

# Universidade de São Paulo – USP

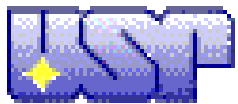
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq  
Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição - LAN

## LAN 1458 - Açúcar e Alcool

### Destilação, retificação e desidratação

Prof. Antonio Sampaio Baptista





## 1. INTRODUÇÃO

Vinho  
(natureza)

líquida

Etanol - 7 a 15 % (v)

Água

outras substâncias (ácidos succínico e acético, glicerina, furfural, álcoois homólogos superiores - amílico, isoamílico, propílico, isopropílico, butílico, aldeído acético, acetato de etila, etc.)

sólida

a) suspensão:

células de leveduras, bactérias

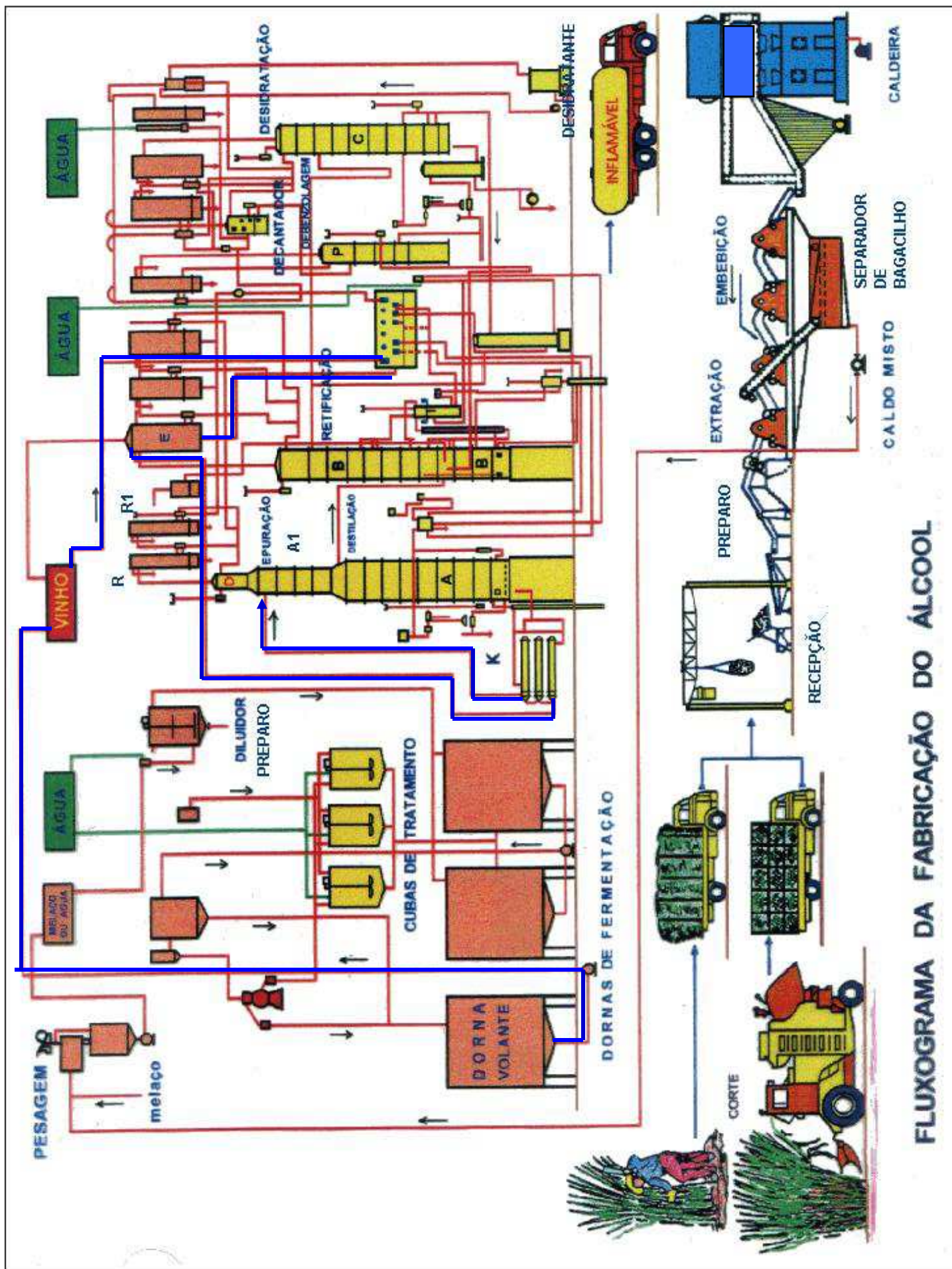
substâncias não solúveis (bagacilho, etc).

b) solução:

açúcares não fermentados, substâncias infermentescíveis, matérias insolúveis, sais minerais, etc.

gasosa

CO<sub>2</sub>



FLUXOGRAMA DA FABRICAÇÃO DO ALCOOL

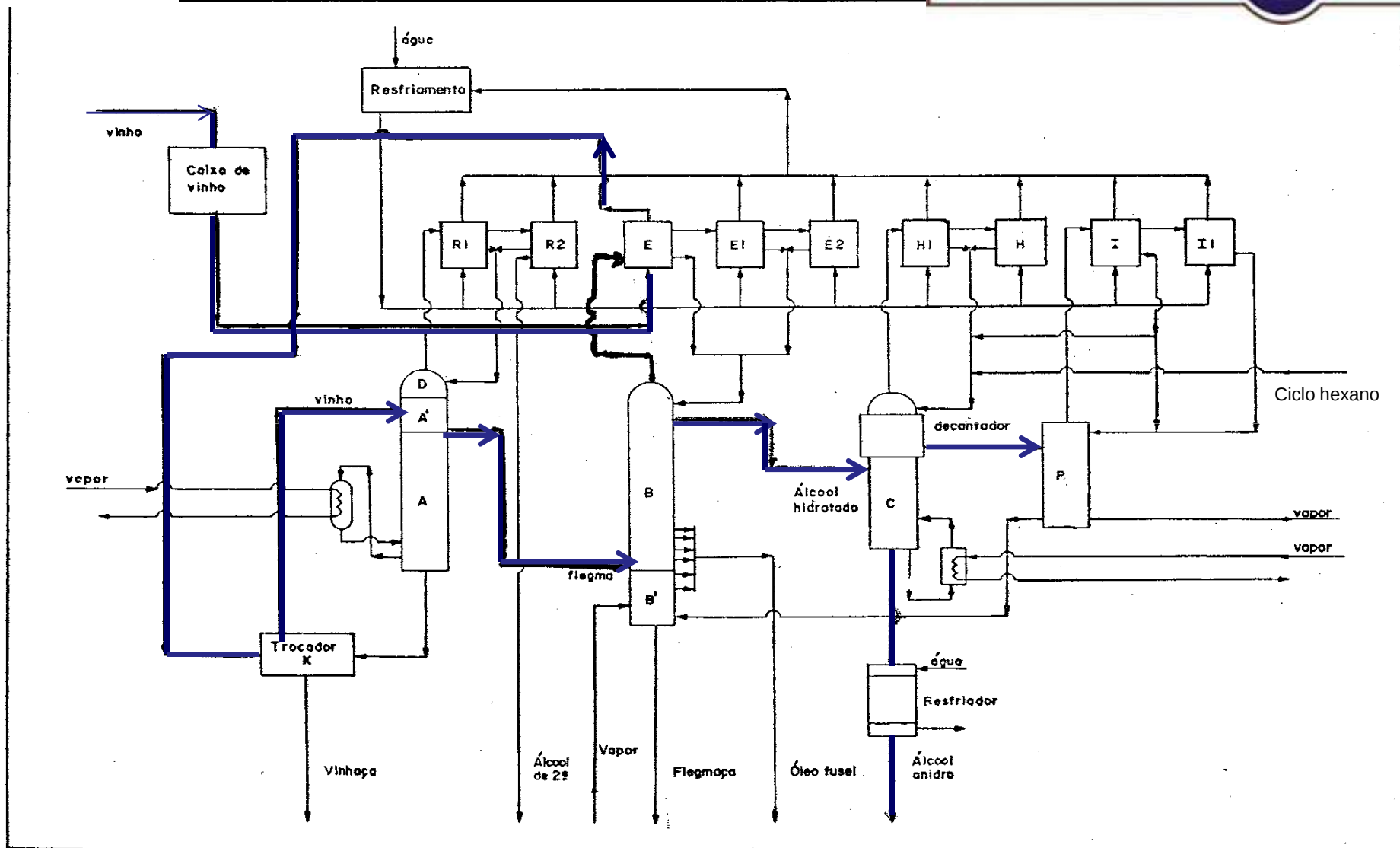
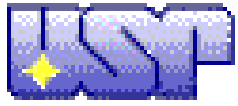


FIGURA 3.7 - Esquema geral de uma destilaria convencional



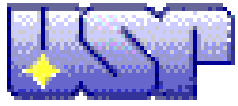
Do ponto de vista de volatilidade das substâncias do vinho (grupos):

⇒ voláteis: etanol, água, aldeídos, álcoois superiores, ácido acético, etc.

⇒ fixas: extrato do mosto, células de leveduras e de bactérias, etc.

Para separação do álcool dos demais componentes do vinho:

⇒ baseado na diferença do ponto de ebulição das substâncias voláteis.



## Sistemas de Destilação

1ª Operação  
(Destilação)

Epuração (A1) e concentração de cabeça (D):  
eliminação parcial das impurezas de cabeça  
(aldeídos e ésteres) → retirada de parte em álcool 2ª  
Destilação (A)

2ª Operação

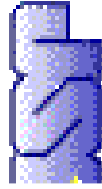
Retificação: purificação e concentração de etanol  
através de eliminação de álcoois homólogos  
superiores (óleo fusel).

3ª Operação

Desidratação: fracionamento de misturas  
azeotrópicas ou adsorção seletiva.

## Principais Compostos envolvidos na Destilação Alcóolica

| Classe Química | Composto    | Peso Molecular (kg/kmol) | T <sub>Ebulição</sub> (°C) | P <sub>Vapor,100 C</sub> (mmHg) |
|----------------|-------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------------|
| Água           | Água        | 18,02                    | 100                        | 760                             |
| Alcoois        | Metanol     | 32,04                    | 64,7                       | 2610                            |
|                | Etanol      | 46,07                    | 78,4                       | 1694                            |
|                | Propanol    | 60,10                    | 97,2                       | 846                             |
|                | Isopropanol | 60,10                    | 82,4                       | 1482                            |
|                | Butanol     | 74,12                    | 117,5                      | 389                             |
|                | Isobutanol  | 74,12                    | 107,7                      | 565                             |
|                | Amílico     | 88,15                    | 137,9                      | 185                             |
|                | Isoamílico  | 88,15                    | 130,9                      | 237                             |



## Principais Compostos envolvidos na Destilação Alcólica

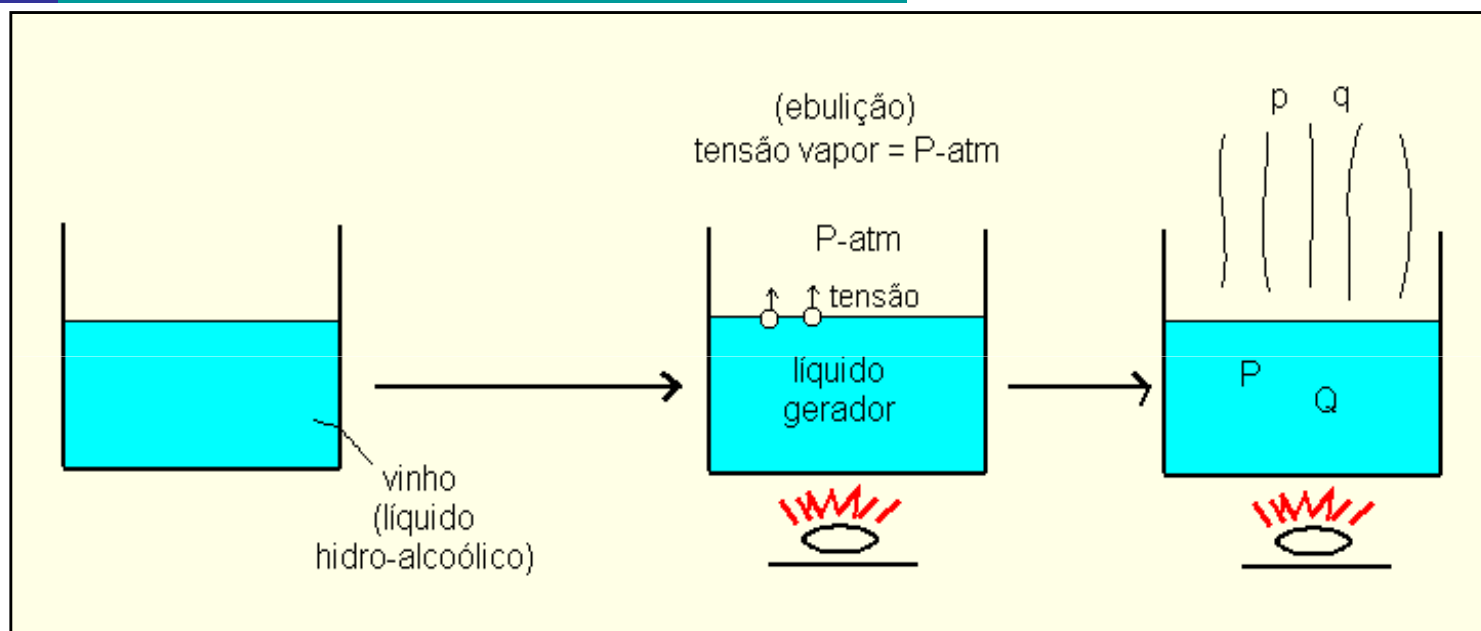
| <b>Classe Química</b> | <b>Composto</b> | <b>Peso Molecular</b><br>(Kg/Kmol) | <b>T<sub>Ebulição</sub></b><br>(°C) | <b>P<sub>Vapor, 100 C</sub></b><br>(mmHg) |
|-----------------------|-----------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|
| <b>Aldeídos</b>       | Acetaldeído     | 44,05                              | 20,8                                | 7047                                      |
|                       | butiraldeído    | 72,11                              | 74,9                                | 1539                                      |
|                       | Crotonaldeído   | 70,09                              | 104,6                               | -                                         |
| <b>Ácidos</b>         | Acético         | 60,05                              | 118,1                               | 427                                       |
|                       | Propiônico      | 74,08                              | 140,9                               | 182                                       |
|                       | caprílico       | 144,21                             | 236,9                               | 1,7                                       |
| <b>Cetona</b>         | Acetona         | 58,08                              | 56,2                                | 2806                                      |

## Principais Compostos envolvidos na Destilação Alcóolica

| Classe Química  | Composto                 | Peso Molecular (Kg/Kmol) | T <sub>Ebulição</sub> (°C) | P <sub>Vapor, 100 C</sub> (mmHg) |
|-----------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Ésteres         | Acetato de Etila         | 88,11                    | 77,1                       | 1533                             |
|                 | Caprilato de Etila       | 172,26                   | 207,1                      | -                                |
| Éter            | Acetal                   | 118,17                   | 102,9                      | -                                |
| Hidro-carboneto | Cicloexano               | 84,16                    |                            | 1303                             |
| Diol            | Mono Etileno Glico (MEG) | 62,07                    | 197,4                      | 16                               |

# 1. DESTILAÇÃO

## 1.1. CONSIDERAÇÕES TÉORICAS



$$\frac{P}{Q} < \frac{p}{q}, \text{ onde:}$$

$P$  = quantidade de álcool (vinho)

$Q$  = quantidade de água (vinho)

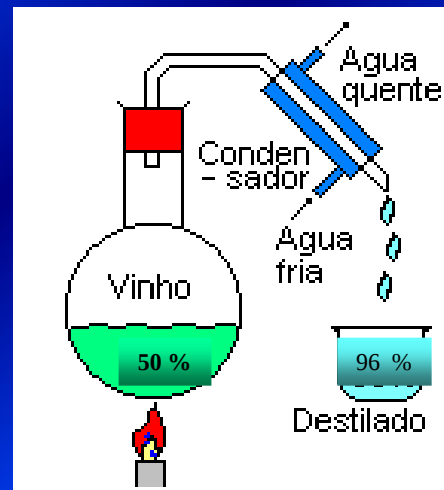
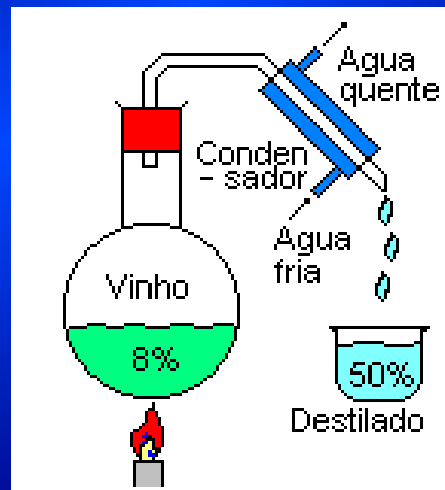
$p$  = quantidade de álcool (destilado)

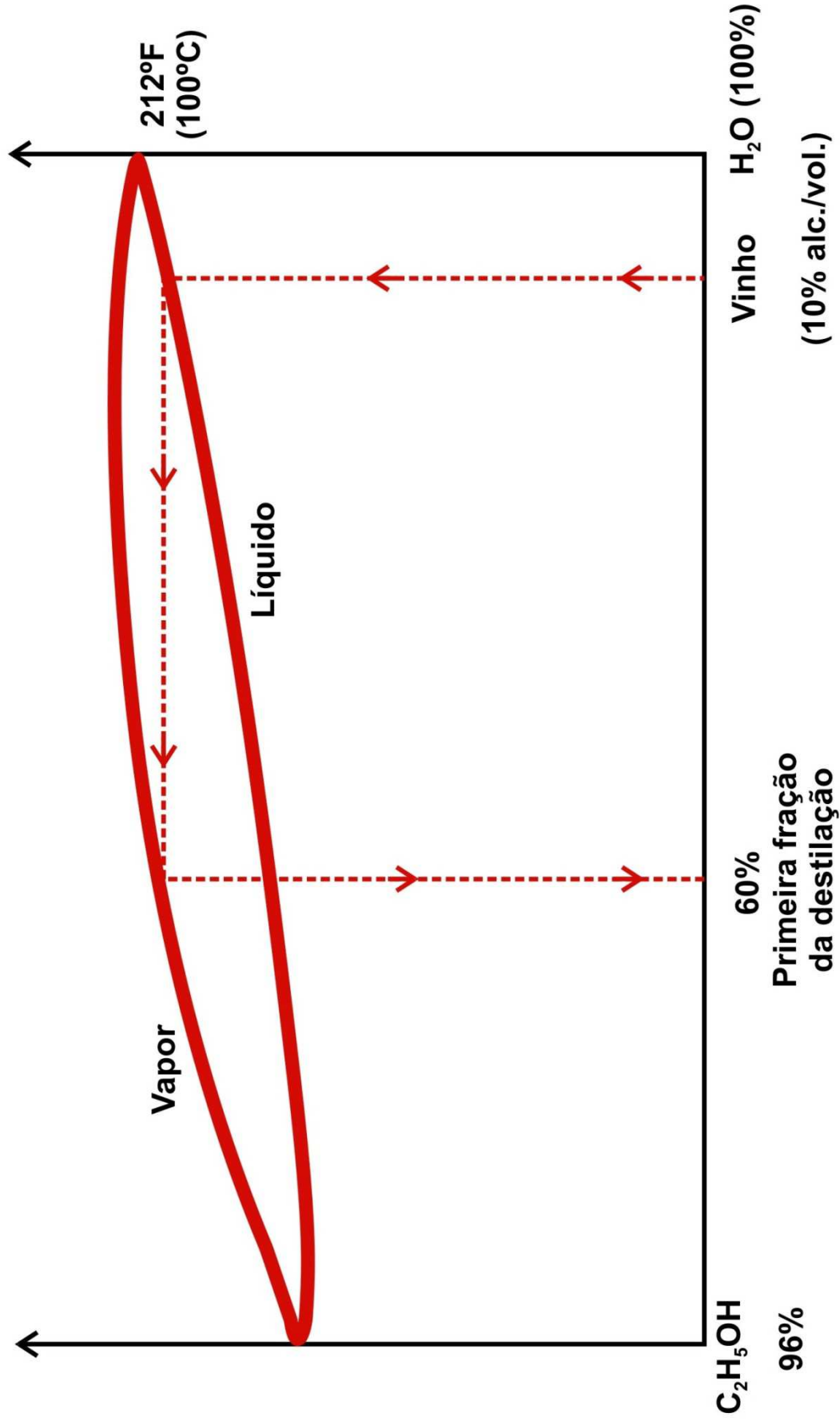
$q$  = quantidade de água (destilado)

# Destilação

Se fervemos uma solução alcoólica [por exemplo, vinho], os vapores liberados terão um teor alcoólico maior do que o vinho.

Exemplo: Se fervemos um líquido com 8% de álcool, os vapores terão em torno de 50% de álcool. Se agora condensamos estes vapores teremos um líquido com 50% de álcool.



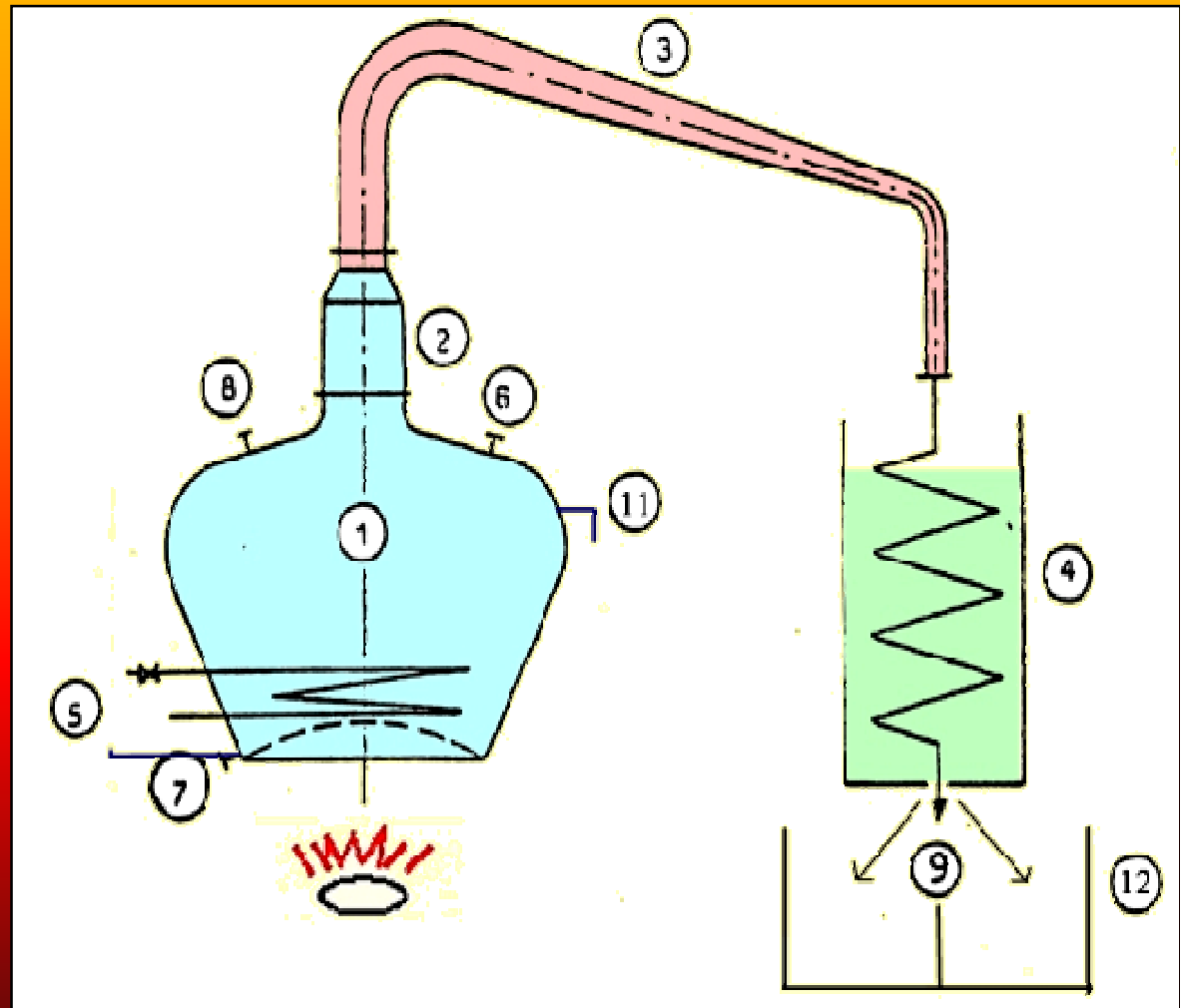


## 1.2. PRÁTICA (Processos)

### (a) Destilação Intermitente Simples

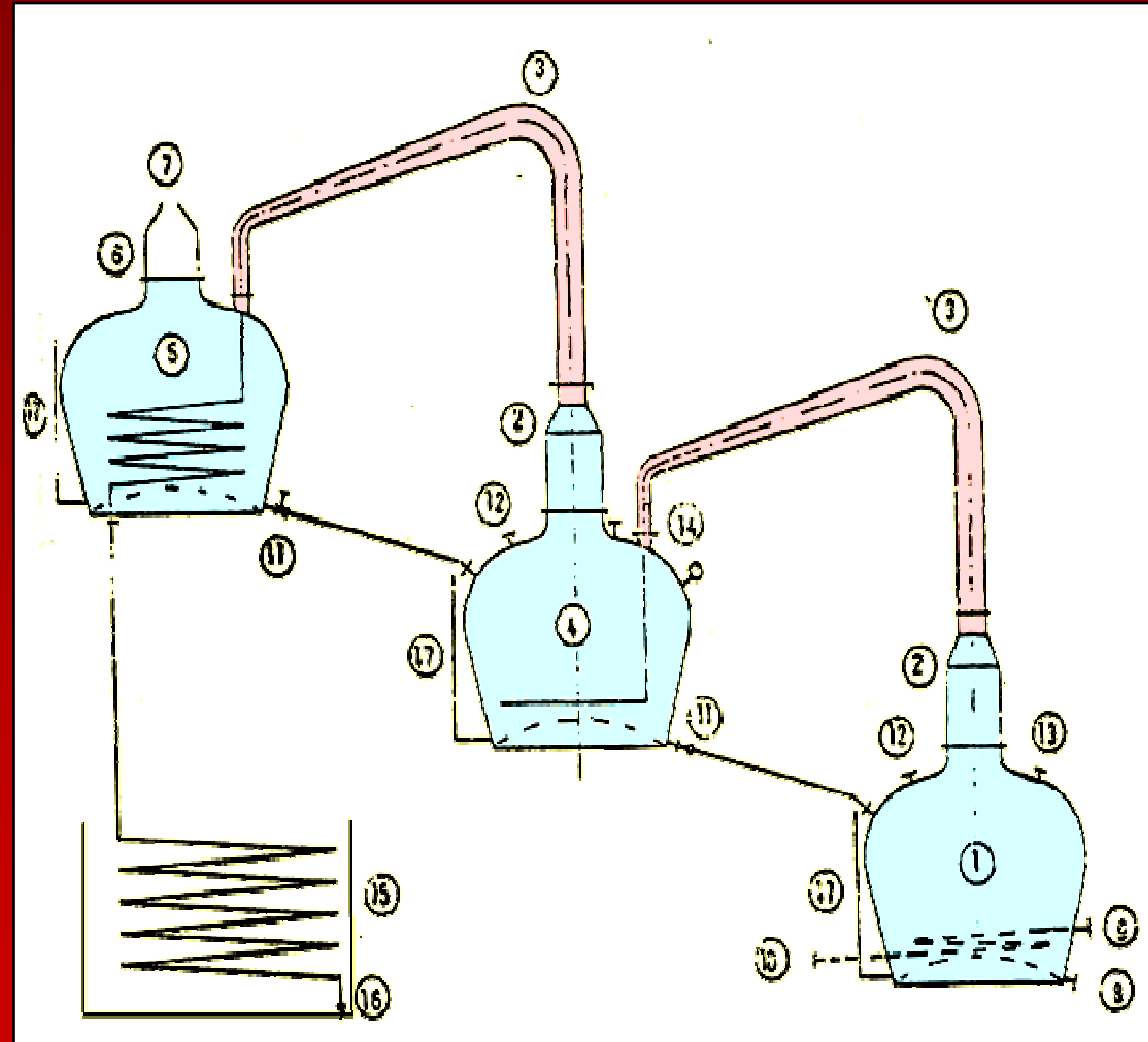
#### a1) Alambique simples

1. Cucurbita ou Caldeira
2. Capitel, Domo ou Elmo
3. Alonga ou Tubo de Condensação
4. Resfriador
5. Tubulação de vapor
6. Entrada de vinho
7. Descarga de vinhaça
8. Válvula igualadora das pressões
9. Canalização de destilados
11. Ladrão
12. Caixa receptora



## a2) Alambique “3 corpos”

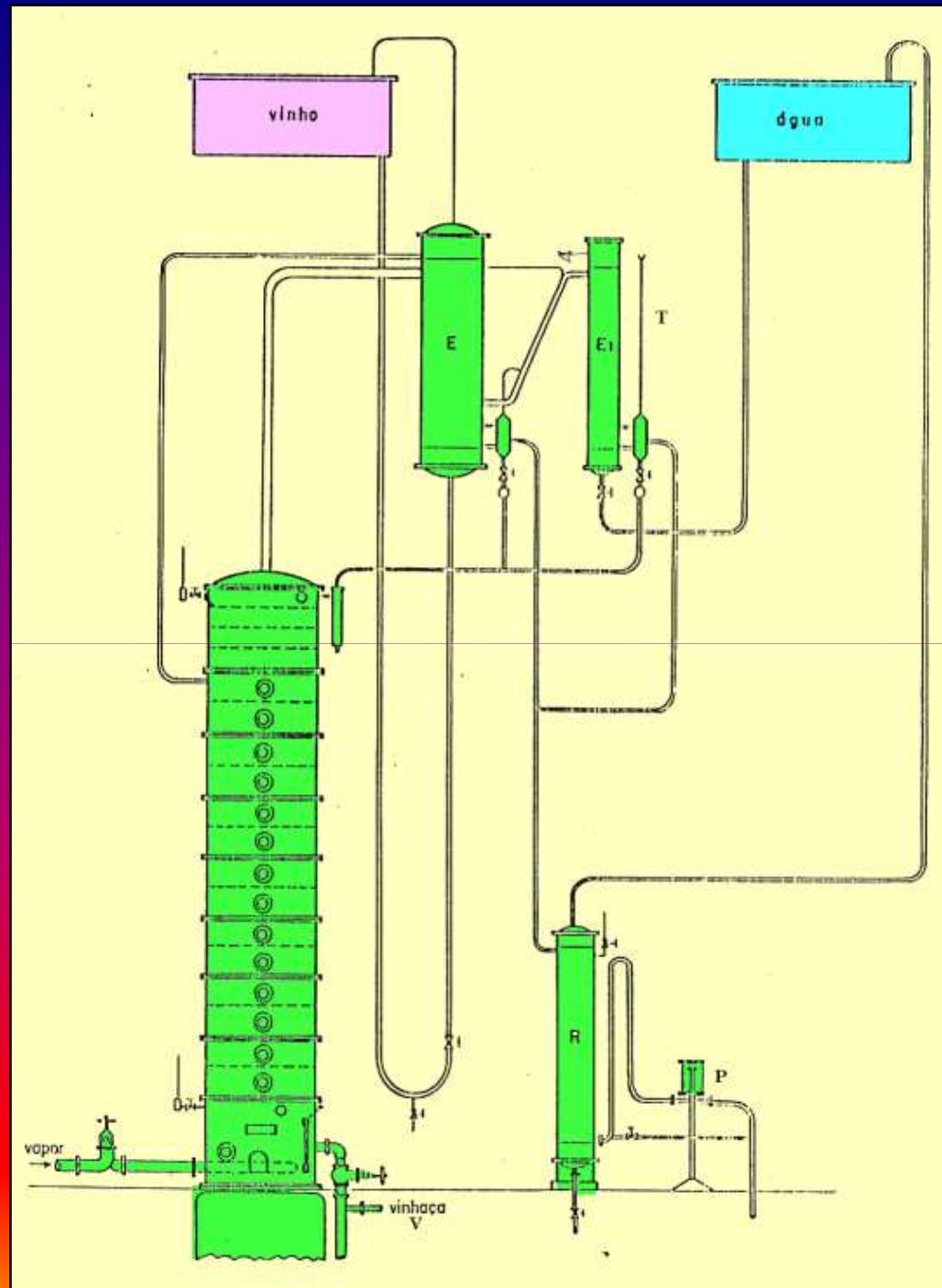
1. Caldeira de esgotamento
2. Capitel, Domo ou Elmo
3. Alonga ou Tubo de Condensação
4. Caldeira de destilação
5. Aquecedor de vinho
6. Câmara de refrigeração
7. Alimentação de vinho
8. Esgotamento de vinhaça
9. Entrada de vapor
10. Purgador
11. Registro de comunicação
12. Válvula de segurança
13. Válvula igualadora das pressões
14. Termômetro
15. Condensador ou resfriador
16. Tubulação de destilados
17. Nível de corpos

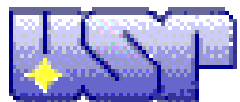


## b2) funcionamento

A - Coluna de destilação  
E - Aquecedor de vinho  
E1 - Condensador auxiliar  
R - Resfriadeira  
T - Trombeta  
P - Proveta  
V - Vinhaça

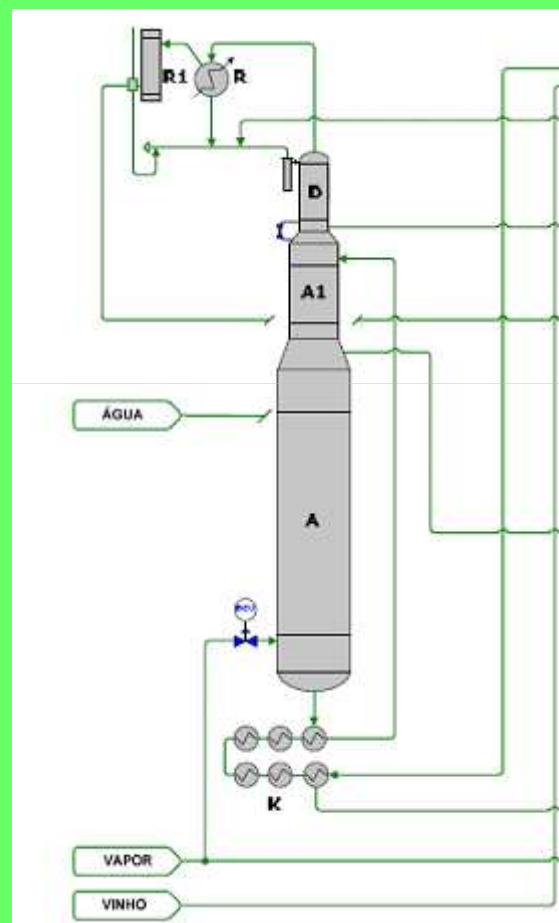
Coluna de  
baixo grau  
(60% Vol.)





## (b) Destilação fracionada

### b1) Conjunto de destilação



## (b) Destilação Sistemática

### b1) Conjunto de destilação

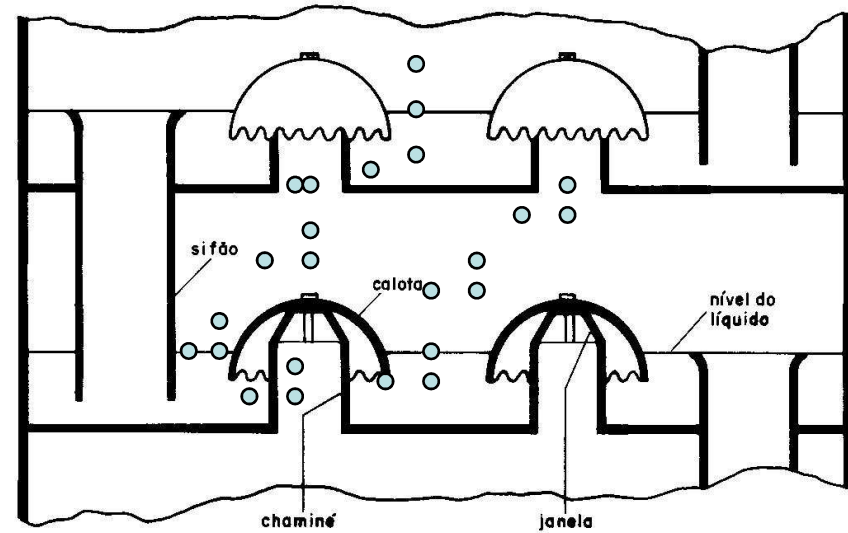
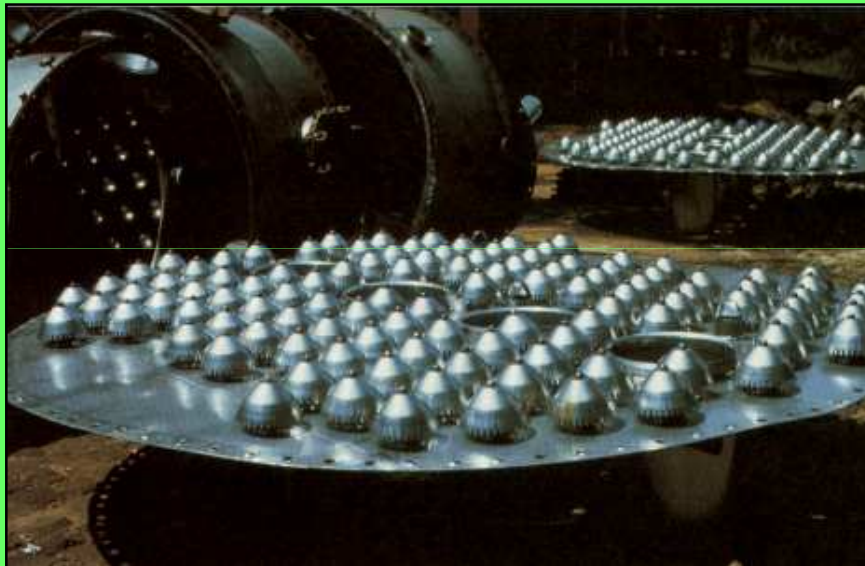


Figura – Esquema de uma bandeja de destilação calotada

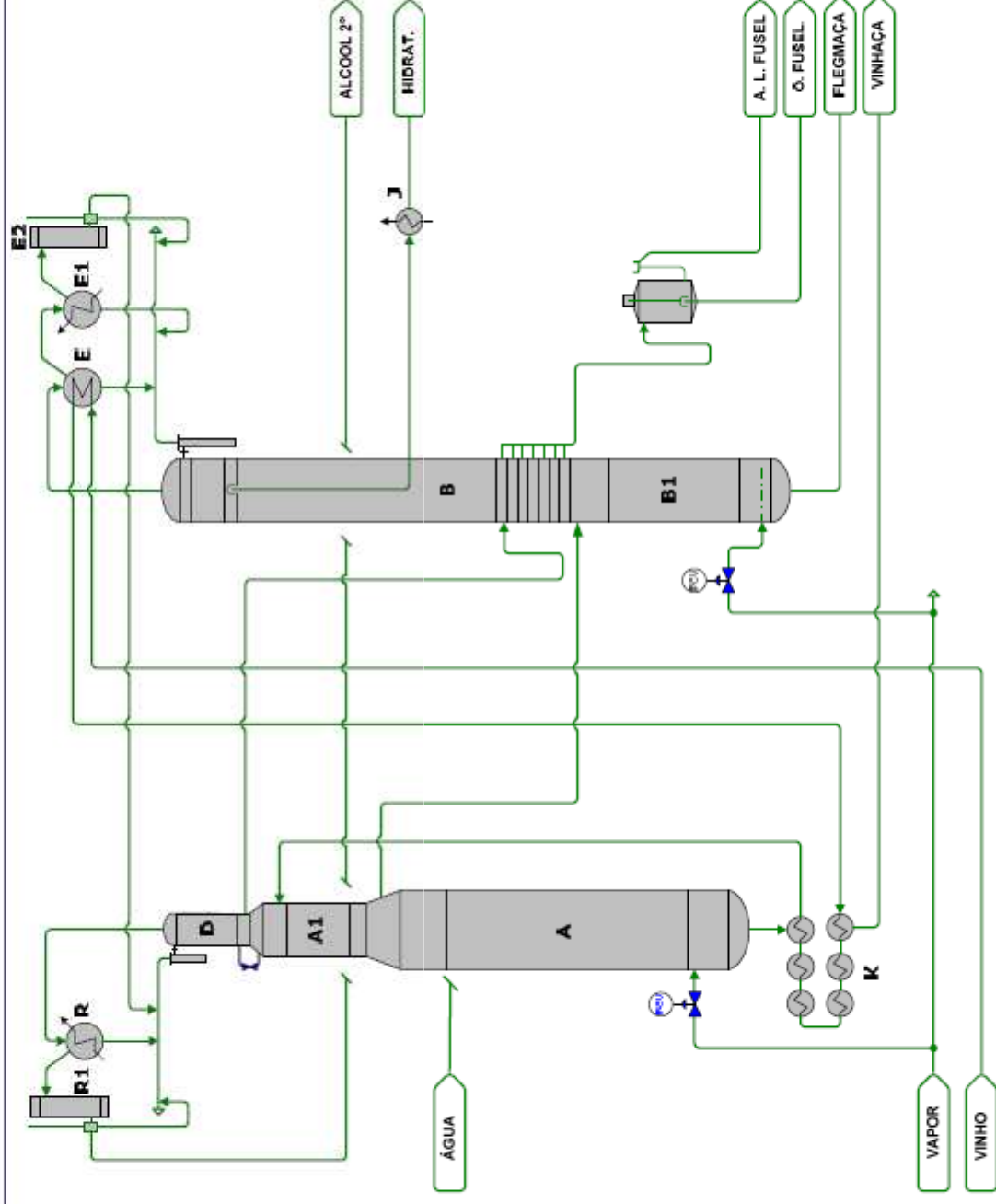
| LÍQUIDOS            |         |                            |                            | VAPORES             |         |
|---------------------|---------|----------------------------|----------------------------|---------------------|---------|
| Álcool em Peso<br>d | Grau GL | Temperatura de<br>Ebulição | Peso Específico<br>a 15° C | Álcool em Peso<br>d | Grau GL |
| 0,001               | 0,0012  | —                          | —                          | —                   | —       |
| 0,01                | 0,0125  | —                          | —                          | 0,11                | 0,1375  |
| 0,05                | 0,0625  | —                          | —                          | 0,55                | 0,69    |
| 0,10                | 0,125   | —                          | —                          | 1,1                 | 1,375   |
| 0,40                | 0,5     | 99,48                      | 0,9992                     | 4,52                | 5,65    |
| 0,50                | 0,625   | 99,36                      | 0,999                      | 5,7                 | 7,1     |
| 1                   | 1,25    | 98,78                      | 0,998                      | 10,5                | 13      |
| 1,5                 | 1,875   | 98,2                       | 0,9972                     | 14,75               | 18,16   |
| 2                   | 2,5     | 97,78                      | 0,9963                     | 18,5                | 22,65   |
| 2,5                 | 3,125   | 97,35                      | 0,9954                     | 22,5                | 27,43   |
| 3                   | 3,75    | 96,88                      | 0,9946                     | 26,3                | 31,88   |
| 3,5                 | 4,375   | 96,4                       | 0,9937                     | 28,5                | 34,43   |
| 4                   | 5       | 95,8                       | 0,9928                     | 31,2                | 37,53   |
| 4,5                 | 5,625   | 95,4                       | 0,9921                     | 33,5                | 40,12   |
| 5                   | 6,25    | 95                         | 0,9913                     | 36                  | 42,91   |
| 5,5                 | 6,9     | 94,63                      | 0,9905                     | 38                  | 45,11   |
| 6                   | 7,49    | 94,16                      | 0,9897                     | 39,8                | 47,08   |
| 6,5                 | 8,1     | 93,66                      | 0,989                      | 41,5                | 48,9    |
| 7                   | 8,714   | 93,3                       | 0,9883                     | 43,3                | 50,82   |
| 7,5                 | 9,325   | 92,95                      | 0,9875                     | 45                  | 52,62   |

| LÍQUIDOS            |         |                            |                            | VAPORES             |         |
|---------------------|---------|----------------------------|----------------------------|---------------------|---------|
| Álcool em Peso<br>d | Grau GL | Temperatura de<br>Ebulição | Peso Específico a<br>15° C | Álcool em Peso<br>d | Grau GL |
| 8                   | 9,94    | 92,6                       | 0,9867                     | 46,3                | 53,98   |
| 8,5                 | 10,56   | 92,27                      | 0,986                      | 47,8                | 55,53   |
| 9                   | 11,16   | 91,78                      | 0,9854                     | 49,2                | 56,97   |
| 9,5                 | 11,77   | 91,55                      | 0,9847                     | 50,4                | 58,19   |
| 10                  | 12,39   | 91,3                       | 0,9842                     | 51,6                | 59,4    |
| 15                  | 18,48   | 88,6                       | 0,9779                     | 60                  | 67,64   |
| 20                  | 24,46   | 87                         | 0,9717                     | 65,5                | 72,82   |
| 25                  | 30,36   | 85,7                       | 0,9653                     | 69                  | 75,95   |
| 30                  | 36,16   | 84,7                       | 0,9579                     | 71,2                | 77,91   |
| 35                  | 41,8    | 83,85                      | 0,9494                     | 72,8                | 79,31   |
| 40                  | 47,29   | 83,1                       | 0,9399                     | 74                  | 80,35   |
| 45                  | 52,62   | 82,55                      | 0,9297                     | 75,4                | 81,55   |
| 50                  | 57,78   | 81,9                       | 0,019                      | 76,7                | 82,67   |
| 55                  | 62,8    | 81,4                       | 0,9078                     | 77,8                | 83,59   |
| 60                  | 67,64   | 81,05                      | 0,8965                     | 78,9                | 84,5    |
| 65                  | 72,32   | 80,6                       | 0,8849                     | 80                  | 85,41   |
| 70                  | 76,85   | 80,2                       | 0,873                      | 81,7                | 86,79   |
| 75                  | 81,21   | 79,75                      | 0,8611                     | 83,5                | 88,24   |
| 80                  | 85,41   | 79,5                       | 0,8489                     | 85,5                | 89,8    |

| LÍQUIDOS            |         |                            |                            | VAPORES             |         |
|---------------------|---------|----------------------------|----------------------------|---------------------|---------|
| Álcool em Peso<br>d | Grau GL | Temperatura de<br>Ebulição | Peso Específico<br>a 15° C | Álcool em Peso<br>d | Grau GL |
| 81                  | 86,21   | 79,4                       | 0,8467                     | 85,95               | 90,15   |
| 82                  | 87,04   | 79,3                       | 0,844                      | 96,5                | 90,57   |
| 83                  | 87,85   | 79,18                      | 0,8415                     | 87,1                | 91,04   |
| 84                  | 88,63   | 79,15                      | 0,8390                     | 87,5                | 91,33   |
| 85                  | 89,41   | 79,12                      | 0,8365                     | 88                  | 91,71   |
| 86                  | 90,18   | 79,08                      | 0,834                      | 88,6                | 92,17   |
| 87                  | 90,95   | 79,03                      | 0,8314                     | 89,2                | 92,62   |
| 88                  | 91,71   | 78,98                      | 0,8288                     | 89,8                | 93,07   |
| 89                  | 92,47   | 78,93                      | 0,8261                     | 90,5                | 93,6    |
| 90                  | 93,25   | 78,88                      | 0,8234                     | 91,2                | 94,09   |
| 91                  | 93,94   | 78,83                      | 0,8208                     | 91,9                | 94,45   |
| 92                  | 94,67   | 78,78                      | 0,8181                     | 92,6                | 95,1    |
| 93                  | 95,38   | 78,73                      | 0,8153                     | 93,4                | 95,66   |
| 94                  | 96,08   | 78,68                      | 0,8124                     | 94,2                | 96,22   |
| 95                  | 96,77   | 78,63                      | 0,8096                     | 95                  | 96,77   |
| 96                  | 97,44   | 78,58                      | 0,8067                     | 96                  | 97,44   |
| 97                  | 98,1    | 78,53                      | 0,8037                     | 97                  | 98,1    |
| 98                  | 98,75   | 78,48                      | 0,8006                     | 98                  | 98,75   |
| 99                  | 99,38   | 78,43                      | 0,797                      | 99                  | 99,38   |
| 100                 | 100     | 78,35                      | 0,794                      | 100                 | 100,00  |

# ÁLCOOLHIDRATADO

## em Sistema Completo $ABB_1 + A_1 D$





**Trocador K**



**Usina Bom Retiro**

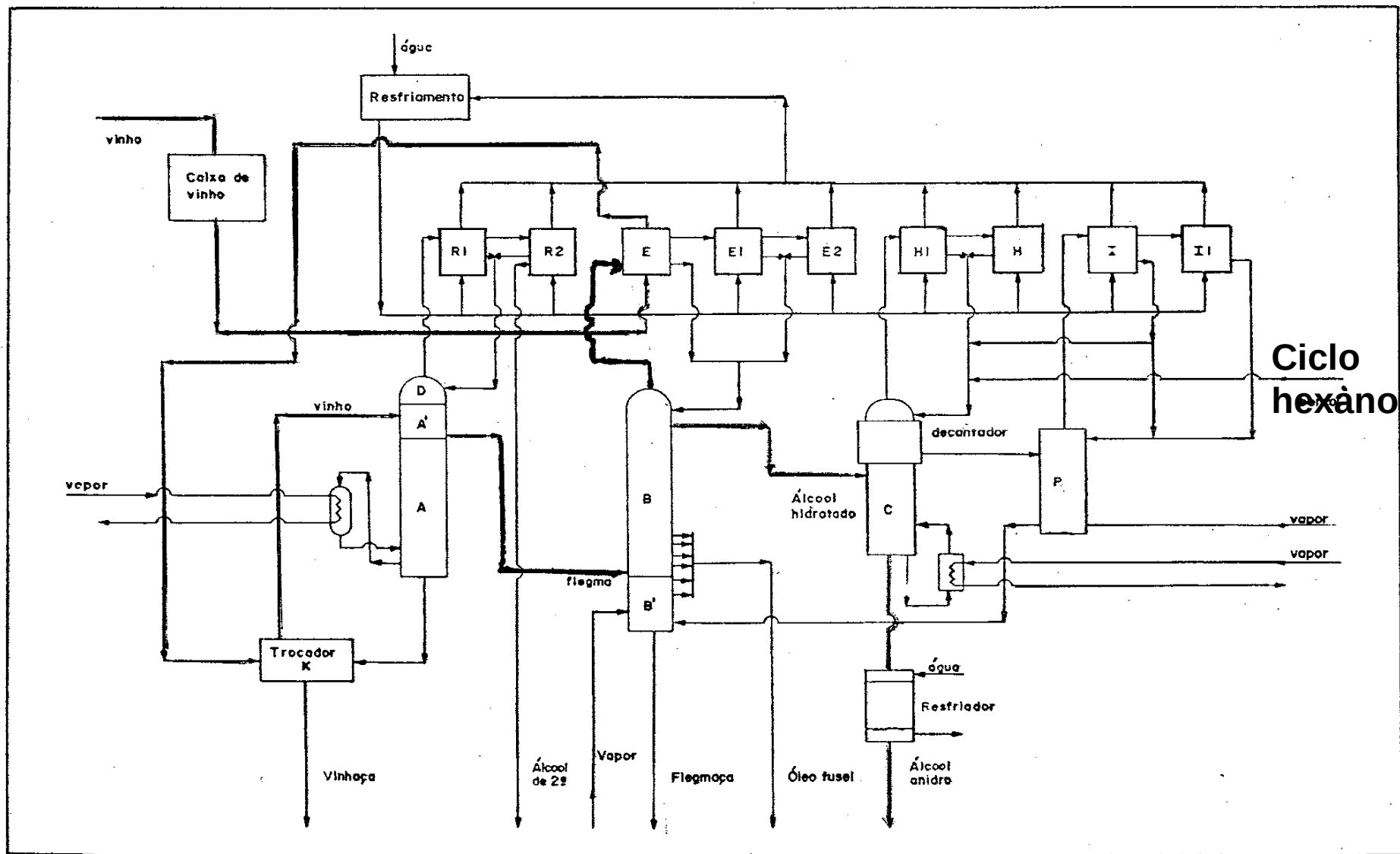


FIGURA 3.7 - Esquema geral de uma destilaria convencional

# DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOL

## AZEOTRÓPICA

### FENÔMENO AZEOTROPISMO

- ✓ Se produz em certos casos de destilação fracionada de uma mistura de dois ou mais líquidos
- ✓ PE da mistura  $<$  PE de qualquer dos componentes
- ✓ Impossível a completa separação destes por destilação

# **DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOL**

## **1 – AZEOTRÓPICA VIA CICLO HEXANO**

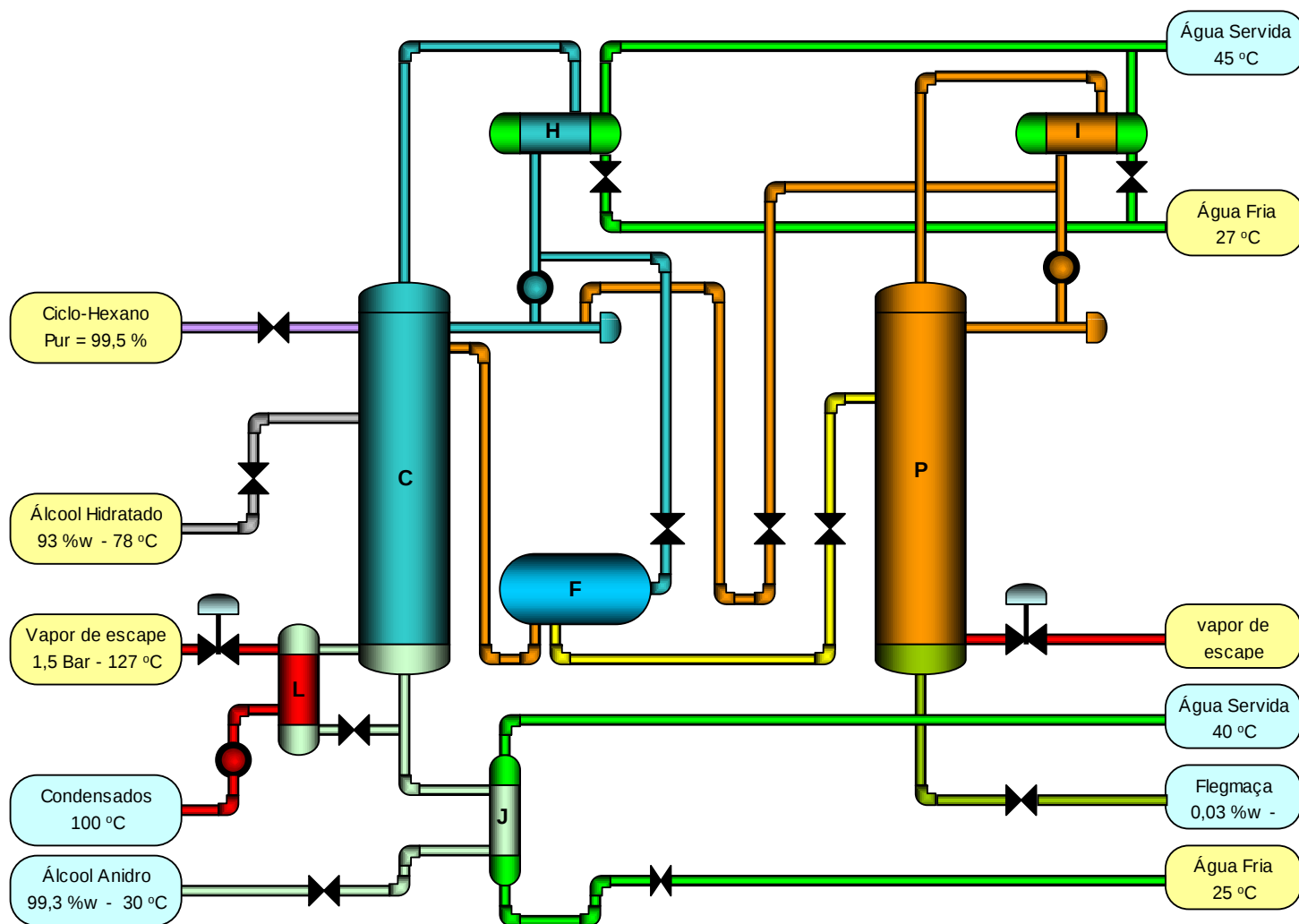
### **ESPECIFICAÇÃO DO CICLO-HEXANO GRAU COMERCIAL**

|                             |                        |
|-----------------------------|------------------------|
| <b>Ciclo-hexano</b>         | <b>mín 99,5%</b>       |
| <b>Faixa de destilação</b>  | <b>80,5 ± 2°C</b>      |
| <b>Densidade 20/4 °C</b>    | <b>0,7750 - 0,7850</b> |
| <b>Material não volátil</b> | <b>50mg /Kg máx.</b>   |
| <b>Enxofre</b>              | <b>0,1 mg/Kg máx</b>   |
| <b>Naftênicos totais</b>    | <b>1000 ppm máx</b>    |
| <b>Aromáticos totais</b>    | <b>1000 ppm máx</b>    |
| <b>Estável em CNTP</b>      |                        |

# DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOL

## AZEOTRÓPICA

### PRODUÇÃO DE ÁLCOOL ANIDRO – CICLOHEXANO



# **DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOL**

## **EXTRATIVA**

## **CONSIDERAÇÕES GERAIS**

**Separação de uma mistura binária, agregando um terceiro componente (extrator ou solvente).**

**O agente extrator tem a capacidade de romper o azeótropo original sem formar outro ponto azeotrópico, permitindo a separação dos componentes originais.**

**Processo de vaporização parcial na presença de um agente de separação não volátil com ponto de ebulição elevado.**

# **DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOL**

**EXTRATIVA**

## **PRODUÇÃO DE ÁLCOOL ANIDRO**

**Monoetilenoglicol - MEG**

**Fornecido pela Oxiteno**

**Função de quebrar a molécula do azeótropo  
Etanol – água**

**Higroscopicidade**

**Atrai água na fase líquida e libera álcool para  
a fase vapor**

# **DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOL**

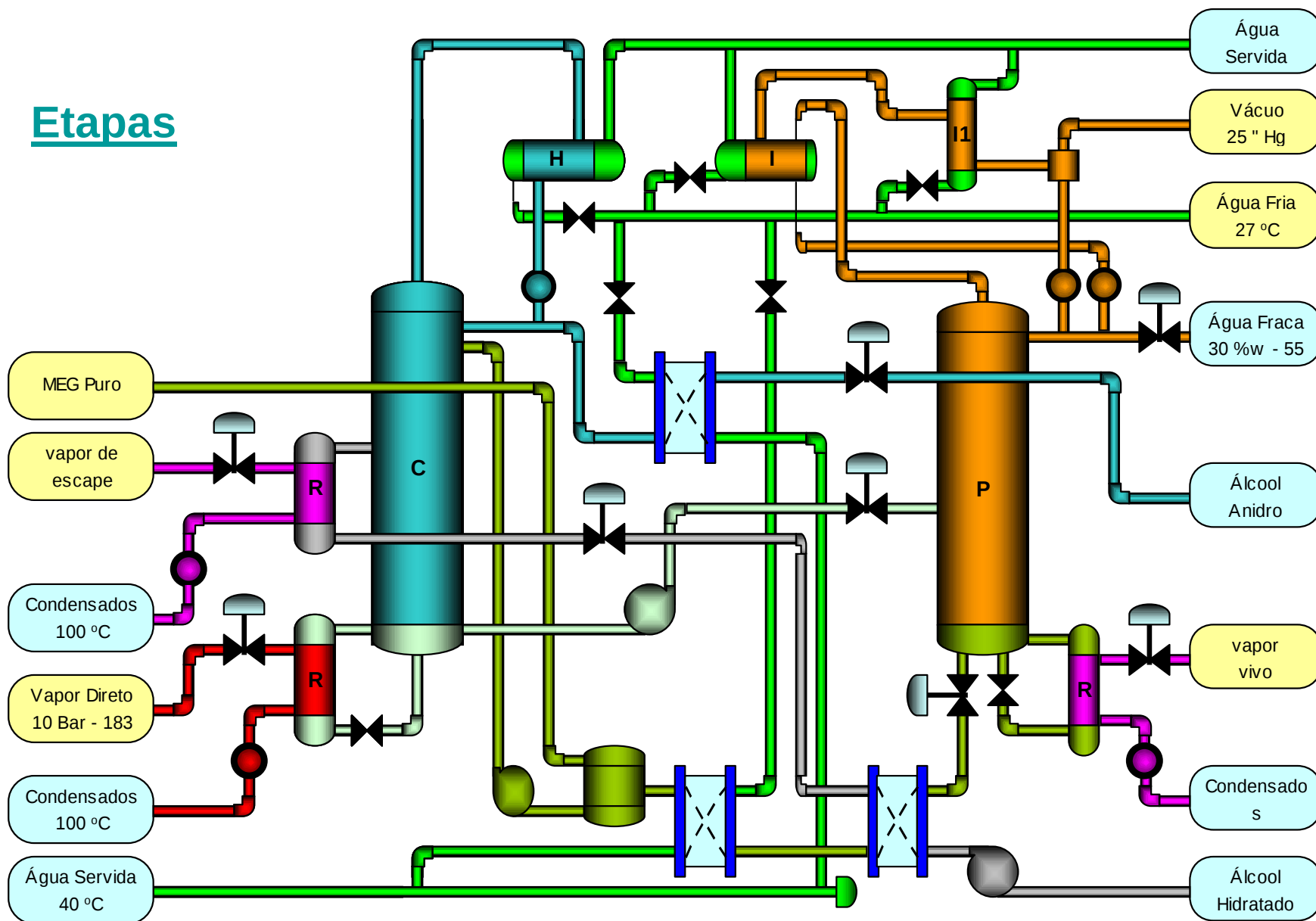
## **EXTRATIVA**

## **PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO MEG**

|                                      |                   |
|--------------------------------------|-------------------|
| <b>Aparência a 20/20 °C</b>          | <b>líquido</b>    |
| <b>Densidade 20/20 °C</b>            | <b>1,1151</b>     |
| <b>Ponto de ebulição</b>             | <b>196 °C</b>     |
| <b>Peso Molecular</b>                | <b>62,07</b>      |
| <b>Pressão de vapor à 20 °C</b>      | <b>0,06 mm Hg</b> |
| <b>Ponto de Fulgor (vaso aberto)</b> | <b>115,5 °C</b>   |
| <b>Ponto de Congelamento</b>         | <b>-15,6 °C</b>   |
| <b>Viscosidade</b>                   | <b>18,37 cP</b>   |

# DESTILAÇÃO EXTRATIVA – VIA MONOETILENO GLICOL

## Etapas



DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOL

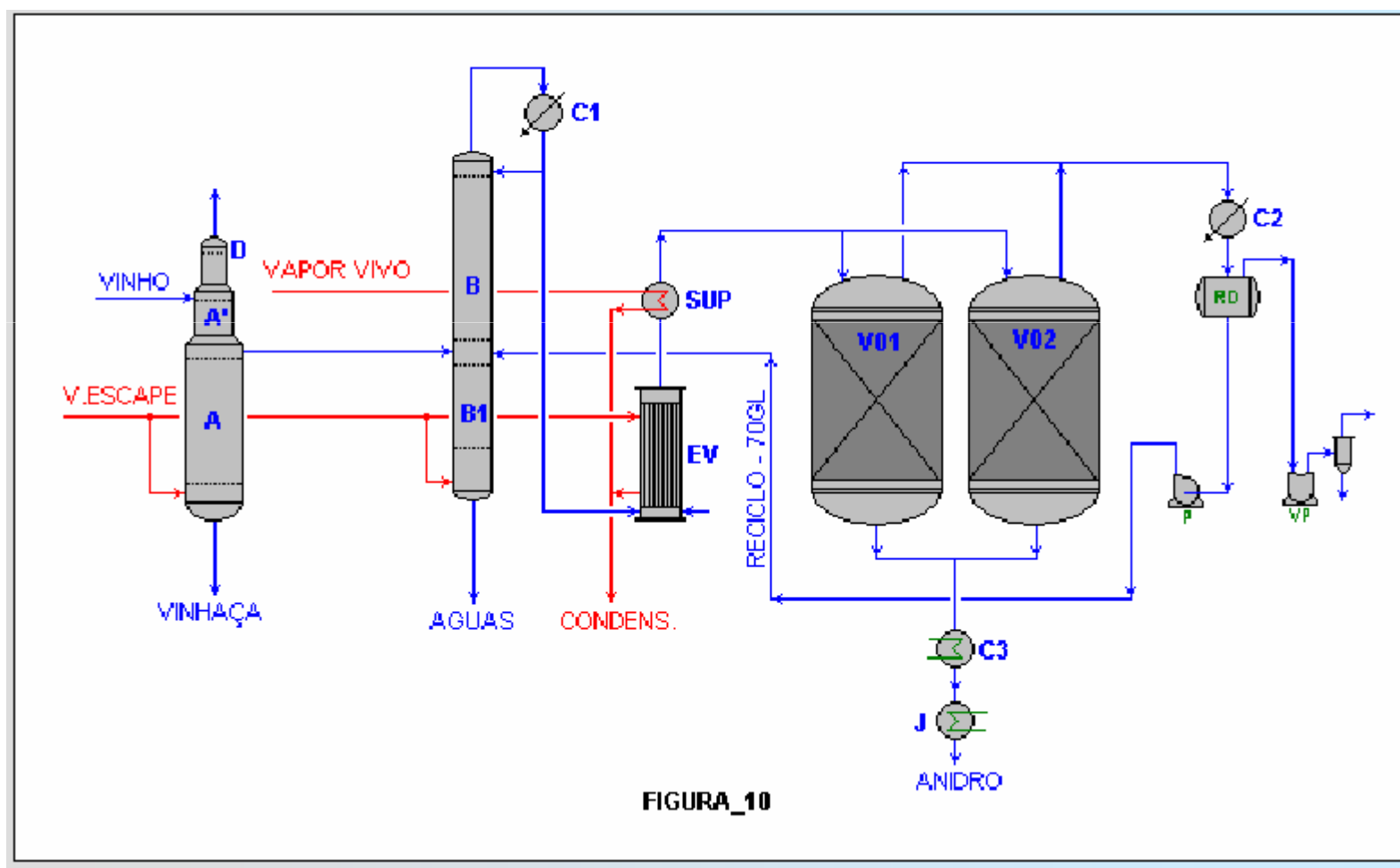
# Peneira Molecular

**SIDPEM**

Sistema de Desidratação via  
Peneira Molecular

# DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOL

## Unidade de Desidratação via Peneira Molecular



# Principais Adsorventes

## Silica Gel

maior capacidade adsorvitiva = 40 kg H<sub>2</sub>O / 100 kg de gel.

## Alumina Ativada

média capacidade adsorvitiva.

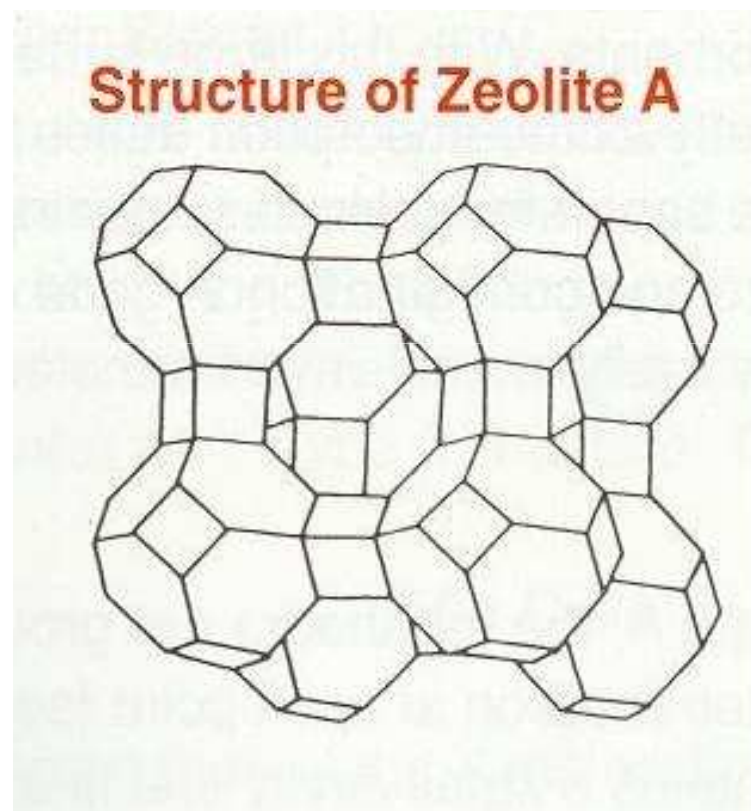
## Peneira Molecular

baixa capacidade adsorvitiva = 21 kg H<sub>2</sub>O / 100 kg de pen. mol.

mas é o mais forte dos adsorventes, pois nela agem vários mecanismos de adsorção.

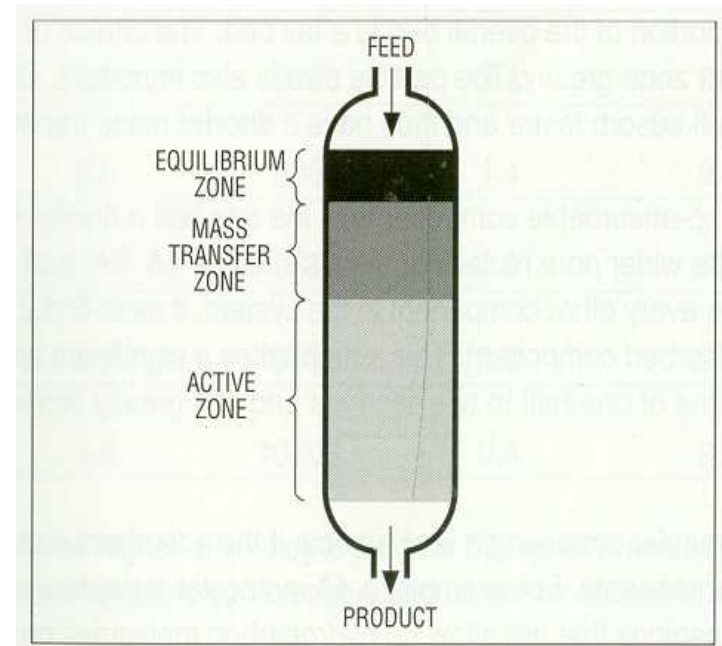
## Zeólito tipo 3A

- Poro com 3 Å de diâmetro.
- Molécula da água tem 2,8 Å de diâmetro.
- Molécula de etanol tem 4,4 Å de diâmetro.
- 1 Ångstron é igual a 0,000.000.000.1m

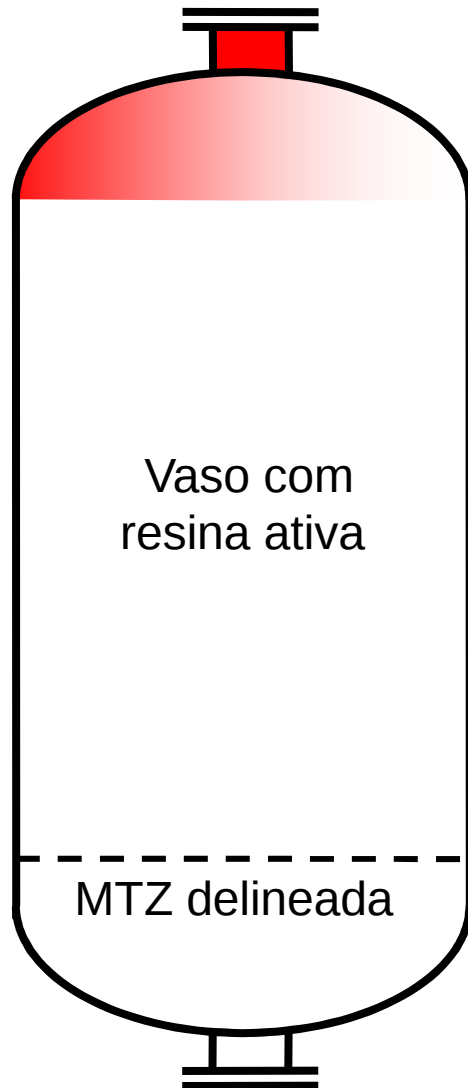


# Dinâmica de Adsorção

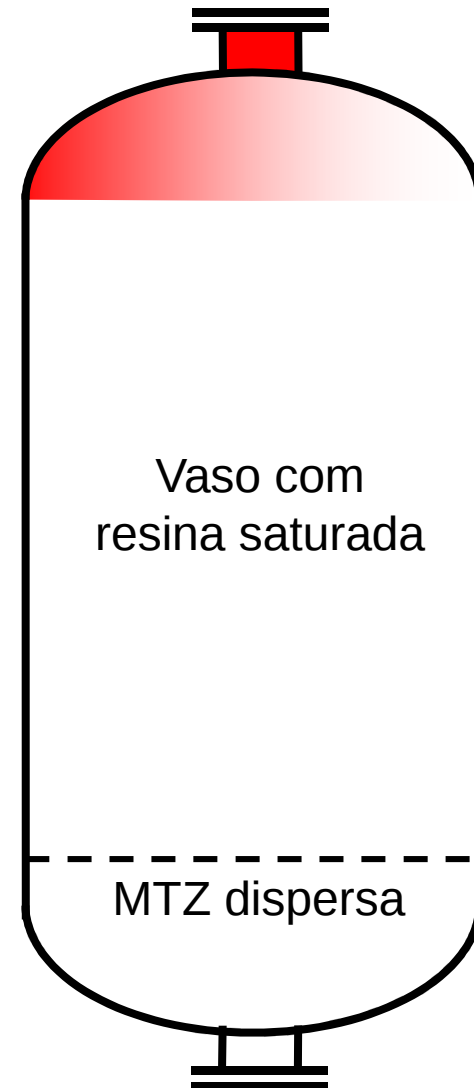
- Durante o processo de adsorção, o leito de resina se divide em três camadas.
  - zona de equilíbrio
  - zona de transferência de massa
  - zona ativa



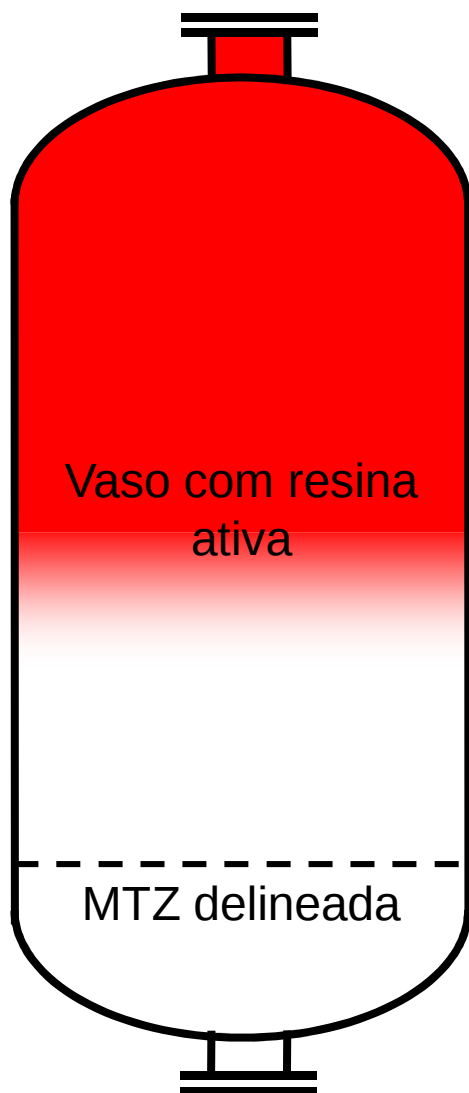
# Movimento da MTZ



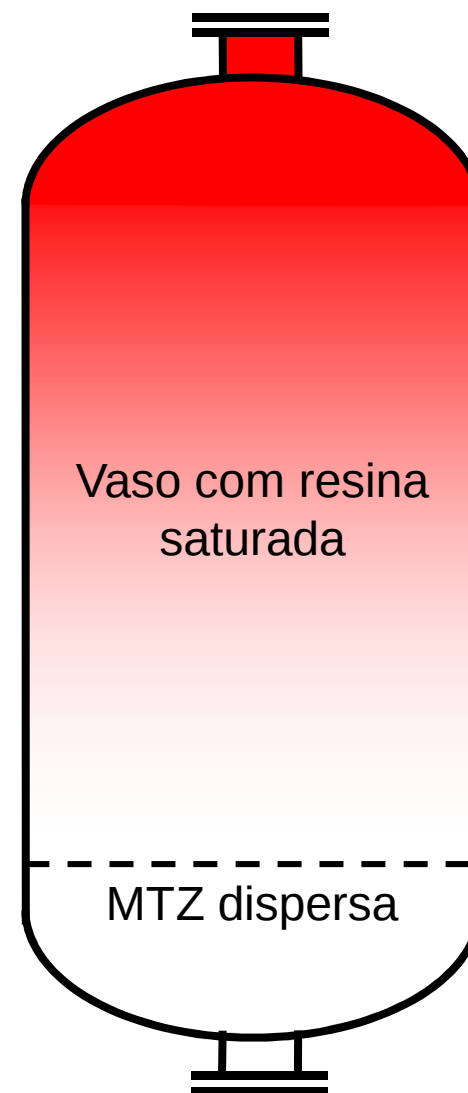
No início da  
alimentação a  
adsorção de  
água ocorre  
praticamente na  
mesma  
intensidade em  
ambos os casos.



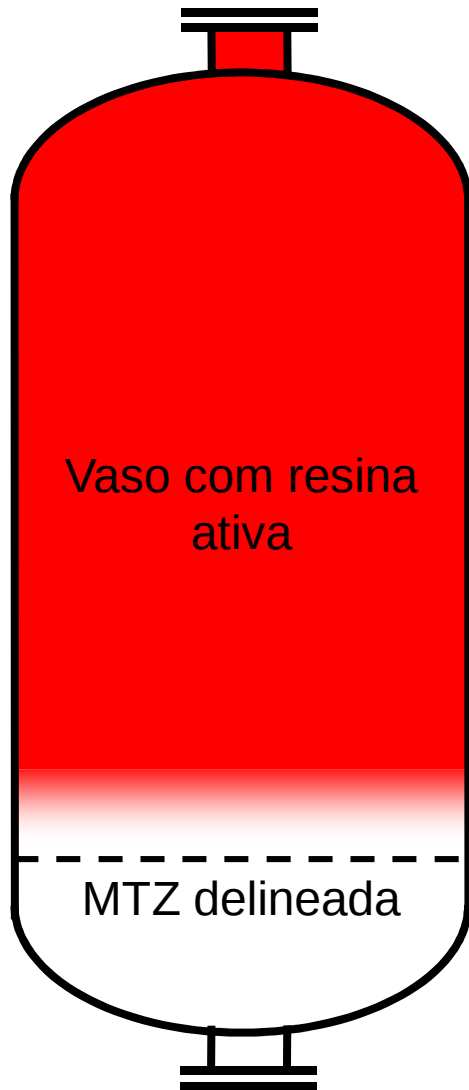
## DESIDRATAÇÃO DE ÁLCOOL



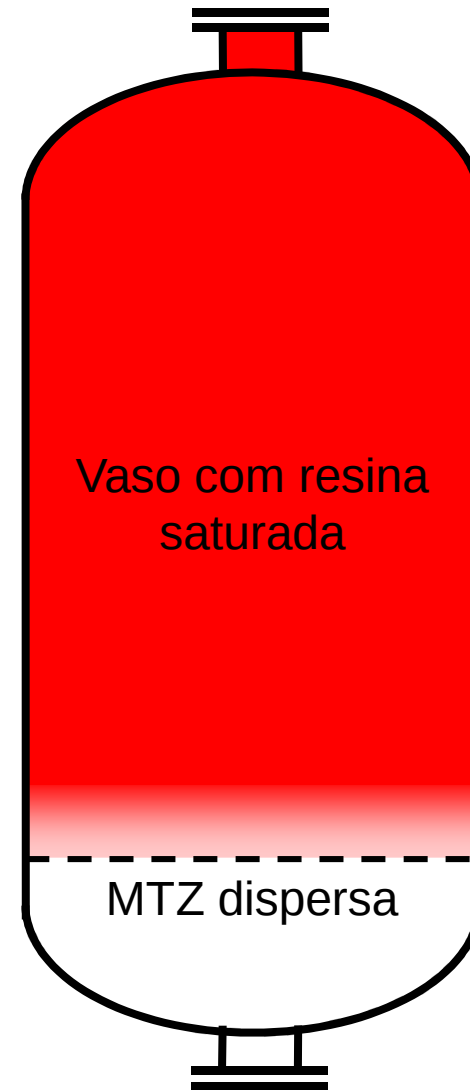
A MTZ do vaso com leito saturado praticamente toma conta de toda a Zona Ativa, e teoricamente, a resina é considerada saturada quando atinge a taxa de 5% de água retida.



# Movimento da MTZ



Para que a Zona de Equilíbrio seja a mesma, há muito a coluna com resina saturada não mais estava desidratando satisfatoriamente, portanto produzindo álcool fora da graduação .



# Vida Útil da Resina

## Vida Útil

- A vida útil da resina é de 8 safras em média.

## Como preservar a Vida Útil

- Manter histórico e registros de operação.
- Garantir uma perfeita regeneração.
- Evitar saturação prematura.
- Evitar temperaturas altas de operação.
- Evitar contaminação do leito
- Preferir ciclos longos a ciclos curtos
- Evitar ocorrência de duas fases no fluxo
- Evitar impactos no leito

# Unidade de Desidratação via Peneira Molecular



Tempo de vida média da resina de 8 safras

# Alternativa de desidratação utilizando membrana

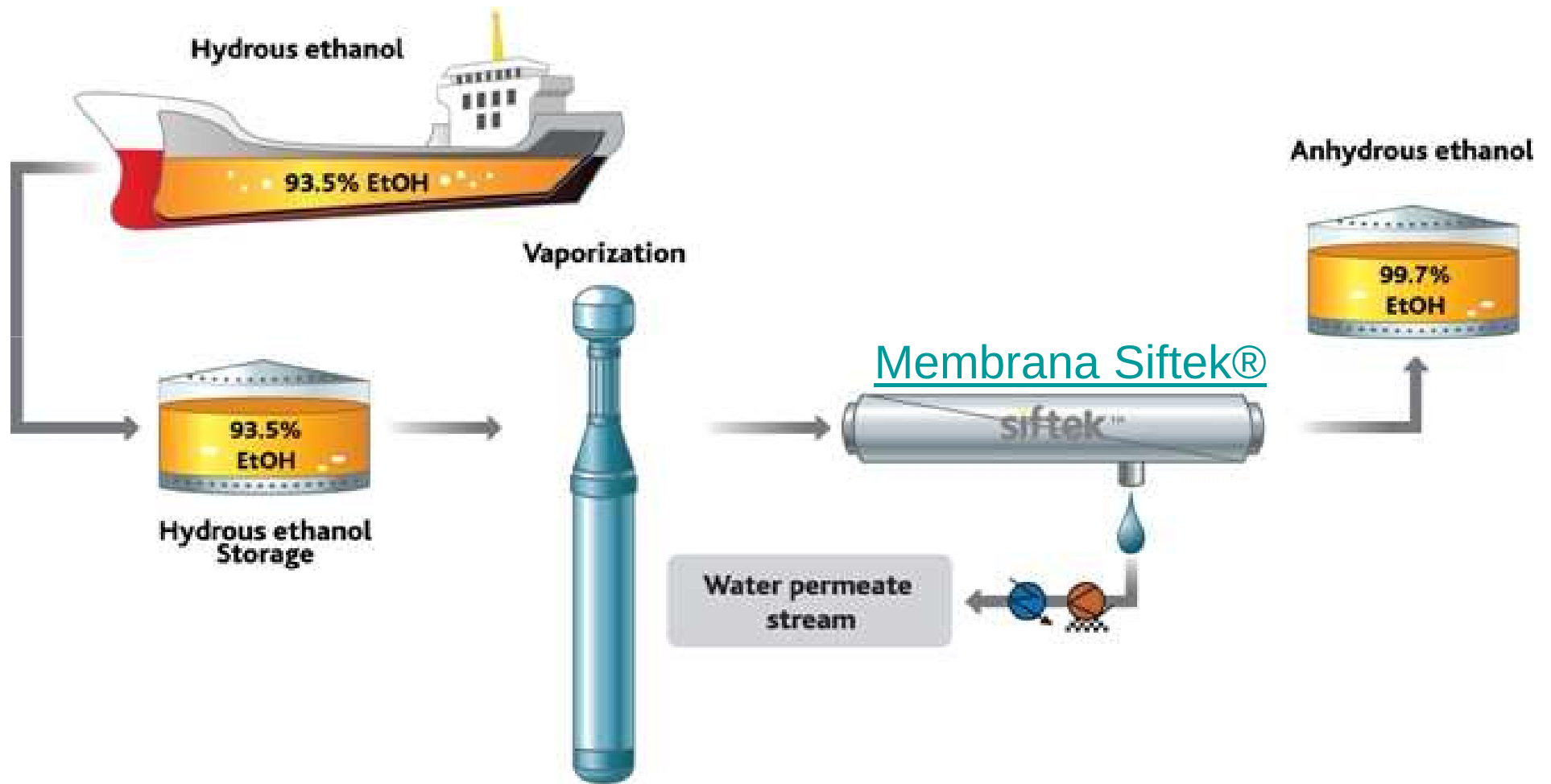
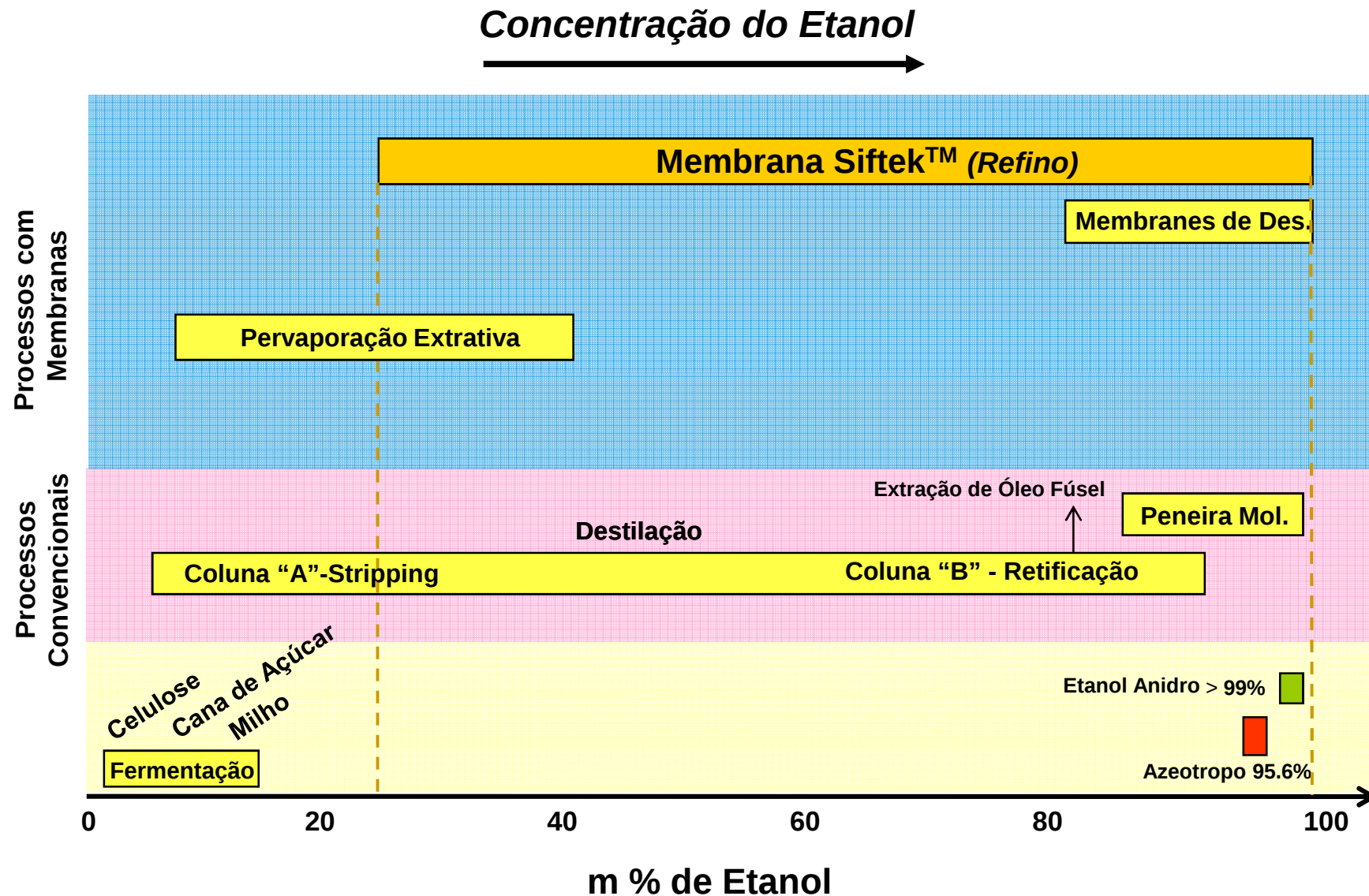


Figura 12 – Esquema demonstrando uma unidade de desidratação de álcool.

# Rotas Tecnológicas para Produção de Etanol



# Destilação, retificação e desidratação

---

- SUPRODUTOS : Óleo fúsel
- RESÍDUOS: Vinhaça

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

- ✓ O processo de destilação visa concentrar o álcool formado no processo de fermentação do mosto. Nesse processo, normalmente, parte-se de um vinho com 7 a 15 % de etanol e pode-se obter as bebidas denominadas aguardentes (38 a 54 °GL) ou obter o álcool hidratado com máximo **95,57 % (97 °GL)**, a partir do qual se produz o álcool neutro anidro;
- ✓ Para a obtenção do álcool anidro é preciso quebra a mistura azeotrópica formada quando da obtenção do álcool hidratado. Essa operação de desidratação, normalmente, é realizada com uso de ciclo hexano, monoetileno glicol ou peneira molecular e, mais recentemente tem sido proposto o uso de membrana hidrofílica.

## 12 Referências

- COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Centro de Tecnologia. Divisão industrial. **Destilação**. São Paulo, COPERSUCAR, 1987. 505p.
- USHIMA, A.K., RIBEIRO, A.M.M., SOUZA, M.E.P., SANTOS N.F. **Conservação de energia na indústria do açúcar e do álcool**. São Paulo, IPT, 1990. 796p.
- Perry, Robert H., 1924-1978; Green, Don W.; Perry's chemical engineers' handbook . 8th ed. / prepared by a staff of specialists under the editorial direction of editor-in-chief, Don W. Green, late editor, Robert H. Perry. New York : McGraw-Hill, 2008. 1108p.
- <http://www.simtec.com.br/simposio/index.htm>. Acesso em 22-09-2009.