



UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

Operações Unitárias

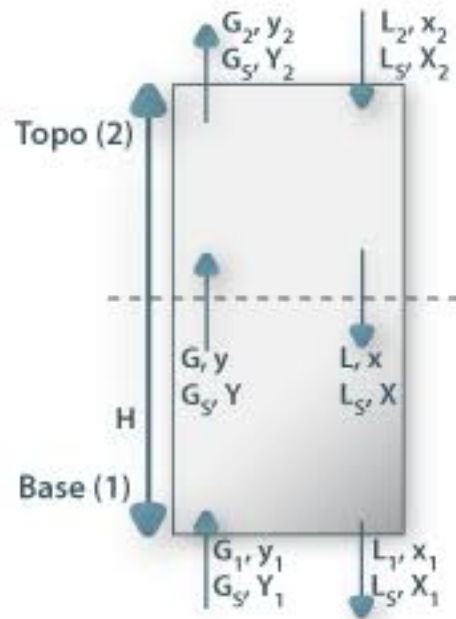
III

Profa. Dra.: Simone de Fátima Medeiros



Absorção – exercício:

Uma coluna de absorção é utilizada para purificar uma solução gasosa ($G_1 = 0,01075 \text{ kmol/s}$) contendo uma fração molar de benzeno (contaminante) equivalente a 0,02. Dessa fração molar inicial, apenas 5% são permitidos no gás no fim do processo. Essa extração será feita através do contato com um óleo de lavagem que, por sua vez, já contém uma fração molar de benzeno equivalente a 0,005. A coluna de absorção opera a $T = 26 \text{ °C}$ e pressão de 107 kN/m^2 . Considerando que a solução de benzeno em óleo seja ideal, determine a razão molar de benzeno no óleo de lavagem no final do processo. Dados: a vazão de circulação do óleo deve ser 1,5 vezes superior à vazão mínima determinada; P^0_{benzeno} a $26 \text{ °C} = 13,33 \text{ kN/m}^2$.



Identificando as condições operacionais e as alimentações:

$$T = 26 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$P_T = 107 \text{ kN/m}^2;$$

$$G_1 = 0,01075 \text{ kmol/s};$$

$$y_1 = 0,02;$$

$$y_2 = 0,05 \cdot 0,02 = 0,001;$$

$$x_2 = 0,005$$

Dados adicionais:

$$L_{s_{op}} = 1,5 \cdot L_{s_{min}}$$

$$P_{benzeno}^0 \text{ a } 26 \text{ }^{\circ}\text{C} = 13,33 \text{ kN/m}^2$$

$$Y_1 = \frac{y_1}{1 - y_1} = \frac{0,02}{1 - 0,02} = 0,0204 \text{ kmol}_{benzeno} / \text{kmol}_{gás}$$

$$Y_2 = \frac{y_2}{1 - y_2} = \frac{0,001}{1 - 0,001} = 0,001 \text{ kmol}_{benzeno} / \text{kmol}_{gás}$$

$$X_2 = \frac{x_2}{1 - x_2} = \frac{0,005}{1 - 0,005} = 0,00503 \text{ kmol}_{benzeno} / \text{kmol}_{óleo}$$

$$G_s = \frac{G_1}{1 + Y_1} = \frac{0,01075}{1 + 0,0204} = 0,01054 \text{ kmol} / \text{s}$$

Curva de equilíbrio:

$$\frac{Y}{1+Y} = \frac{P^0}{P_T} \left(\frac{X}{1+X} \right)$$

$$\frac{Y}{1+Y} = \frac{13,33}{107} \left(\frac{X}{1+X} \right)$$

$$\frac{Y}{1+Y} = 0,125 * \left(\frac{X}{1+X} \right)$$

Curva de equilíbrio:

X			Y
0	0	0	0
0,01	0,009901	0,001238	0,001239
0,02	0,019608	0,002451	0,002457
0,03	0,029126	0,003641	0,003654
0,04	0,038462	0,004808	0,004831
0,05	0,047619	0,005952	0,005988
0,06	0,056604	0,007075	0,007126
0,07	0,065421	0,008178	0,008245
0,08	0,074074	0,009259	0,009346
0,09	0,082569	0,010321	0,010429
0,1	0,090909	0,011364	0,011494
0,11	0,099099	0,012387	0,012543
0,12	0,107143	0,013393	0,013575
0,13	0,115044	0,014381	0,01459
0,14	0,122807	0,015351	0,01559
0,15	0,130435	0,016304	0,016575
0,16	0,137931	0,017241	0,017544
0,17	0,145299	0,018162	0,018498
0,18	0,152542	0,019068	0,019438
0,19	0,159664	0,019958	0,020364
0,2	0,166667	0,020833	0,021277

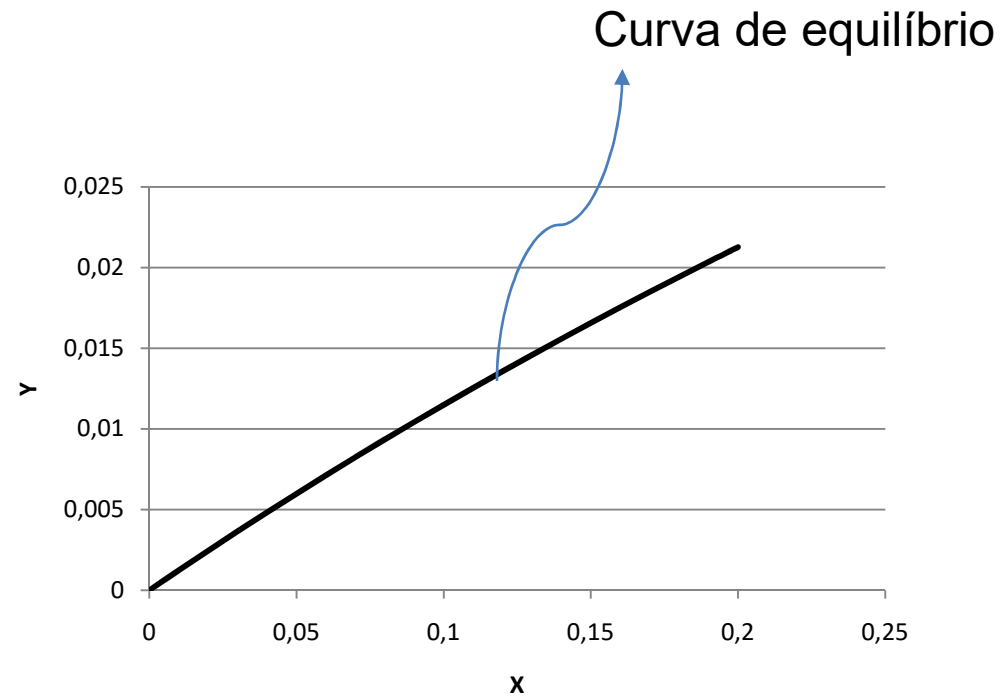
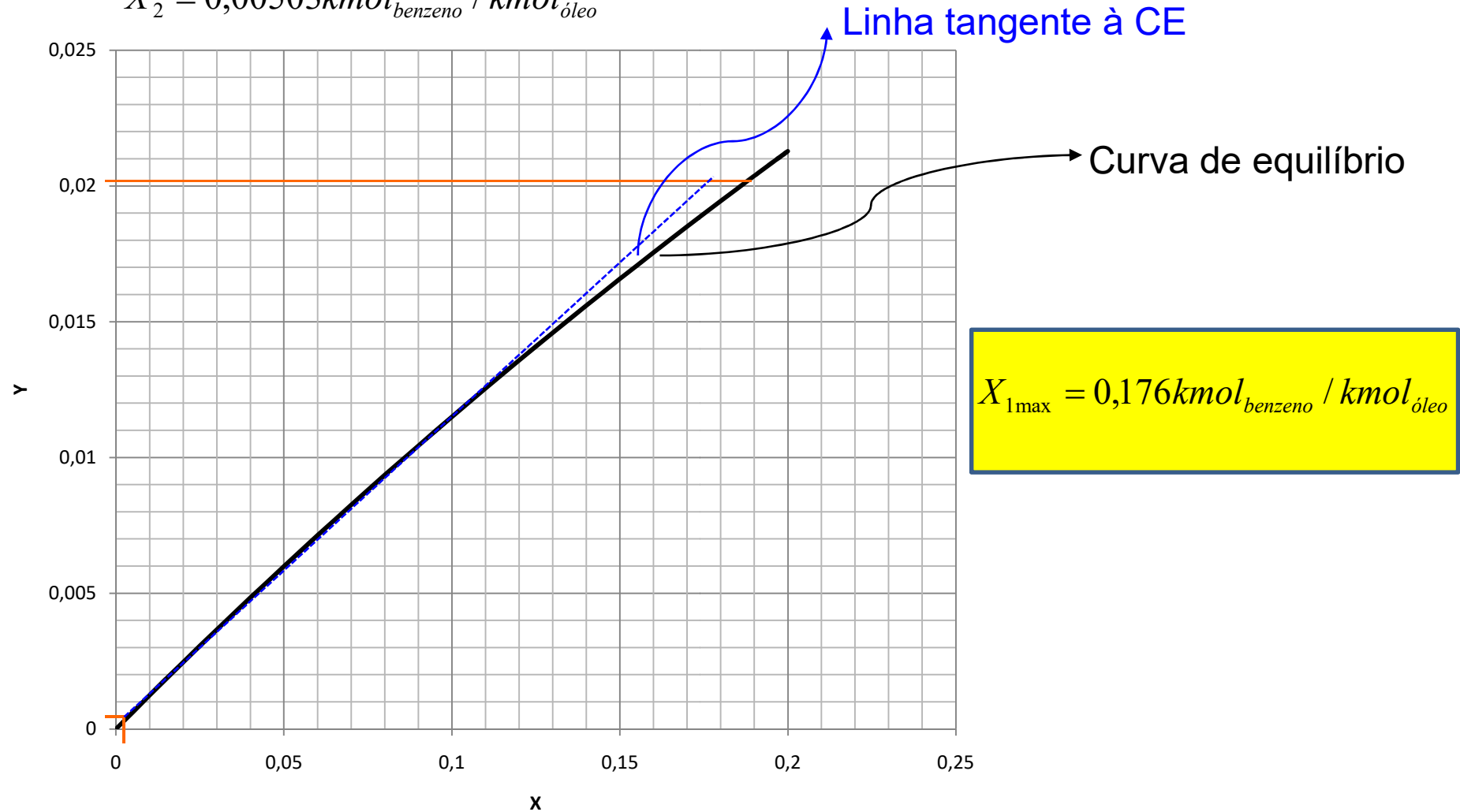


Diagrama de equilíbrio:

$$Y_2 = 0,001 \text{ kmol}_{\text{benzeno}} / \text{kmol}_{\text{gás}}$$

$$Y_1 = 0,0204 \text{ kmol}_{\text{benzeno}} / \text{kmol}_{\text{gás}}$$

$$X_2 = 0,00503 \text{ kmol}_{\text{benzeno}} / \text{kmol}_{\text{óleo}}$$



$$(Y_1 - Y_2) = \frac{L_S}{G_S} (X_1 - X_2)$$

$$(Y_1 - Y_2) = \frac{L_{S\min}}{G_S} (X_{1\max} - X_2)$$

$$(0,0204 - 0,001) = \frac{L_{S\min}}{0,01054} (0,176 - 0,00503)$$

$$L_{S\min} = 0,00114 \text{ kmol} / s$$

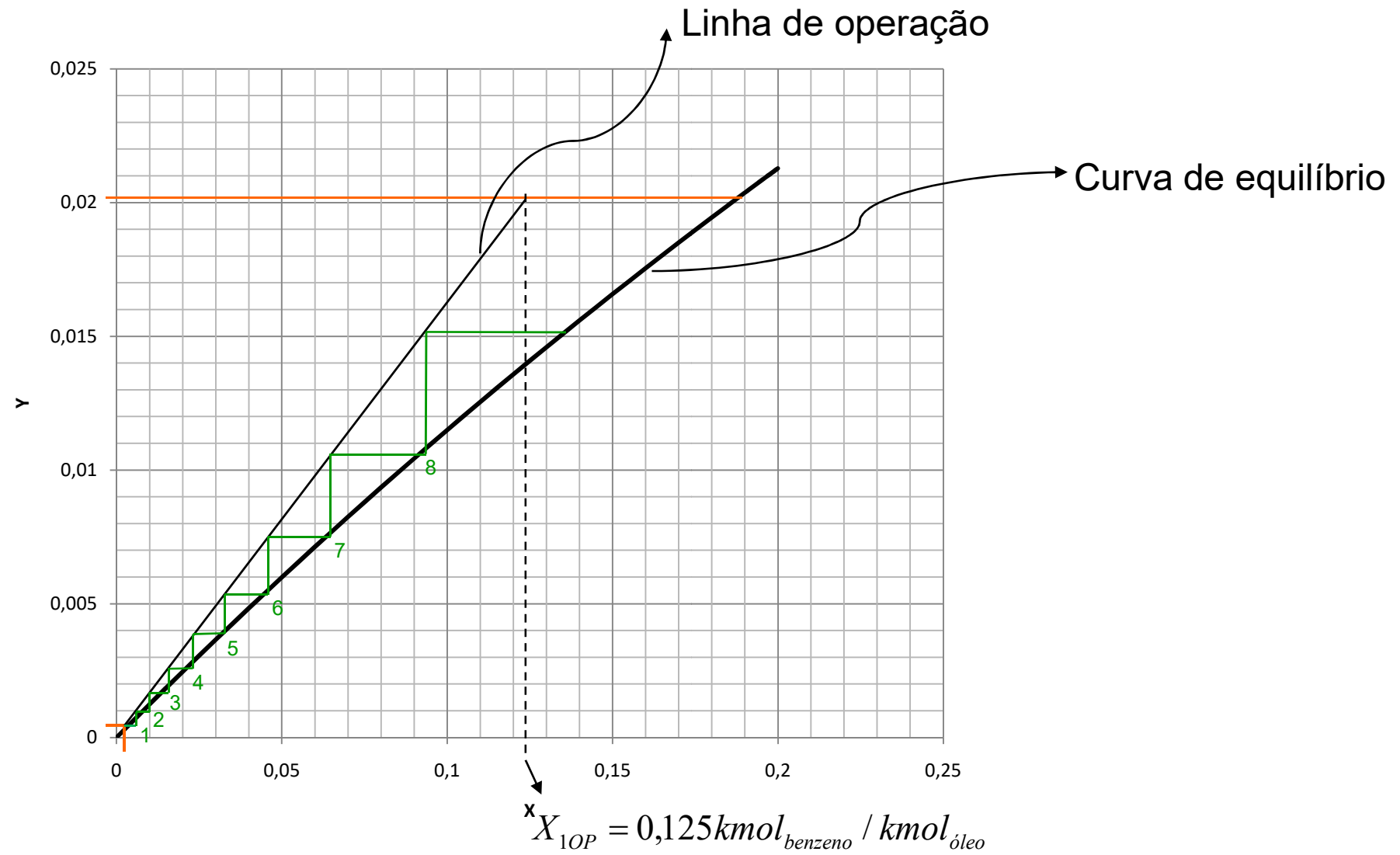
$$L_{SOP} = 1,5 * 0,00114 = 0,0017 \text{ kmol} / s$$

$$(Y_1 - Y_2) = \frac{L_{SOP}}{G_S} (X_{1OP} - X_2)$$

$$(0,0204 - 0,001) = \frac{0,0017}{0,01054} (X_{1OP} - 0,00503)$$

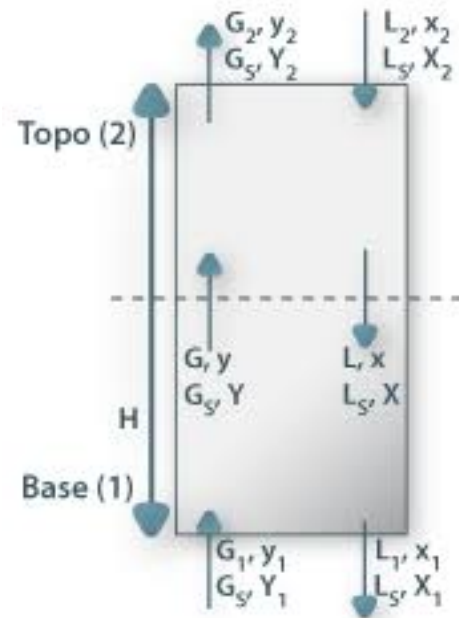
$$X_{1OP} = 0,125 \text{ kmol}_{\text{benzeno}} / \text{kmol}_{\text{óleo}}$$

Diagrama de equilíbrio:



Dessorção – exercício:

Suponha que a solução de óleo resultante do processo de absorção no exemplo anterior deva ser submetida a um processo de dessorção a 122 °C e 1 atm para sua recuperação e retorno à sua condição inicial. Para esse processo será utilizado um gás de arraste totalmente livre de benzeno. A vazão de circulação do gás também será de 1,5 vezes a vazão mínima requerida para o processo. Sabendo que a pressão de vapor do benzeno a 122 °C é 319 kN/m², determine a vazão de gás mínima e a razão molar de benzeno no gás no final do processo.



Identificando as condições operacionais e as alimentações:

$$T = 122 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$$P_T = 1 \text{ atm} = 101,33 \text{ kN/m}^2;$$

$$L_s = 0,0017 \text{ kmol/s};$$

$$Y_1 = 0;$$

$$X_2 = 0,125;$$

$$X_1 = 0,00503;$$

Dados adicionais:

$$Gs_{op} = 1,5 * Gs_{min}$$

$$P_{benzeno}^0 \text{ a } 122 \text{ }^{\circ}\text{C} = 319 \text{ kN/m}^2$$

Curva de equilíbrio:

$$\frac{Y}{1+Y} = \frac{P^0}{P_T} \left(\frac{X}{1+X} \right)$$

$$\frac{Y}{1+Y} = \frac{319}{101,33} \left(\frac{X}{1+X} \right)$$

$$\frac{Y}{1+Y} = 3,148 * \left(\frac{X}{1+X} \right)$$

Curva de equilíbrio:

0	0	0	0
0,01	0,009901	0,031168	0,032171
0,02	0,019608	0,061725	0,065786
0,03	0,029126	0,091689	0,100945
0,04	0,038462	0,121077	0,137756
0,05	0,047619	0,149905	0,176339
0,06	0,056604	0,178189	0,216824
0,07	0,065421	0,205944	0,259357
0,08	0,074074	0,233185	0,304096
0,09	0,082569	0,259927	0,351217
0,1	0,090909	0,286182	0,400917
0,11	0,099099	0,311964	0,453412
0,12	0,107143	0,337286	0,508946
0,13	0,115044	0,362159	0,56779
0,14	0,122807	0,386596	0,630248
0,15	0,130435	0,410609	0,696666
0,16	0,137931	0,434207	0,767431
0,17	0,145299	0,457402	0,842984
0,18	0,152542	0,480203	0,923829
0,19	0,159664	0,502622	1,010543
0,2	0,166667	0,524667	1,103787

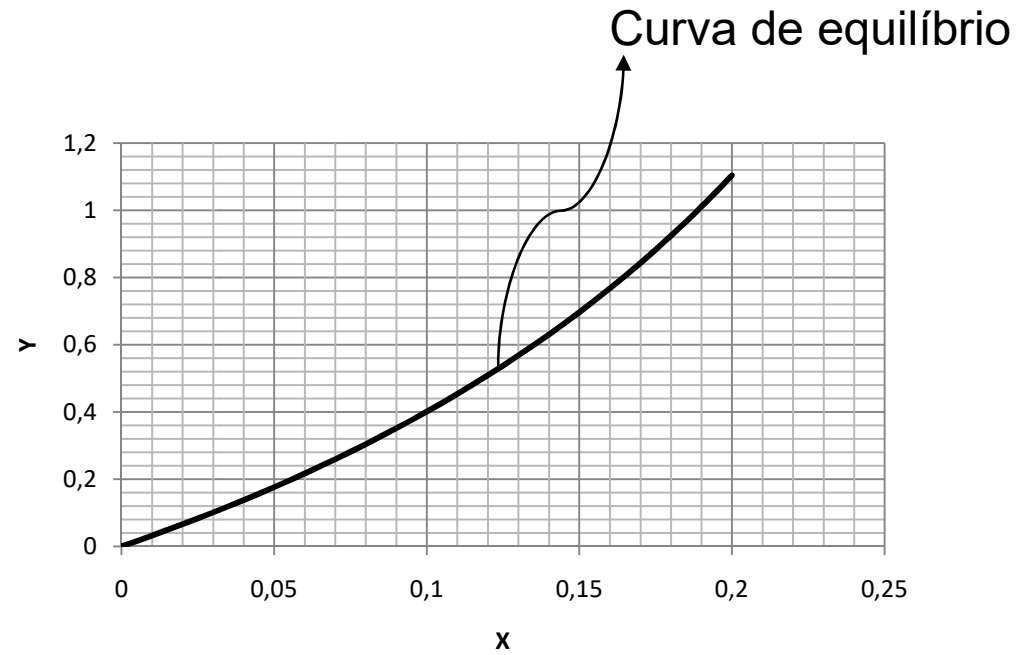
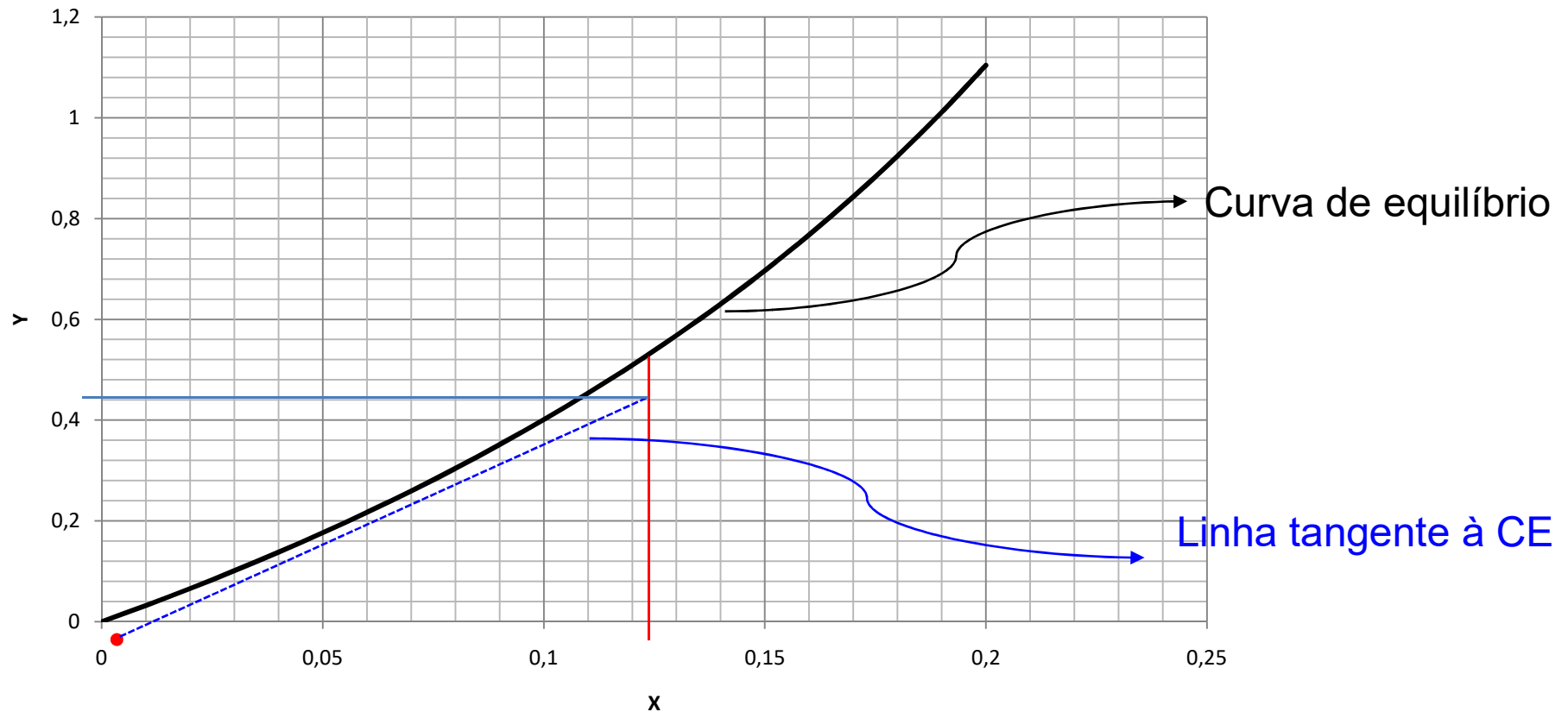


Diagrama de equilíbrio:

$$Y_1 = 0$$

$$X_1 = 0,00503 \text{ kmol}_{\text{benzeno}} / \text{kmol}_{\text{óleo}}$$

$$X_2 = 0,125 \text{ kmol}_{\text{benzeno}} / \text{kmol}_{\text{óleo}}$$



$$Y_{2\max} = 0,47 \text{ kmol}_{\text{benzeno}} / \text{kmol}_{\text{gás}}$$

$$(Y_1 - Y_2) = \frac{L_S}{G_S} (X_1 - X_2)$$

$$(Y_1 - Y_{2\max}) = \frac{L_S}{G_{S\min}} (X_1 - X_2)$$

$$(0 - 0,47) = \frac{0,0017}{G_{S\min}} (0,00503 - 0,125)$$

$$G_{S\min} = 0,000434 \text{ kmol} / \text{s}$$

$$G_{SOP} = 1,5 * 0,000434 = 0,000651 \text{ kmol} / \text{s}$$

$$(Y_1 - Y_{2OP}) = \frac{L_S}{G_{SOP}} (X_1 - X_2)$$

$$(0 - Y_{2OP}) = \frac{0,0017}{0,000651} (0,00503 - 0,125)$$

$$Y_{2OP} = 0,31 \text{ kmol}_{\text{benzeno}} / \text{kmol}_{\text{gás}}$$

Diagrama de equilíbrio:

