

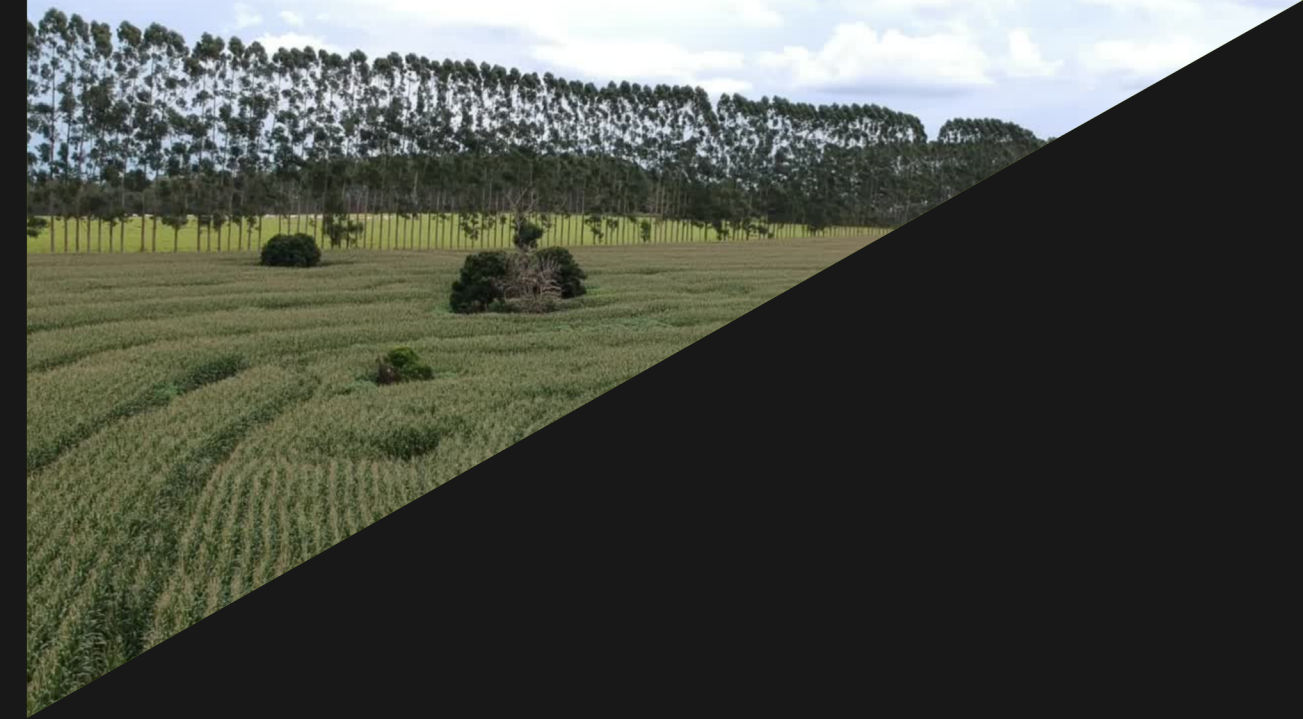
Produção de Etanol

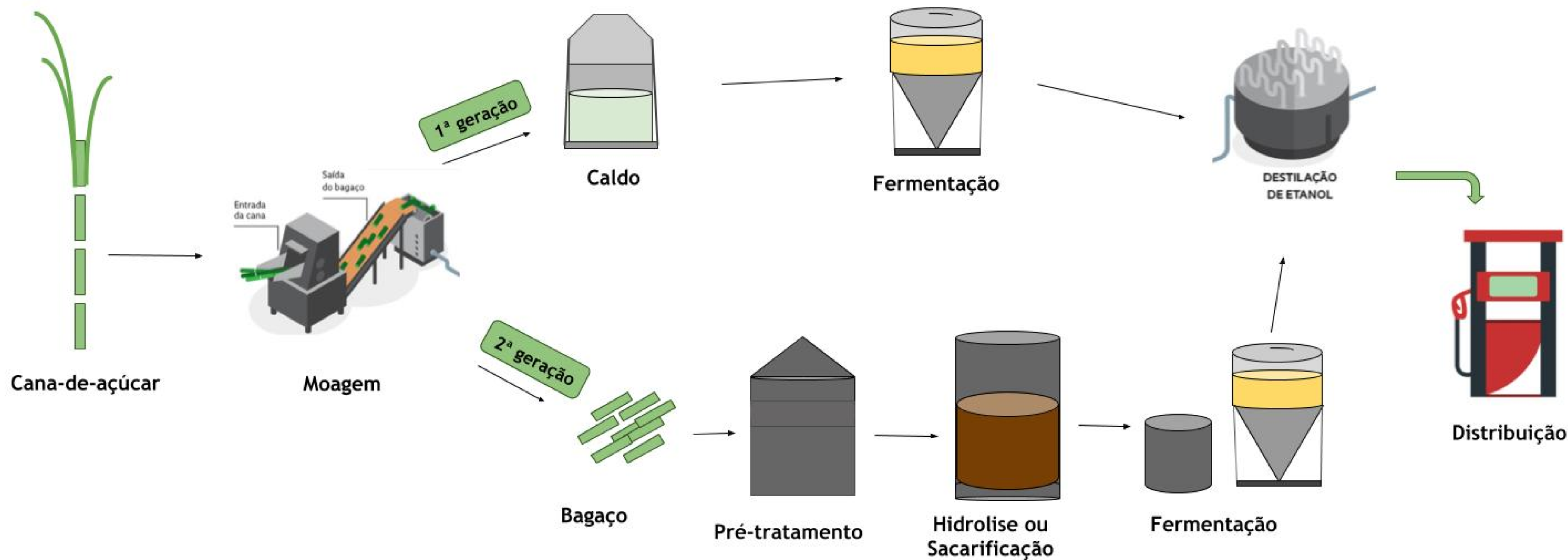
Principais conceitos e tecnologias de produção.



Tópicos

- ▶ Introdução
- ▶ Preparação da matéria-prima
- ▶ Processos de fermentação
- ▶ Destilação e Purificação



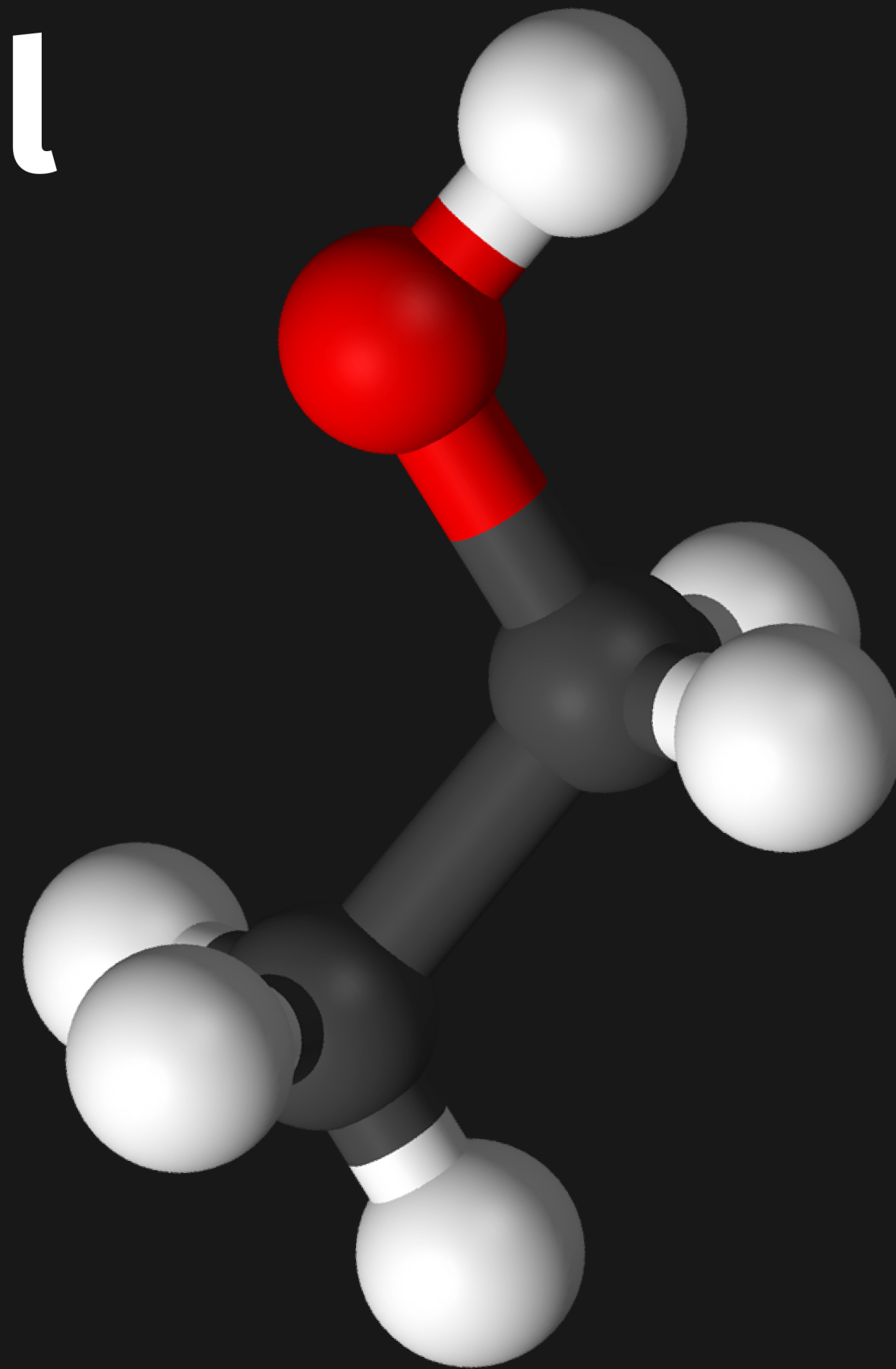


Esquema de produção de etanol 1ª e 2ª geração

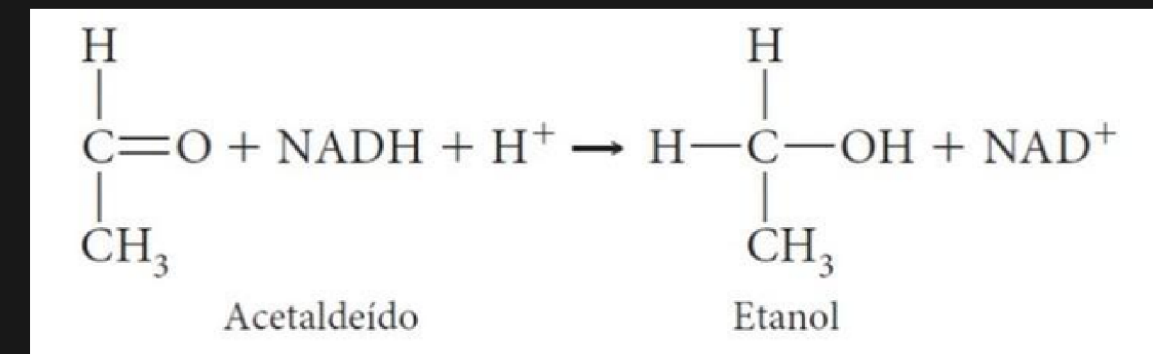
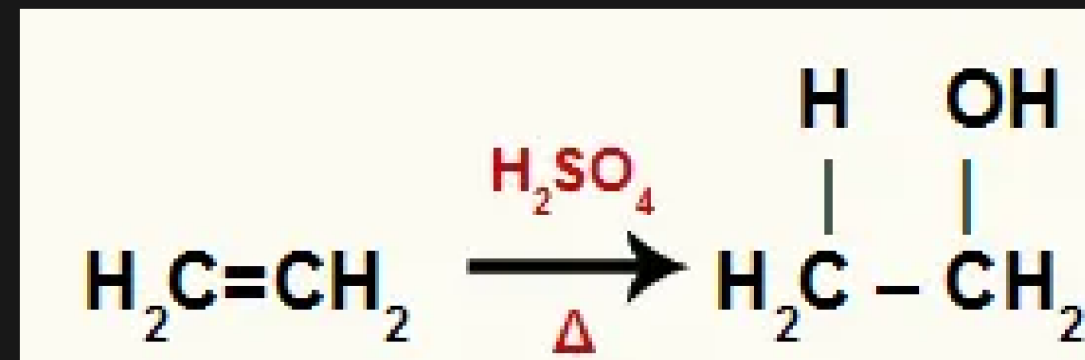
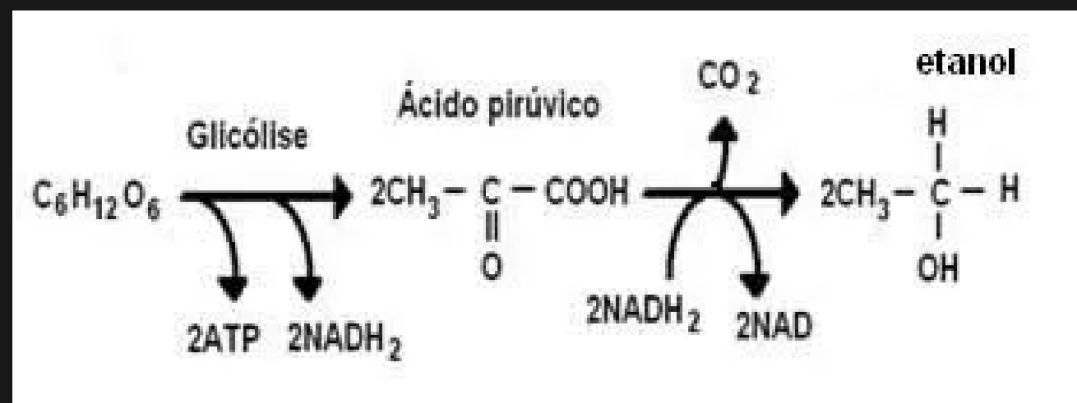


etanol

- **combustível**
- **bebidas**
- **vinagre**
- **vacinas**
- **antissépticos**
- **perfumes**
- **solvente**



Processos de produção



Fermentação

Microrganismo utilizando diferentes açúcares para formar ATP e recuperar NAD^+

Hidratação de etileno

Redução do acetaldeído

Principais desafios

disponibilidade de biomassa

biomassas utilizadas pela indústria alimentícia

sustentabilidade

a produção da vinhaça, desmatamento, consumo de água

rendimento

tentativa de chegar a 51%, o rendimento máximo, com o menor custo

separação e purificação

geralmente, destilação, um processo mais caro

A cana-de-açúcar para etanol

- História do etanol
- Aspectos econômicos
- Seleção de variedade
- Pré-tratamento



História do etanol

No Brasil

Em 1925

Foi testado pela primeira vez pela Estação Experimental de Combustíveis e Minérios (futuro Instituto Nacional de Tecnologia).

Em 1932

Usado pela Revolução Constitucional até como combustível para locomotivas e aviões.

Em 1975

Foi criado o proálcool, lançando o primeiro carro em 1979 (Fiat 147)

Na década de 1990

Já haviam alguns motores Flex, mas sem regulamentação



Em 2003

Foram lançados os primeiros carros Flex

48%

da matriz de transportes é de etanol

Toda gasolina do Brasil

Tem 27% de etanol anidro



TOTAL FLEX

VW Gol 1.6 Total Flex

Indústria do Etanol

- Foram produzidos 35,6 bilhões de litros em 2020, com 14,7 vindo de SP
- O etanol de milho, produzido no MT (75%), MS (16%) e GO (9%), atingiu 4,4 bilhões de litros em 2022 (791,4 milhões em 2018)
- O Etanol 2G teve 8 milhões de litros produzidos.

2,64 bilhões exportados em 2020

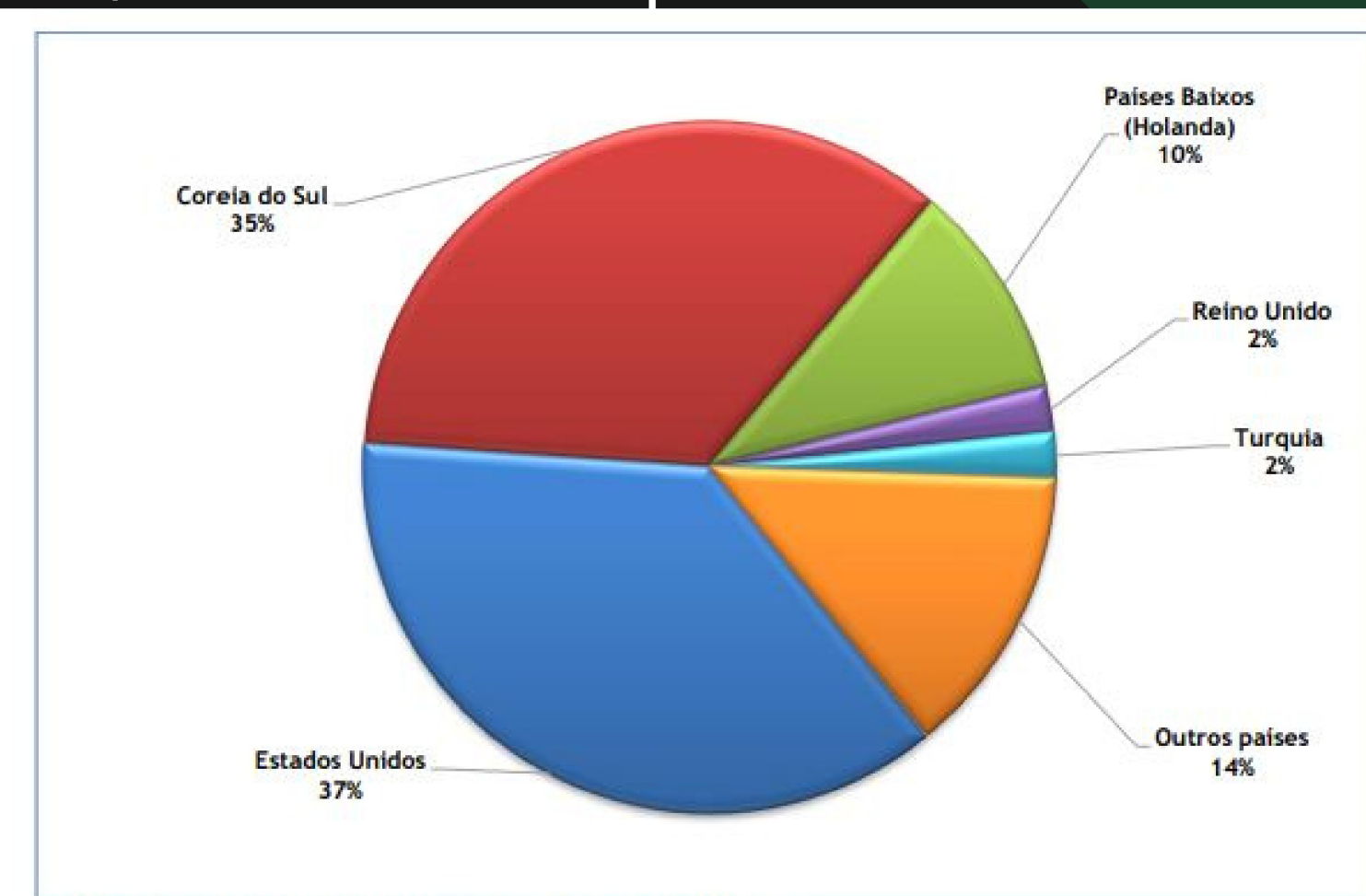


Figura 2 - Principais países importadores de etanol brasileiro, 2020.

Escolha das variedades de cana

- Existem mais de 500 variedades de cana no Brasil
- Mudanças na resposta ao clima, solo, doenças, produtividade
- 43 ton/hectare em 1961 para 74 ton/hectare em 2005 (78 atualmente)
- Principal desenvolvedor: Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro do Brasil (Ridesa)

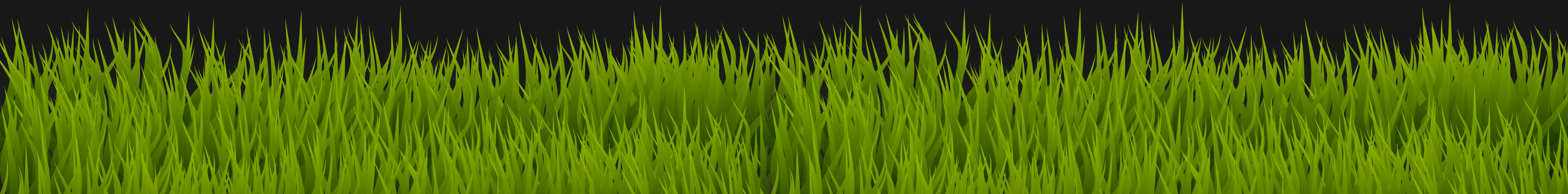


Em 1984, a NA56-79 ocupava 43% da área nacional, enquanto em 2005 nenhuma variedade atinge mais de 12%, com as 8 mais comuns somando 60%

Escolha das variedades de cana

Para produção de etanol

- Cana Flex I (maior digestibilidade da parede celular)
- Cana Flex II (maior concentração de sacarose nos tecidos vegetais)
- Embrapa criou as primeiras variedades não transgênicas do mundo
- Utilização da técnica CRISPR
- 15% de sacarose nos colmos, 200% a mais de sacarose nas folhas e 12% a mais de liberação de glicose na sacarificação



Tratamento para fermentação

Lavagem

Lavagem em uma esteira e, após picada, uso de eletroímã

Moagem

70% do material se torna melado e os outros 30%, bagaço

Eliminação de impurezas

Peneiração e decantação para formar o caldo clarificado

Esterilização

Aquecimento para eliminar microrganismos



Etanol de milho

 **Revista FAPESP**

Vietnã, Tailândia, Turquia e Nova Zelândia abrem mercado para farelo de milho do Brasil

O Brasil poderá exportar farelo de milho, conhecido tecnicamente como DDG e resultante da produção de etanol de milho, para Vietnã,...

34 min atrás

 **Globo Rural**

Projeto de primeira usina de etanol de milho em TO começa a sair do papel

Planta tem investimento inicial de R\$ 1,1 bilhão e é a primeira aposta da Czarnikow como sócia de um ativo no país.

2 semanas atrás



Processos de fermentação

- Metabolismo celular
- Condições ideais
- Processos



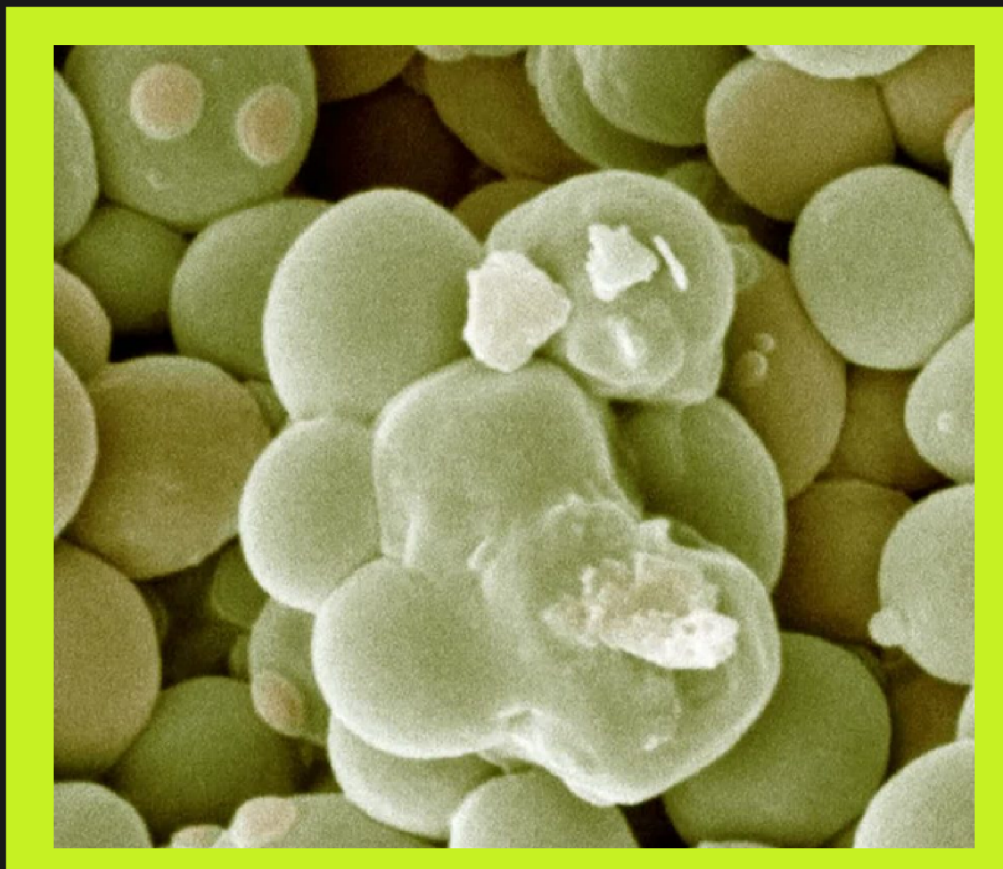


1. 0 metabolismo celular

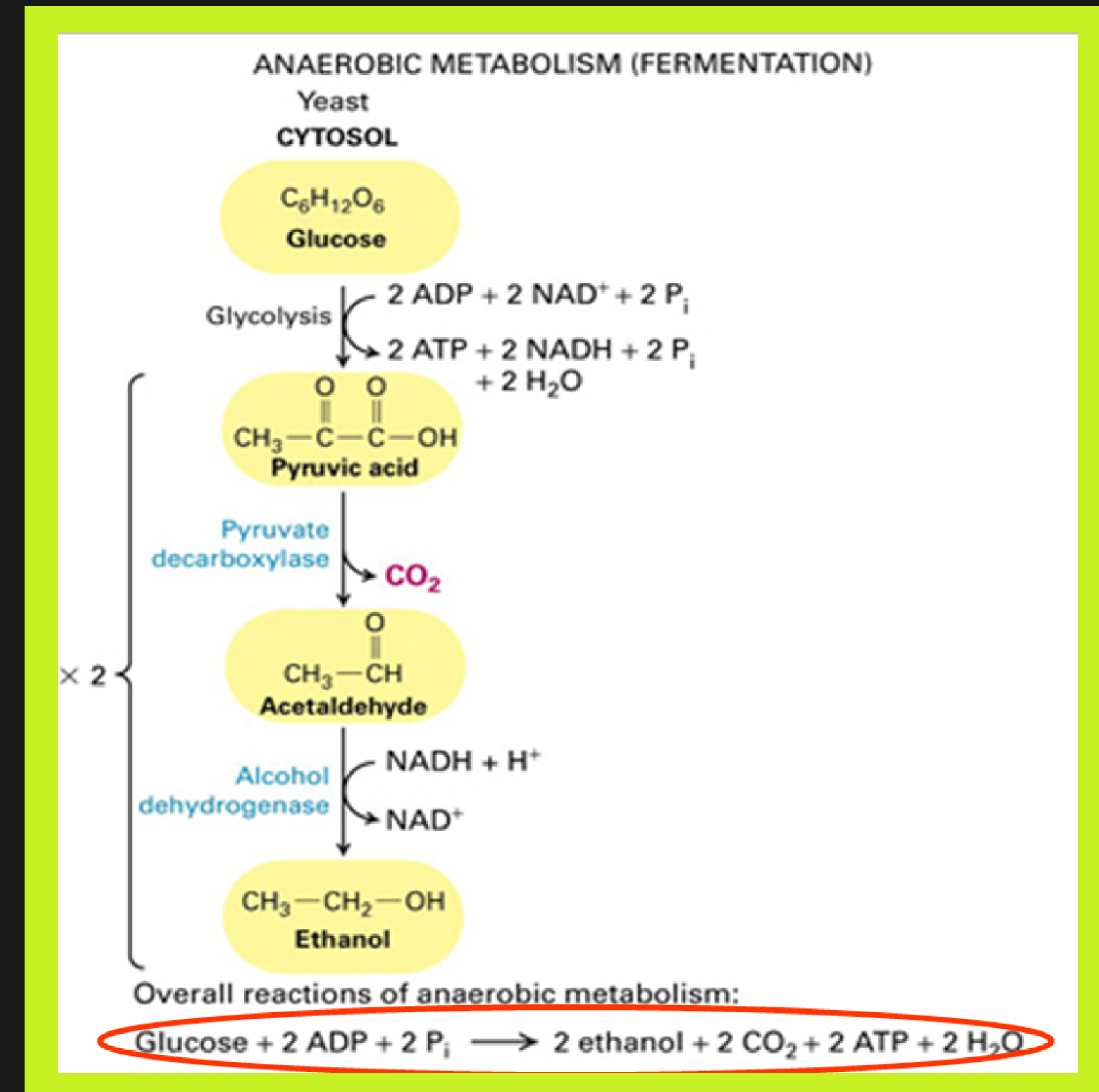
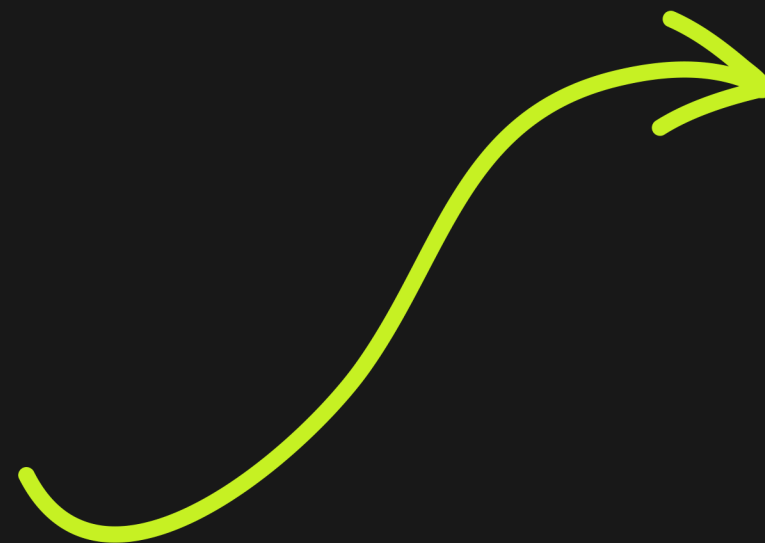
Objetivo: Transformar glicose em etanol e CO₂.

Levedura: *Saccharomyces cerevisiae*

- Aeróbio facultativo
- Em aerobiose: biomassa, CO₂ E H₂O
- Em anaerobiose: etanol e CO₂



Saccharomyces cerevisiae



Fermentação alcoólica.

Produtos Secundários

- 5% a 10% do açúcar é desviado para a produção secundária

Tabela 1.1 — Proporção dos diversos produtos da fermentação alcoólica, em g/100g de glicose metabolizada, de acordo com várias fontes e para diferentes eficiências fermentativas

Produto da fermentação	Pasteur 95%	Jackman, 1987 90—95%	Basso et al. 1996 85—92 %
Etanol	48,5	45,0—49,0	43,0—47,0
Gás carbônico	46,4	43,0—47,0	41,0—45,0
Glicerol	3,3	2,0—5,0	3,0—6,0
Ácido succínico	0,6	0,5—1,5	0,3—1,2
Ácido acético	—	0,0—1,4	0,1—0,7
Óleo fúsel	—	0,2—0,6	—
Butilenoglicol	—	0,2—0,6	—
Biomassa (massa seca)	1,2	0,7—1,7	1,0—2,0



Glicerol

Amplamente utilizado nas Indústrias farmacêuticas e alimentícias.



Ácido Succínico

Utilizado em sínteses de bioplásticos, aromatizantes, etc.

2. Condições **ideais**

Nutrição para a Levedura

Mosto rico em nutrientes para fornecer energia à levedura

Tabela 1.2 — Concentrações de nutrientes minerais no mosto para se obter adequada fermentação alcoólica

Nutrição mineral	Concentração em mg/L	Nutriente mineral	Concentração em mg/L
NH ₄ ⁺	50 — 150	Co ⁺⁺	3,5
P	62 — 560	Co ^{++**}	10
K ⁺	700 — 800	Zn ⁺⁺	0,5 — 10
Ca ⁺⁺	120	Cu ⁺⁺	7
Mg ⁺⁺	70 — 200	Mn ⁺⁺	10 — 33
SO ₄ ⁻	7 — 280	Mn ^{++*}	10 (10 — 80)
Na ⁺	200	Fe ⁺⁺	0,2

Fontes: AMORIM, 1977; * LIMA, 1953; ** LIMA, 1962

Temperatura

26 a 35 °C

pH:

entre 4 e 5

Concentração de açúcar

pode aumentar na produtividade ou causar estresse osmótico

Concentração de leveduras no inóculo

maior produtividade ou maior competição por nutrientes

Antibióticos

penicilina: 500 a 1000 U.I. por litro de mosto



Recipientes de fermentação (dornas)

- Abertas ou fechadas
- Compostas por aço-carbono
- Cilíndricas
- Volume 1:12 ou 1:24



3. Processos e Sistemas

Processos descontínuos

Sistema de cortes

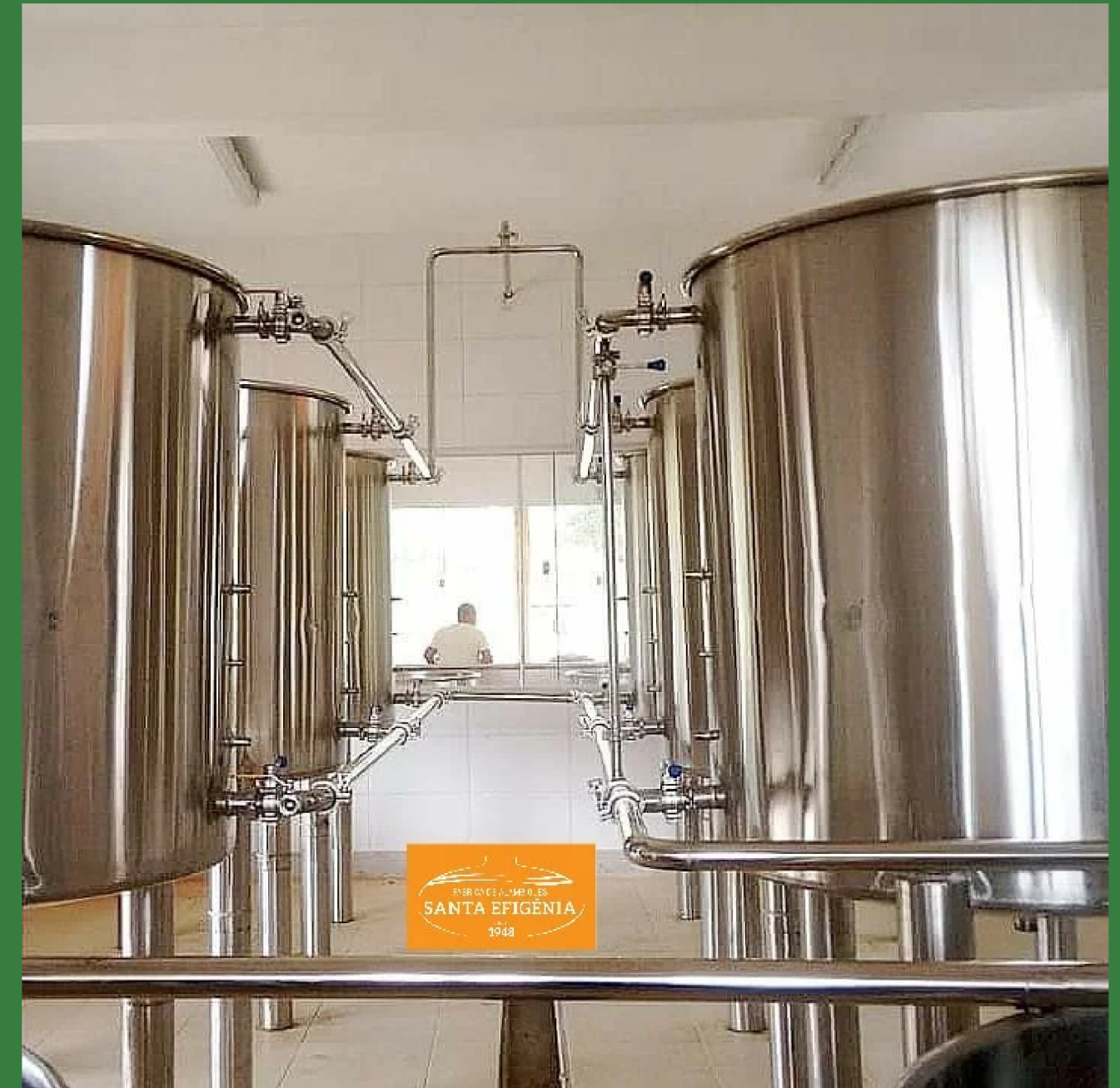
Após a primeira fermentação, mosto é dividido entre destilação e produção de inóculo

Sistema de reaproveitamento de inóculo

Levedura é tratada e reutilizada

Sistema de cultura pura

Um tubo de cultura para cada fermentação



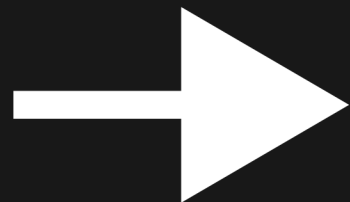
Dornas de fermentação



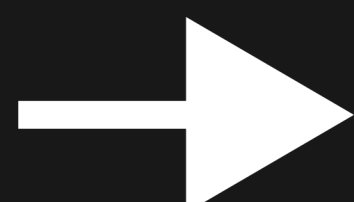
Sistema de recuperação de leveduras

Recapitulando...

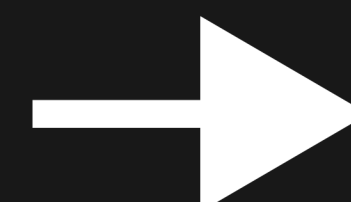
Mosto



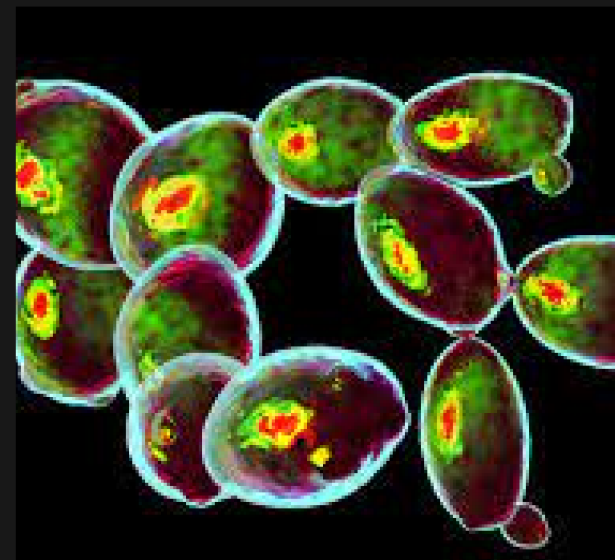
Dornas



Fermentação
alcoólica



Destilação



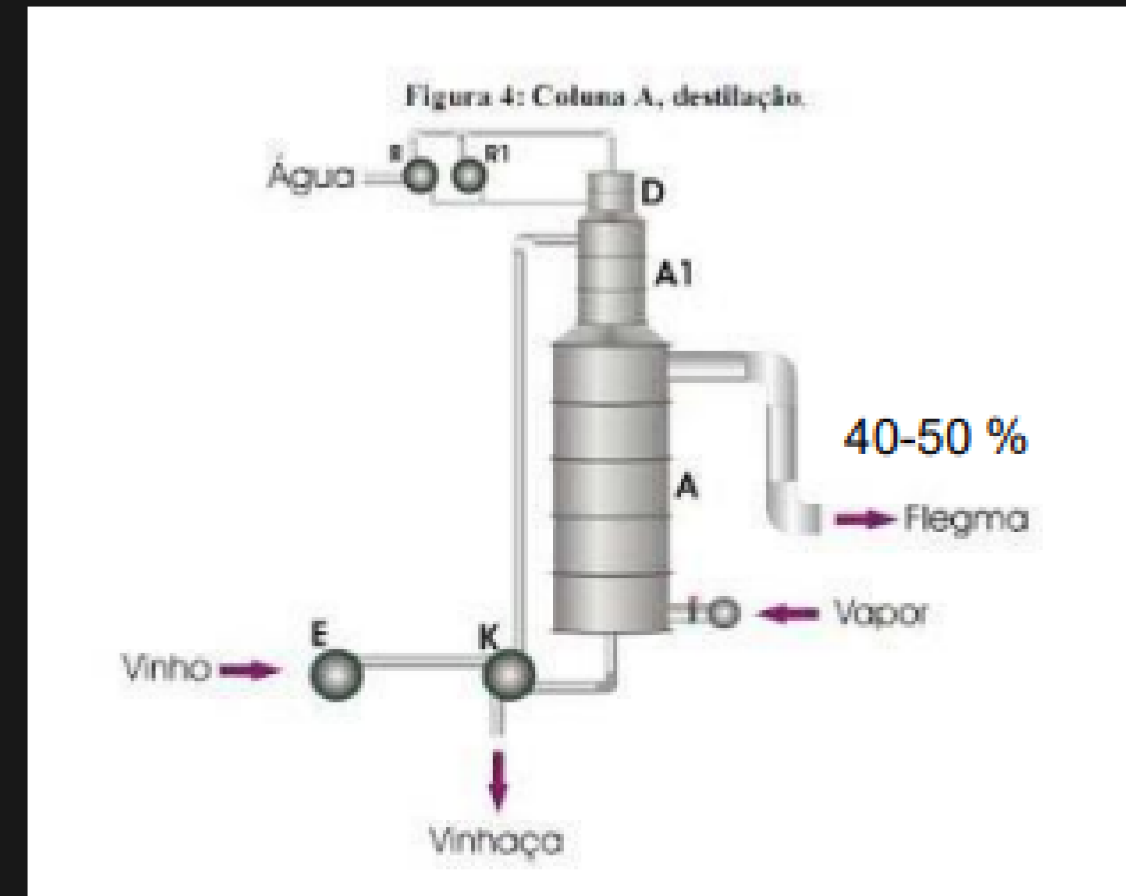
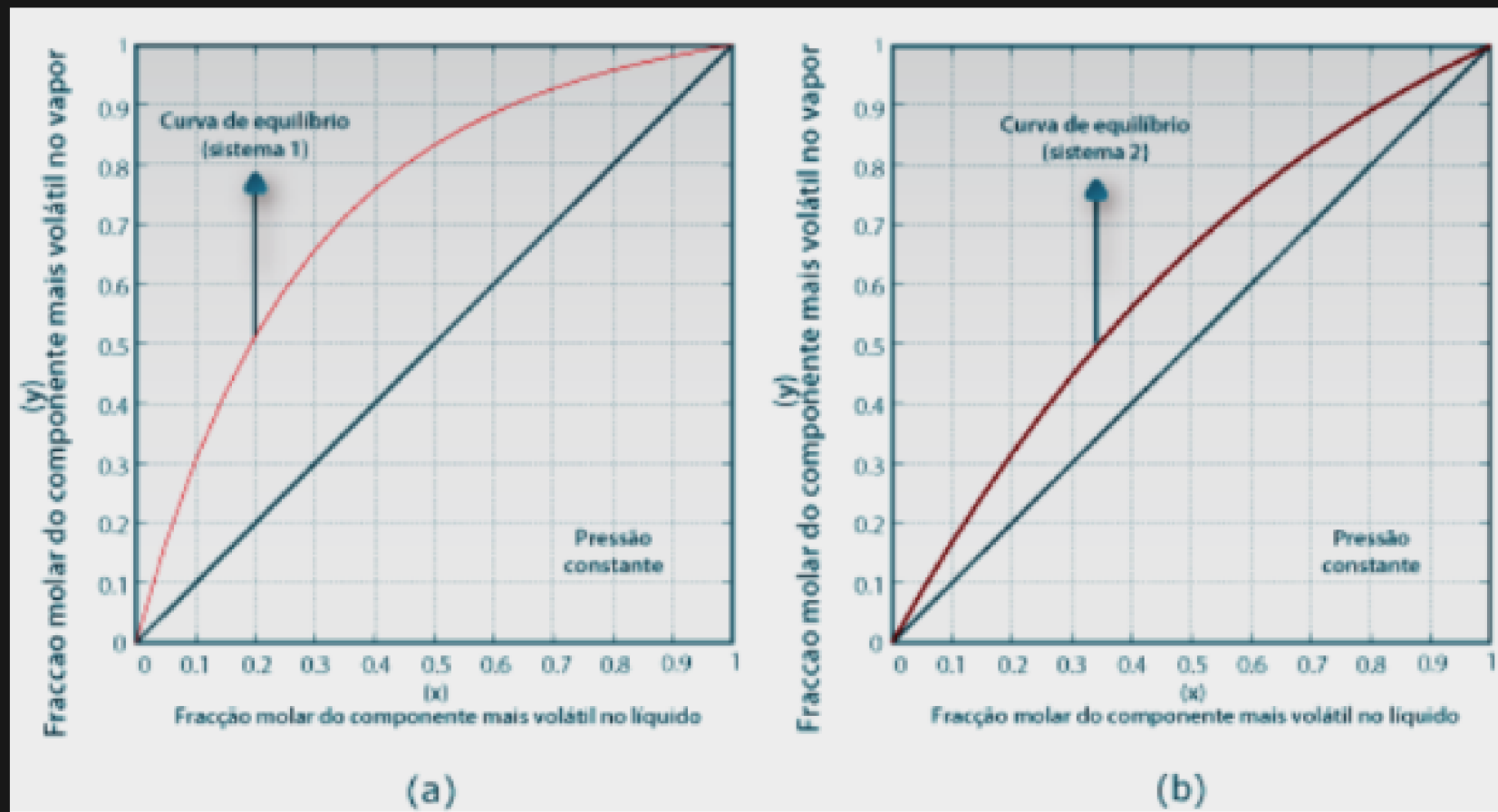
Destilação e Purificação

- Destilação
- Desidratação



Destilação

Fornecendo calor a mistura líquida, obtem 2 fases: uma líquida e outra de vapor, que têm composições diferentes, que é resultado da diferença de volatilidades

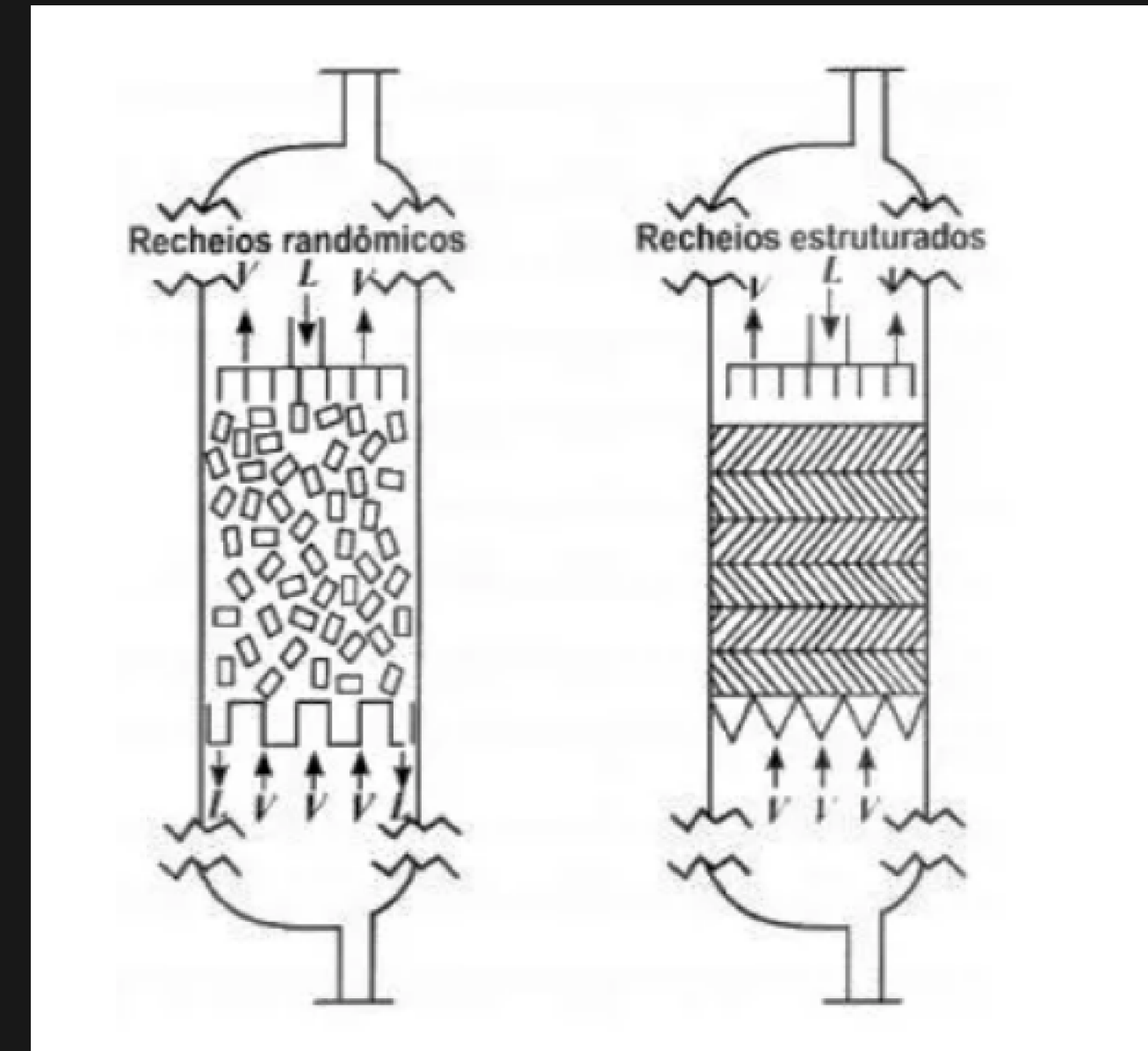
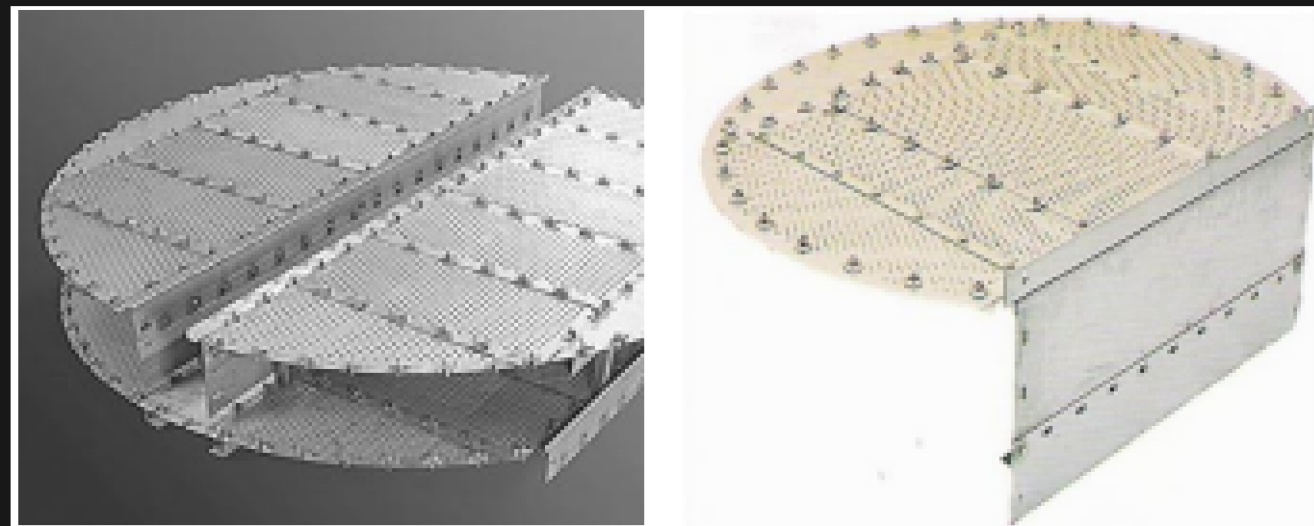
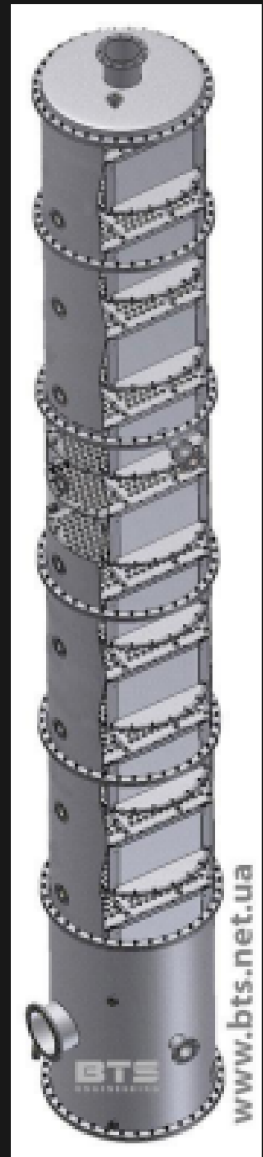


Destilação fracionada

Não se consegue fazer purificação completa do etanol por vários fatores

- Marcha imperfeita
- Dificuldade de separar as substâncias
- Variação da temperatura
- Pureza e oscilações na composição dos vinhos
- Reações de esterificação

Para aumentar a concentração de etanol se usa colunas com pratos ou recheios

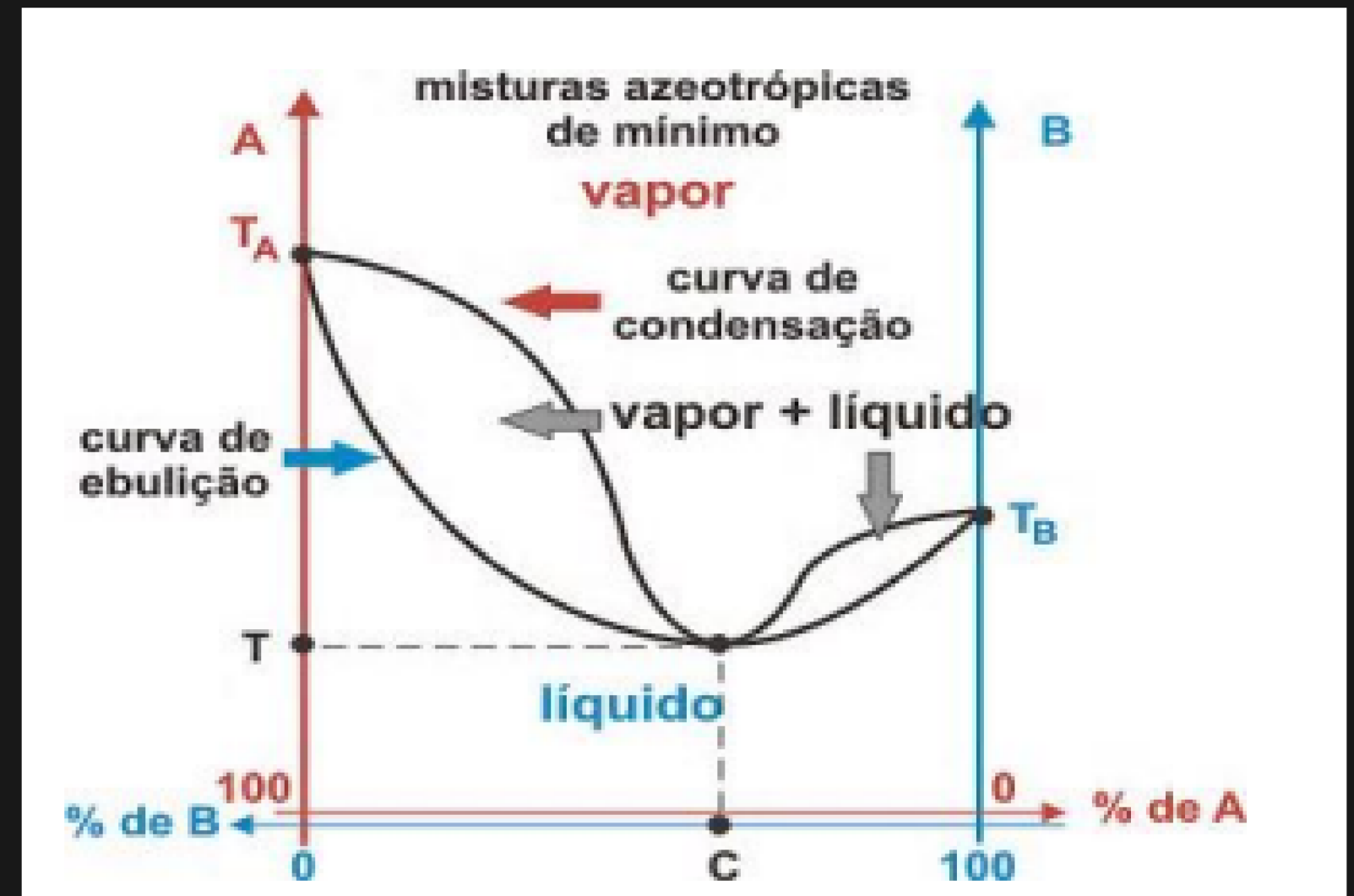


Desidratação

Destilação: álcool 96% em volume – mistura azeotrópica

Processos industriais:

- Químicos – substâncias que absorvem a água do álcool
 - Óxido de cálcio
 - Acetato de sódio
 - Carbonato de potássio
- Físicos
 - Variação de pressão
 - Destilação de misturas hiperazeotrópicas
 - Absorção de vapores por corpos sólidos
 - Destilação em presença de um terceiro componente
 - Uso de absorventes regeneráveis
 - Separação por membranas (peneiras moleculares)



Desidratação azeotrópica

Um componente externo é usado para modificar a volatilidade relativa dos componentes de carga, facilitando assim, sua separação

- Mais utilizada pelas destilarias (ciclo-hexano, benzeno)
- Formação de uma substância azeotrópica de 3 componentes
- 3º componente – insolúvel em um dos 2 componentes iniciais – duas frações
- Adiciona-se um componente volátil --> forma azeótropos de baixo PE com um ou mais componentes da mistura --> aumentando a volatilidade relativa dos componentes.

Desidratação ciclo-hexano

- Alimentação:
 - Ciclo-hexano no topo da coluna
 - Álcool a ser desidratado um terço abaixo do topo da coluna
- O ciclo-hexano forma com o álcool e a água uma mistura ternária (azeótropo) com um ponto de ebulição de 63°C.
- Este menor ponto de ebulição da mistura em relação ao do álcool (78°C), faz com que a água seja retirada no topo da coluna
- O álcool puro, por ter maior ponto de ebulição que o azeótropo, fica retido no fundo do destilador
- Teor alcóolico em torno de 99,3%
- É retirado o álcool na parte inferior da coluna de desidratação, onde é encaminhado para armazenamento

Desidratação peneira molecular

- Zeólita artificial
- Adsorvente comercial sintético de estrutura cristalina similar ao zeólita natural
- Aparência de uma argila porosa.
- Cristais com cavidades uniformes interconetadas por estreitas aberturas (poros)
- Primeira peneira molecular (ou Zeólito sintético)
- Passa álcool hidratado --> zeólita retém a água
- Depois se regenera o leito de zeólito

Estrutura:

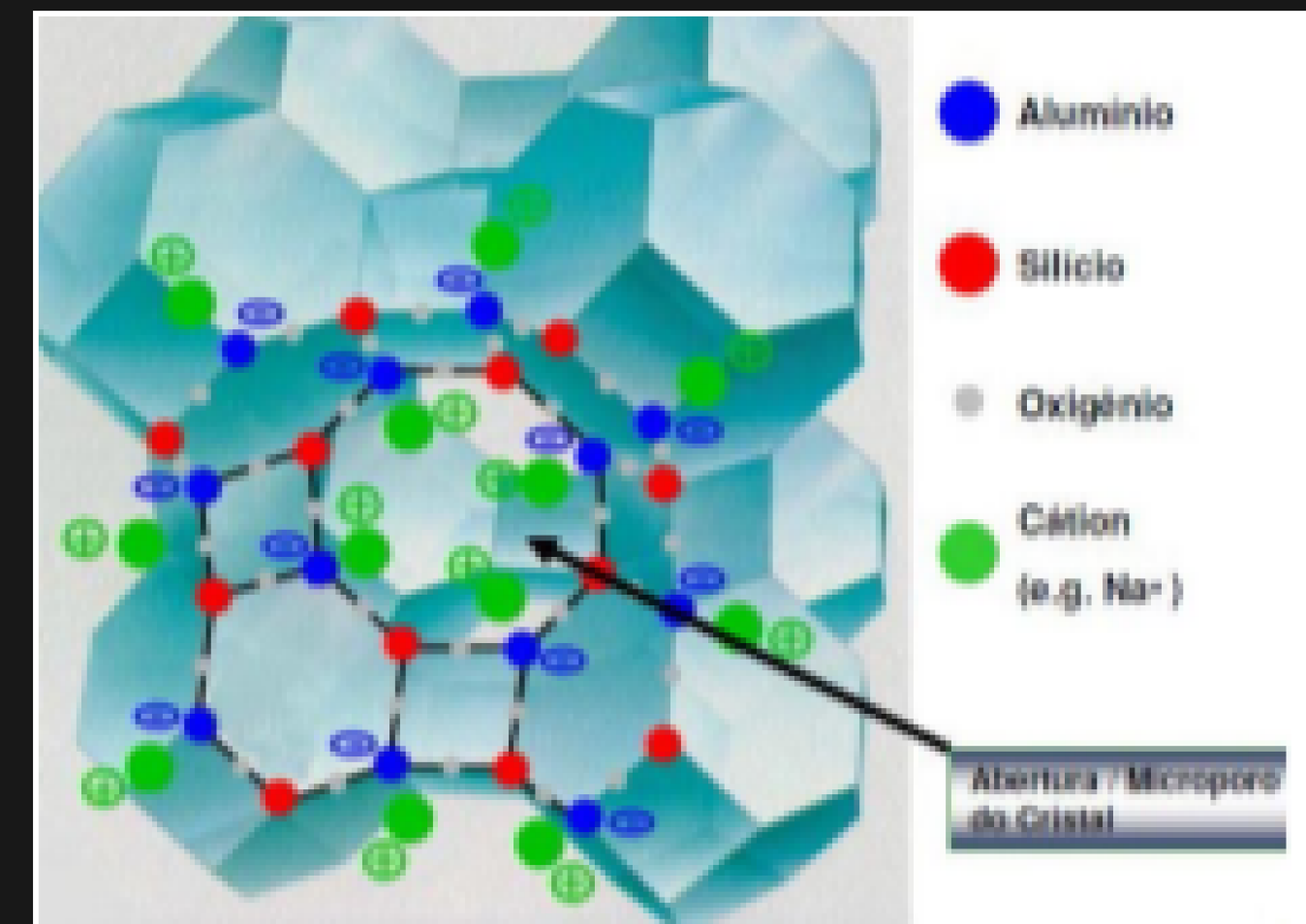
- Tetraedros de 4 Átomos de Oxigênio rodeados por 2 átomos de Sílica ou Alumínio, além de cátions de potássio, sódio ou cálcio que contrabalançam a estrutura.
- Para desidratação de álcool é utilizado o tipo potássio- alumínio-silicato

Vantagem:

- Zeólitos podem ser feitos por medida para determinadas aplicações na biotecnologia, indústria petroquímica, indústria farmacêutica e na área do ambiente.

Desvantagem

- Como desvantagens pode-se apontar a sua fraca resistência mecânica
- Instabilidade na presença de soluções ácidas
- Preço elevado, 2 -2,5 vezes do sistema de desidratação com Benzeno



Referências

- <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cana>
- <https://summitagro.estadao.com.br/noticias-do-campo/como-ocorre-a-producao-de-etanol-a-partir-da-cana-de-acucar/>
- Lima, U. A. 2001, **Biotecnologia industrial: processos fermentativos e enzimáticos**, Editora Blucher. Available from: vbk://9788521215196
- <https://www.novacana.com/noticias/exportacao-brasileira-etanol-sobe-26-3-2022-2-43-bilhoes-litros-120123>
- <https://specconsultoria.com.br/index.php/desidracao-via-ciclo-hexano-meg-e-peneira-molecular/>



Como a cana-de-açúcar vira etanol? | Etanol Sem Fronteira - episódio 3



Watch on YouTube

2 ANÁLISE QUÍMICA

3 MESA ALIMENTADORA

4 MOAGEM

5 CALDEIRA

6 TRATAMENTO

7 FERMENTAÇÃO

8 DESTILAÇÃO

9 CARREGAMENTO

Usina Tanabi - São José do Rio Preto

Obrigado!

André Luiz dos Reis Luna Santos

Davi Ferro

Felipe Pimenta

Rafaela Gimenes