. Resposta: 284; 1720 e -4 mL.

3) Para uma solução binária líquida a 50 °C,  $H^E = -74,4 x_1 x_2 (1 - 0,6 x_1)$  (H<sup>E</sup> em kJ/mol, frações em base molar). Uma corrente de 100 kg/min de solução a 50 °C, com 96% (em base mássica) do componente 1, é diluída até a composição de 20% através da mistura com uma corrente do componente 2 puro a 25 °C. A corrente resultante está a 50 °C. Calcule a taxa de troca de calor do processo. Dados: M<sub>1</sub> = 98,1 g/mol; M<sub>2</sub> = 18,0 g/mol; C<sub>p2</sub> = 4,18 J/(g.K). Resposta: -353,92 kW.

4) Duas correntes de solução aquosa de ácido sulfúrico a 100 °F são misturadas: uma de 500 lb<sub>m</sub>/h com 10% (em base mássica) de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e a outra de 800 lb<sub>m</sub>/h com composição de 75%. Com base no diagrama Hx da solução, calcule a temperatura da saída quando o misturador é operado adiabaticamente e a taxa de troca de calor quando o misturador é operado isotermicamente. Resposta: 163 °F e -49400 Btu/h.

5) Para uma solução binária líquida, vale o modelo de Margules com  $A_{12} = 21,1 - (540 / T) - 3 \ln(T)$ . Calcule a entropia e o calor de mistura para a solução equimolar a 30 °C. Resposta: 3,77 J/(mol.K) e 767,90 J/mol.

6) Uma mistura binária equimolar tem ponto de bolha a 75 °C e 1,2 bar. Calcule a pressão e a composição azeotrópicas da mistura a 100 °C. Dados: modelo de Margules com  $A_{12} = c / T$ ;  $\ln(P_1^{sat}) = 11,04 - 3861 / T$ ;  $\ln(P_2^{sat}) = 13,46 - 4729 / T$  ( $P_i^{sat}$  em bar, T em K). Resposta: 2,7 bar e 45,3% de 1.

7) Uma mistura binária forma azeótropo a 35 °C com 67% do componente 1. Para a mistura com 40% do componente 1 à mesma temperatura, calcule a pressão mínima que a mantém como uma fase líquida e a pressão máxima que a mantém em fase gasosa. Dados: modelo de Margules com uma constante;  $P_1^{sat} = 0,7$  bar;  $P_2^{sat} = 0,5$  bar. Resposta: 0,751 e 0,686 bar.

8) Uma solução binária líquida é aproximadamente ideal. Deseja-se aquecer e evaporar a solução com 60% do componente 1 à pressão atmosférica. Calcule a temperatura em que a evaporação se inicia. Dados:  $\ln(P_1^{sat}) = 7 - 2800 / T$ ;  $\ln(P_2^{sat}) = 6 - 3000 / T$  ( $P_i^{sat}$  em atm, T em K). Resposta: 422,2 K.

9) Para uma solução ternária líquida a 30 °C,  $G^E/(RT) = 2x_1x_2 + x_1x_3$ . A essa temperatura, a volatilidade do componente 3 é desprezível. Calcule a composição inicial do vapor formado quando se reduz suficientemente a pressão da solução com 35% do componente 1 e 30% do componente 2 a 30 °C. Dados:  $P_1^{sat} = 0,4$  bar;  $P_2^{sat} = 0,6$  bar. Resposta: equimolar com 1 e 2.

10) Uma mistura binária se aproxima do comportamento de solução ideal. Dados:  $P_1^{sat}$  e  $P_2^{sat}$  (exercício 8). Determine completamente o estado da mistura com 30% do componente 1 nas condições:

a) 300 °C e 3 atm. Resposta: 66,2% de vapor com 38,2% de 1 e líquido com 13,8% de 1.

b) 300 °C e 33% de vapor. Resposta: vapor com 49,6% de 1 e líquido com 20,3% de 1 a 3,40 atm.

11) Uma mistura binária equimolar tem ponto de bolha a 200 °C e 2,3 atm. Uma corrente de 30 kmol/min dessa mistura a 200 °C e 3,0 atm passa por uma válvula e, em seguida, por um trocador de calor, do qual sai a 1 atm e 167 °C. Dados:  $P_1^{sat}$  e  $P_2^{sat}$  (exercício 8); modelo de Margules com  $A_{12} = 440/T$ ; tabela.

componente	$C_p^{gi}$	$C_p^L$	$\Delta H^{LV}$
	J/(mol.K)	J/(mol.K)	kJ/mol
1	75	110	20
2	95	130	25

a) Determine completamente o estado da saída do processo. Resposta (após 2 iterações): 73,2% de vapor com 61,8% de 1 e líquido com 17,7% de 1.

b) Calcule a taxa de troca de calor, considerando comportamento de gás ideal. Resposta: 6,23 MW.

c) Estime a taxa de troca de calor pelo balanço de energia simplificado. Resposta: 6,26 MW.

12) Uma mistura ternária se aproxima do comportamento de solução ideal. Para a mistura com 50% do componente 1 e 30% do componente 2 a 150 °C, calcule a fração vaporizada a 0,6, 0,8 e 1 bar. Dados:  $\ln(P_1^{sat}) = 9,64 - 3630/(T - 72,1)$ ;  $\ln(P_2^{sat}) = 9,25 - 3340/(T - 57,6)$ ;  $\ln(P_3^{sat}) = 9,32 - 3120/(T - 63,6)$  ( $P_i^{sat}$  em bar, T em K). Resposta: 100; 60,7 e 0%.

13) Numa mistura ternária, o componente 1 é quase imiscível, em fase líquida, com os demais componentes, os quais formam uma solução líquida ideal. A 1,4 bar e 100 °C, a mistura se apresenta em equilíbrio líquido-líquido-vapor, sendo o vapor aproximadamente um gás ideal. Calcule as composições das fases. Dados:  $P_1^{sat} = 0,7$  bar;  $P_2^{sat} = 0,5$  bar;  $P_3^{sat} = 0,9$  bar. Resposta: líquido puro com 1, líquido equimolar com 2 e 3, vapor com 50% de 1 e 17,8% de 2.

14) A reação  $CO + 2H_2 \leftrightarrow CH_4O$  ocorre em fase gasosa a 200 °C e 10 bar. Considerando que a mistura reacional é um gás ideal, calcule a composição de equilíbrio de um sistema alimentado com quantidades iguais dos reagentes. Dados: tabela. Resposta: 50% de CO; 34,8% de H<sub>2</sub> e 15,2% de CH<sub>4</sub>O.

	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> O
$C_p^0$ [J/(mol.K)]	29,9	29,0	56,6
$\Delta G_f^0$ a 25 °C [kJ/mol]	-137	—	-162
$\Delta H_f^0$ a 25 °C [kJ/mol]	-111	—	-201

15) As reações  $A \leftrightarrow B$  e  $B \leftrightarrow 2 C$  ocorrem em fase gasosa a 150 °C e 5 bar. Considerando que a mistura reacional é um gás ideal, calcule a composição de equilíbrio de um sistema alimentado com 60% de A e 40% do inerte D. Dados: tabela. Resposta: 21,3% de A; 21,6% de B; 21,4% de C e 35,7% de D.

	A	B	C
$\Delta G_f^\circ$ a 100 °C [kJ/mol]	-65,32	-65,37	-27,82
$\Delta H_f^\circ$ a 100 °C [kJ/mol]	-214,2	-214,2	-65,1

16) A reação  $A \leftrightarrow 2 B$  ocorre na presença do inerte C, a 100 °C e 5 bar. Nessas condições, a volatilidade de C é desprezível e B não é condensável. Calcule as composições das fases no equilíbrio, considerando que o vapor é um gás ideal e o líquido é uma solução ideal. Dados:  $\ln(P_A^{sat}) = 12 - 3800 / T$  ( $P_A^{sat}$  em bar, T em K); tabela. Resposta: vapor com 76,0% de A e 24,0% de B; líquido com 61,8% de A e 38,2% de C.

	A (g)	A (l)	B (g)
$\Delta G_f^\circ$ a 100 °C [kJ/mol]	181,20	186,84	92,10

17) A reação  $\text{CaCO}_3 (s) \leftrightarrow \text{CaO} (s) + \text{CO}_2 (g)$  ocorre a 900 °C. Calcule a pressão do sistema no equilíbrio, considerando comportamento de gás ideal. Dados: tabela. Resposta: 0,90 bar.

	CaCO <sub>3</sub>	CaO	CO <sub>2</sub>
$C_p^\circ$ [J/(mol.K)]	105,1	48,2	46,0
$\Delta G_f^\circ$ a 25 °C [kJ/mol]	-1129	-604	-394
$\Delta H_f^\circ$ a 25 °C [kJ/mol]	-1207	-635	-394

18) A reação  $\text{CH}_4 (g) \leftrightarrow \text{C} (s) + 2 \text{H}_2 (g)$  ocorre a 2 bar. A alimentação do reator está a 200 °C e contém 50% de CH<sub>4</sub>, 20% de H<sub>2</sub> e 30% de N<sub>2</sub>. Na saída, a mistura reacional está em equilíbrio a 600 °C. Calcule a quantidade de calor trocada (por mol de alimentação), considerando comportamento de gás ideal. Dados: tabela. Resposta: 32,12 kJ/mol.

	CH <sub>4</sub>	C	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
$C_p^\circ$ [J/(mol.K)]	50,7	14,0	29,5	30,4
$\Delta G_f^\circ$ a 25 °C [kJ/mol]	-50,5	—	—	—
$\Delta H_f^\circ$ a 25 °C [kJ/mol]	-74,5	—	—	—