

Exercício 1*

(adaptado de Azevedo e Alves, 2009, Exemplo 2.2;
Seader, Henley e Roper, 2011, Exemplo 4.7)

A 25°C e 101 kPa misturam-se 100 g de uma solução com 45% (em massa) de etilenoglicol (EG) e 55% de água com 200 g de furfural puro. Determine:

- As massas e as composições das fases de refinado e de extrato resultantes da mistura.
- O percentual de remoção de EG da mistura.
- As quantidades mínima e máxima de furfural para extração de EG.
- A composição máxima de EG na mistura inicial que torne possível a extração.
- As composições das fases de refinado e de extrato em base livre de furfural.

Tabela 1: Dados de equilíbrio líquido-líquido para furfural-EG-água.

Furfural	EG	Água	Furfural	EG	Água
0,95	0	0,05	0,275	0,525	0,20
0,903	0,052	0,045	0,139	0,475	0,386
0,861	0,10	0,039	0,11	0,40	0,49
0,751	0,20	0,049	0,097	0,30	0,603
0,667	0,275	0,058	0,084	0,15	0,766
0,49	0,415	0,095	0,077	0	0,923
0,343	0,505	0,152			

Tabela 2: Dados de equilíbrio mútuo (linha de amarração) para furfural-EG-água.

Etilenoglicol		Etilenoglicol	
Fase aquosa	Fase orgânica	Fase aquosa	Fase orgânica
0,415	0,415	0,40	0,10
0,505	0,325	0,30	0,075
0,525	0,275	0,20	0,062
0,515	0,20	0,15	0,052
0,475	0,15	0,073	0,025

Utilize o diagrama de equilíbrio de fases da **Fig. 1** produzido a partir dos dados de equilíbrio da **Tab. 1**. Já os dados para construção das linhas de amarração estão disponíveis na **Tab. 2**.

Exercício 2*

(Geankoplis, 2003, Exemplos 12.7-1 e 12.7-2)

Considere um processo de extração multiestágio contracorrente de uma solução aquosa de ácido acético utilizando éter isopropílico puro como solvente. Determine o que se pede para cada caso:

- Solvente a uma vazão de 600 kg/h é usado para extrair uma solução aquosa de 200 kg/h com 30% de ácido acético. Deseja-se obter uma concentração final de ácido acético na fase aquosa de 4%. Calcule as composições e as vazões das correntes do extrato e do refinado. Determine ainda as composições das mesmas correntes em base livre de solvente.
- Solvente a uma taxa de 450 kg/h é usado para extrair uma solução aquosa de 150 kg/h com 30% de ácido acético. A concentração de saída do ácido na fase aquosa é de 10%. Calcule o número de estágios requeridos.

Os dados de equilíbrio são encontrados na **Tab. 3**. Utilize o diagrama ternário da **Fig. 2** para resolução do exercício.

Tabela 3: Dados de equilíbrio líquido-líquido para ácido acético-água-éter a 20°C e 1 atm.*

Fase aquosa			Fase etérea		
Ácido	Água	Éter	Ácido	Água	Éter
0	0,988	0,012	0	0,006	0,994
0,0069	0,981	0,012	0,0018	0,005	0,993
0,0141	0,971	0,015	0,0037	0,007	0,989
0,0289	0,955	0,016	0,0079	0,008	0,984
0,0642	0,917	0,019	0,0193	0,01	0,971
0,133	0,844	0,023	0,0482	0,019	0,933
0,255	0,711	0,034	0,114	0,039	0,847
0,367	0,589	0,044	0,216	0,069	0,715
0,443	0,451	0,106	0,311	0,108	0,581
0,464	0,371	0,165	0,362	0,151	0,487

*Fases aquosa e etérea na mesma linha estão em equilíbrio entre si.

Respostas: (a) $R_N = 136$ kg/h (4% soluto, 1,7% solvente). $E_1 = 664$ kg/h (8% soluto, 90% solvente). (b) $N = 2,5$.

Exercício 3

(Azevedo e Alves, 2009, Exemplo 9.2, ver errata do livro; Seader, Henley e Roper, 2011, Exercício 8.11)

1 000 kg/h de uma solução aquosa binária com 40% (% mássicas) de acetona vai ser extraída em processo contínuo (a 25°C e 1 atm) e em contracorrente com 1,1,2-tricloroetano (TCA), para obter um refinado que contenha 10% de acetona. Calcule:

- A quantidade mínima do solvente.
- O número de estágios, usando uma quantidade de solvente 1,5 vezes maior que a quantidade mínima.
- As vazões e as composições das correntes que saem de cada estágio.

Utilize o diagrama ternário de equilíbrio de fases (triângulo equilátero) dado na **Fig. 3**. Os pontos para a construção da linha de solubilidade estão disponíveis na **Tab. 4** e os dados de equilíbrio mútuo para a construção das linhas de amarração estão disponíveis na **Tab. 5**:

Tabela 4: Dados de equilíbrio líquido-líquido para acetona-água-tricloroetano.

Extrato			Refinado		
Acetona	Água	TCA	Acetona	Água	TCA
0,6	0,13	0,27	0,55	0,35	0,1
0,5	0,04	0,46	0,50	0,43	0,07
0,4	0,03	0,57	0,40	0,57	0,03
0,3	0,02	0,68	0,30	0,68	0,02
0,2	0,015	0,785	0,20	0,79	0,01
0,1	0,01	0,89	0,10	0,895	0,005

Tabela 5: Dados de equilíbrio mútuo (linha de amarração) para acetona-água-tricloroetano.

Soluto no refinado	Soluto no extrato
0,44	0,56
0,29	0,40
0,12	0,18

Respostas: (a) $S_{\min} = 250$ kg/h. (b) pouco menos de 4 estágios. (c) $R_1 = 669$ kg/h (10% soluto, 89,5% diluente), $R_2 = 770$ kg/h (18,5% soluto, 80% diluente), $R_3 = 866$ kg/h (26,5% soluto, 71% diluente), $R_4 = 994$ kg/h (34% soluto, 62,5% diluente), $E_1 = 476$ kg/h (15,8% soluto, 1% diluente), $E_2 = 572$ kg/h (28% soluto, 1% diluente), $E_3 = 700$ kg/h (38,3% soluto, 2% diluente), $E_4 = 706$ kg/h (47,5% soluto, 3% diluente).

Exercício 4

(Azevedo e Alves, 2009, Exemplo 9.2, ver errata do livro; Seader, Henley e Roper, 2011, Exercício 8.12)

Resolva novamente o **Exercício 2** utilizando o diagrama ternário (triângulo retângulo) da **Fig. 4**.

Exercício 5

(Foust et al., 1982, Problema 4.21)

Deseja-se extrair 1 000 kg de uma solução com 35% de ácido acético em água, com 2 000 kg de éter isopropílico puro. Os dados de equilíbrio do sistema ácido acético-água-éter isopropílico são dados na **Tab. 3**:

Calcular a percentagem de remoção do ácido acético da fase aquosa para cada uma das seguintes propostas de operação a partir do diagrama ternário dado na **Fig. 2**:

- O éter é dividido em 4 frações de 500 kg cada uma. A solução aquosa é misturada com uma fração de 500 kg, a fase etérea é separada e a fase aquosa remanescente é extraída com a segunda alíquota de 500 kg de éter. O processo continua até serem usadas todas as 4 alíquotas.
- Considere a mesma operação que no item (a), mas usando-se somente 3 estágios de extração com 667 kg cada um.
- Considere um único estágio de extração com 2 000 kg de éter. Determine ainda as quantidades mínima e máxima de solvente para esta operação de extração.

Exercício 6

(Wankat, 2012, Problema D14, Cap. 13)

Os dados de equilíbrio para o sistema água-ácido acético-éter isopropílico são dados na **Tab 3**. Tem-se uma alimentação com 30% de ácido acético e 70% de água. Esta alimentação é tratada com éter isopropílico puro. Uma extração em batelada feita em um tanque de mistura processa 15 kg de alimentação.

- Quais são as quantidades mínima e máxima de solvente necessárias para a extração?
- Se 10 kg de solvente é usado, encontre as composições do extrato e do refinado.
- Se é requerido um refinado de composição $x_A = 0,1$, quanto solvente é necessário?

Utilize o diagrama ternário dado na **Fig. 2** para resolução do exercício.

Respostas: (b) $y_A = 0,115$, $y_W = 0,04$, $x_A = 0,23$ e $y_A = 0,73$. (c) $S = 85,7$ kg/h.

Exercício 7

(Wankat, 2012, Problema D21, Cap. 13)

Os dados de equilíbrio para a extração de metilcicloexano (A) de *n*-heptano (D) em anilina (S) são dados na **Tab. 6**. Têm-se 100 kg/h de uma alimentação contendo 60% de metilcicloexano e 40% de *n*-heptano e 50 kg/h de uma segunda alimentação contendo 20% de metilcicloexano e 80% de *n*-heptano. Estas alimentações são misturadas com 200 kg/h de anilina pura em um único estágio de equilíbrio.

Tabela 6: Dados de equilíbrio para metilcicloexano–heptano–anilina.*

Fase de hidrocarboneto		Fase rica em anilina	
metilcicloexano	<i>n</i> -heptano	metilcicloexano	<i>n</i> -heptano
x_A	x_D	y_A	y_D
0	0,926	0	0,062
0,092	0,831	0,008	0,06
0,186	0,734	0,027	0,053
0,22	0,698	0,03	0,051
0,338	0,576	0,046	0,045
0,409	0,504	0,06	0,04
0,46	0,45	0,074	0,036
0,59	0,307	0,092	0,028
0,672	0,228	0,113	0,021
0,716	0,182	0,127	0,016
0,736	0,16	0,131	0,014
0,833	0,054	0,156	0,006
0,881	0	0,169	0

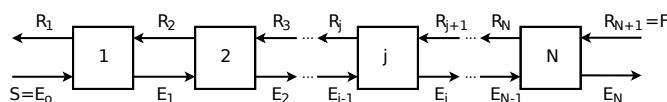
*Fases na mesma linha estão em equilíbrio entre si.

- Quais são as composições do extrato e do refinado que deixam o estágio?
- Qual é a vazão mássica do extrato?

Utilize o diagrama ternário dado na **Fig. 5** para resolução do exercício.

Respostas: (a) $x_A = 0,42$ e $x_D = 0,48$; $y_A = 0,06$ e $y_D = 0,05$. (b) 214 kg.

Formulário



Legenda:

A = soluto, D = diluente

j = j -ésimo estágio de equilíbrio, ($j = 1, 2, \dots, N$)

N = último estágio de equilíbrio

Coefficiente de distribuição:

$$K_d = \frac{y_A}{x_A} \quad (1)$$

Balço global:

- Ponto de mistura global:

$$F + S = R_1 + E_N = M \quad (2)$$

- Ponto de mistura do estágio j :

$$R_{j+1} + E_{j-1} = R_j + E_j = M_j \quad (3)$$

Balço por componentes:

$$x_{A,N+1}F + y_{A,0}S = x_{A,M}M = \quad (4)$$

$$= x_{A,1}R_1 + y_{A,N}E_N$$

$$x_{D,N+1}F + y_{D,0}S = x_{D,M}M = \quad (5)$$

$$= x_{D,1}R_1 + y_{D,N}E_N$$

$$x_{A,M} = \frac{x_{A,N+1}F + y_{A,0}S}{F + S} \quad (6)$$

$$x_{D,M} = \frac{x_{D,N+1}F + y_{D,0}S}{F + S} \quad (7)$$

Regra da alavanca:

$$\frac{S}{F} = \frac{\overline{MF}}{\overline{MS}} = \frac{\overline{RF}}{\overline{RS}} \quad (8)$$

$$\frac{S}{M} = \frac{\overline{MF}}{\overline{SF}} \quad (9)$$

$$\frac{R}{M} = \frac{\overline{ME}}{\overline{ER}} \quad (10)$$

$$\frac{E}{R} = \frac{\overline{MR}}{\overline{ME}} \quad (11)$$

$$\frac{E}{M} = \frac{\overline{MR}}{\overline{ER}} \quad (12)$$

$$\overline{SF} = \overline{MS} + \overline{MF} \quad (13)$$

$$\overline{ER} = \overline{ME} + \overline{MR} \quad (14)$$

Ponto Δ :

$$\Delta = E_0 + R_1 = E_1 - R_2 = \dots \quad (15)$$

$$= E_j - R_{j+1} = \dots = E_N - R_{N+1}$$

$$\frac{R_{j+1}}{E_j} = \frac{\overline{E_j\Delta}}{\overline{R_{j+1}\Delta}} \quad (16)$$

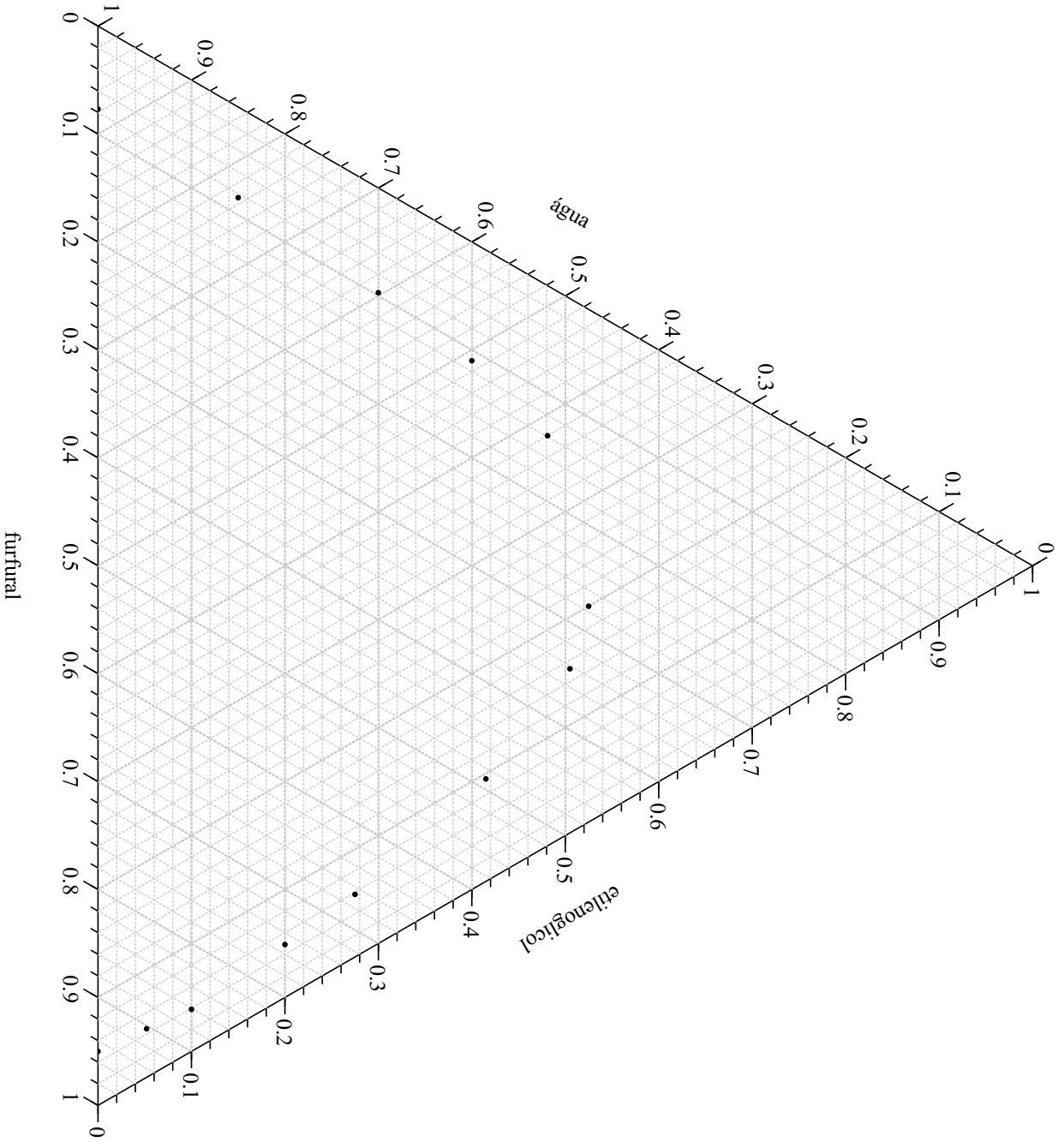


Figura 1: Diagrama do sistema etilenoglicol(EG)-furfural-água a 25°C e 101 kPa.

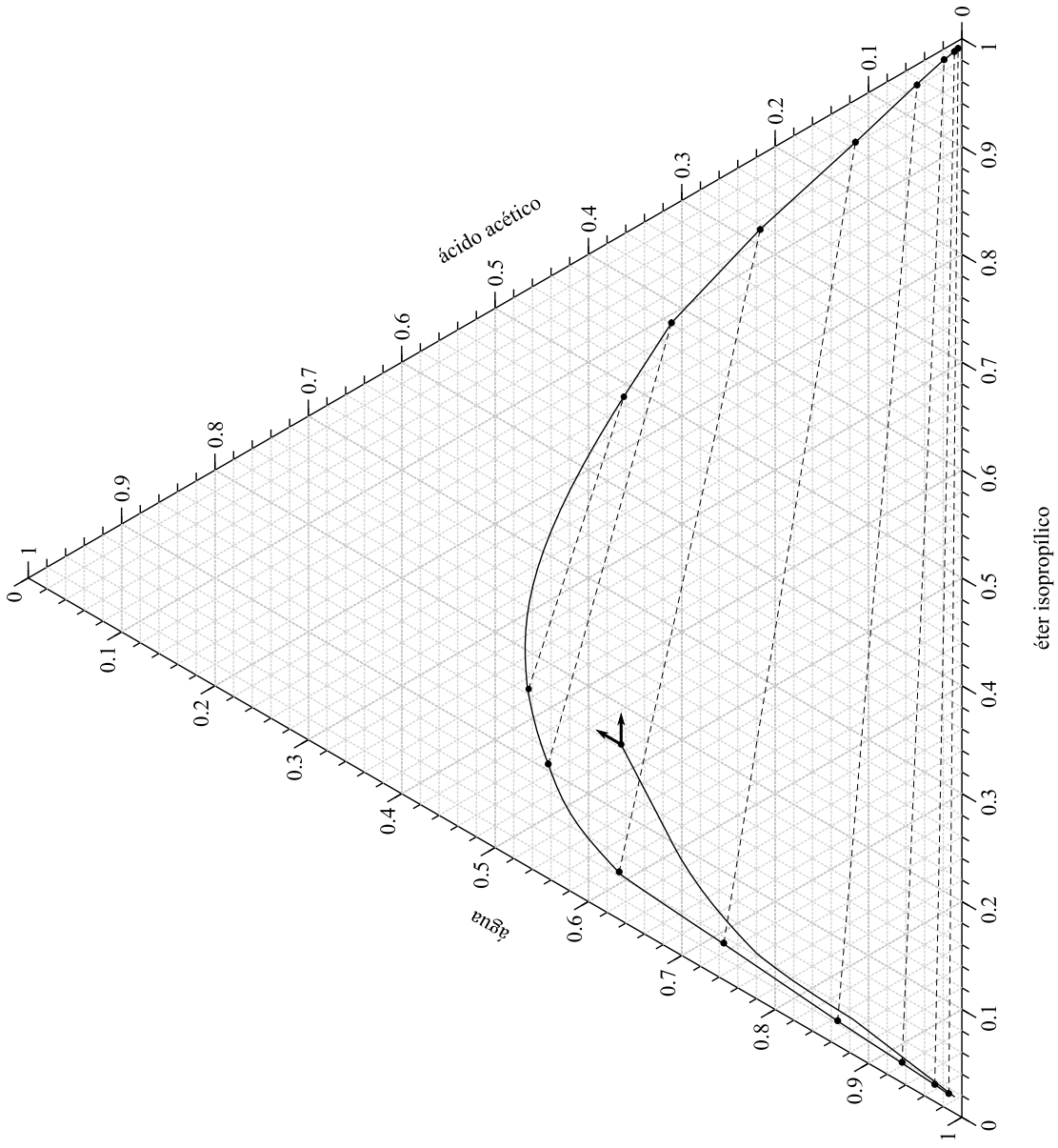


Figura 2: Diagrama do sistema ácido acético-éter isopropílico-água a 20°C e 1 atm.

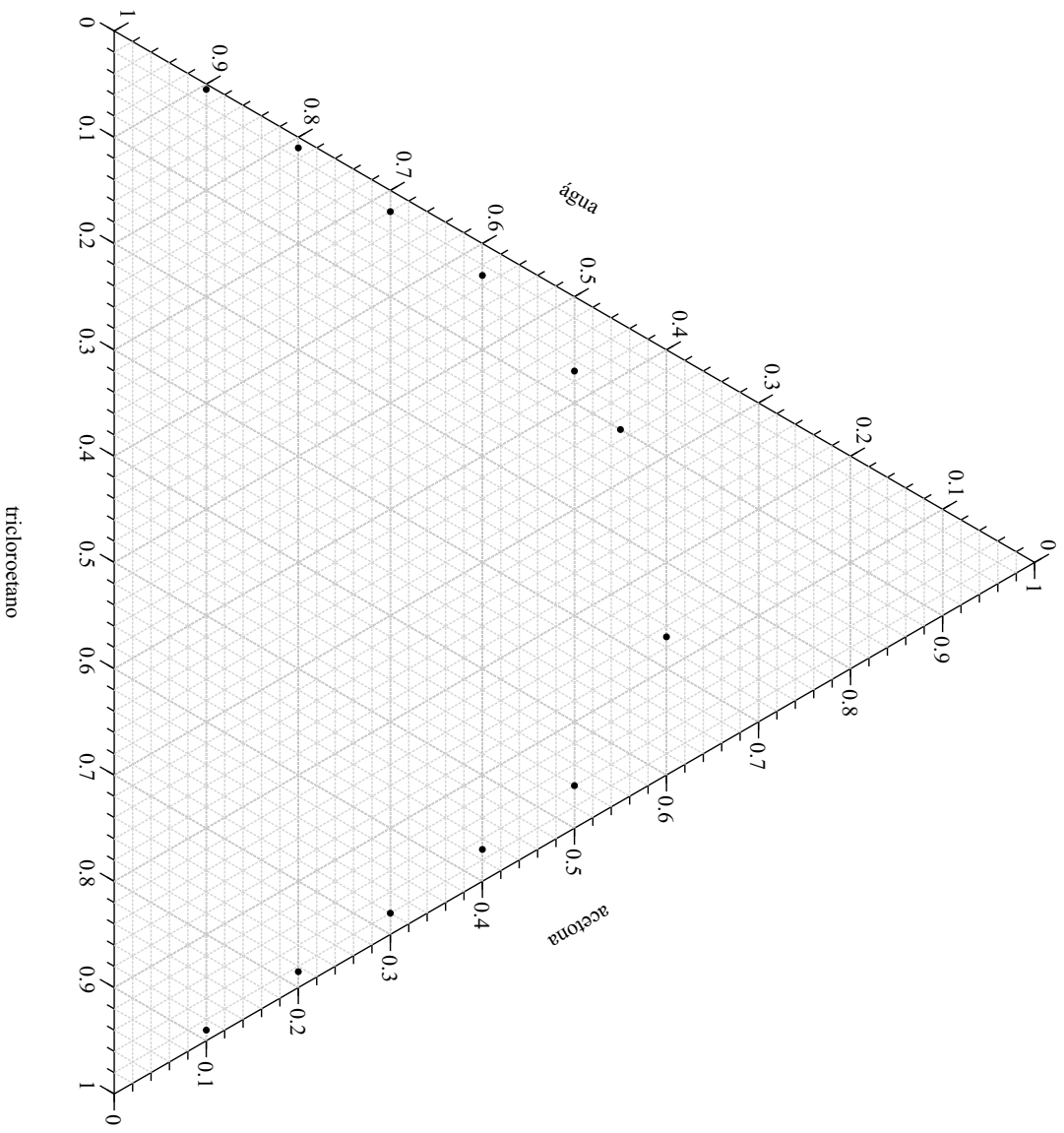


Figura 3: Diagrama do sistema acetona-água-1,1,2-tricloroetano(TCA) a 25°C e 1 atm.

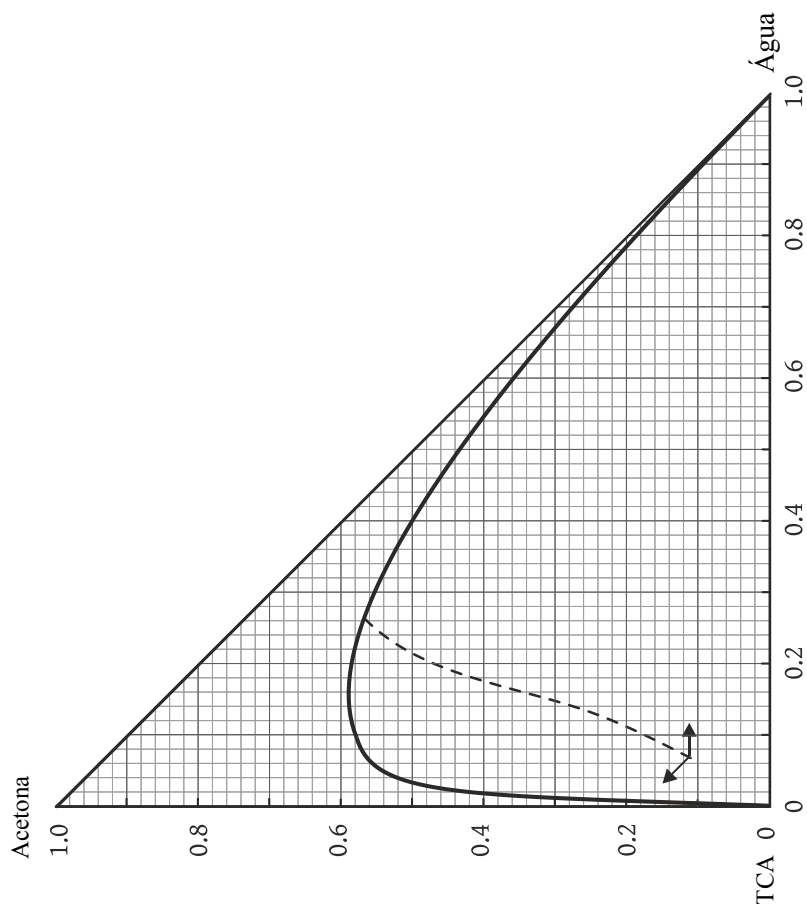


Figura 4: Diagrama do sistema acetona-água-1,1,2-tricloroetano(TCA) a 25°C e 1 atm. A linha tracejada representa a linha conjugada.

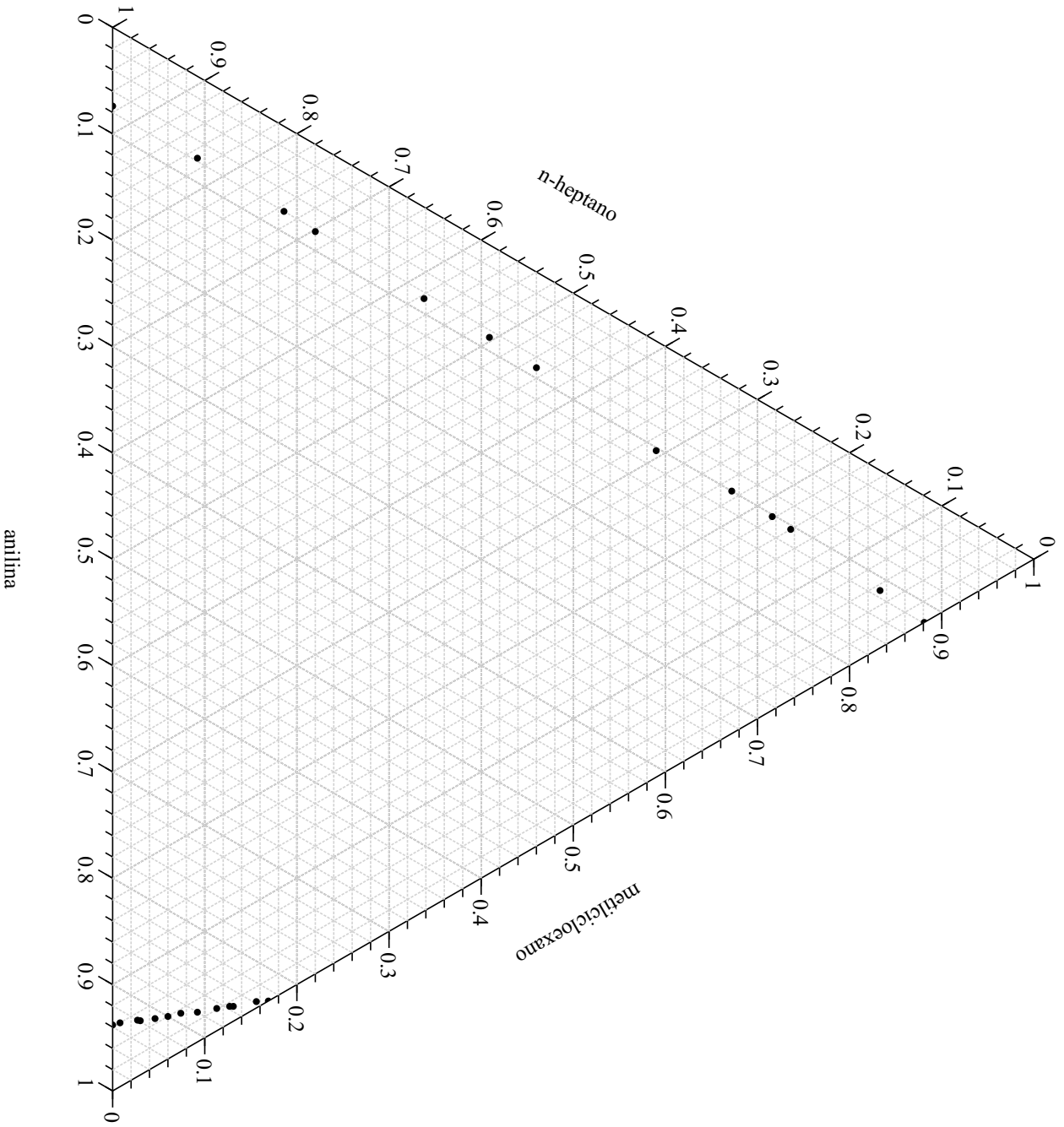


Figura 5: Diagrama do sistema metilcicloexano-heptano-anilina.