



# Tecnologia e Fabricação do Álcool

*João Baptista Chieppe Júnior*



Inhumas - GO  
2012

Presidência da República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica

© Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Este caderno foi elaborado em parceria entre o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás/IFG-Inhumas e a Universidade Federal de Santa Maria para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – Rede e-Tec Brasil.

**Equipe de Elaboração – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás/IFG-Inhumas**

**Reitor**

Paulo César Pereira/IFG-Inhumas

**Diretor Geral**

Cleiton José da Silva/IFG-Inhumas

**Coordenar Institucional**

Daniel Aldo Soares/IFG-Inhumas

**Coordenar de Curso**

Rodrigo Cândido Borges/IFG-Inhumas

**Professor-autor**

João Baptista Chieppe Júnior/IFG-Inhumas

**Equipe Técnica**

Renata Luiza da Costa/IFG-Inhumas  
Shirley Carmem da Silva/IFG-Inhumas  
Viviane Margarida Gomes/IFG-Inhumas

**Comissão de Acompanhamento e Validação**  
Colégio Técnico Industrial de Santa Maria/CTISM

**Coordenador Institucional**

Paulo Roberto Colusso/CTISM

**Coordenação Técnica**

Iza Neuza Teixeira Bohrer/CTISM

**Coordenação de Design**

Erika Goellner/CTISM

**Revisão Pedagógica**

Andressa Rosemárie de Menezes Costa/CTISM  
Francine Netto Martins Tadielo/CTISM  
Marcia Migliore Freo/CTISM

**Revisão Textual**

Eduardo Lehnhart Vargas/CTISM  
Lourdes Maria Grotto de Moura/CTISM  
Vera Maria Oliveira/CTISM

**Revisão Técnica**

Maria Isabel da Silva Aude/UFSM

**Ilustração**

Gustavo Schwendler/CTISM

**Diagramação**  
Gustavo Schwendler/CTISM  
Leandro Felipe Aguilar Freitas/CTISM  
Máuren Fernandes Massia/CTISM

Ficha catalográfica elaborada por Maria Aparecida Rodrigues de Souza,  
CRB-1/1497 – bibliotecária do IFG – Campus Inhumas

C533q

Chieppe Júnior, João Baptista

Tecnologia e fabricação do álcool / João Baptista Chieppe Júnior. – – Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

74 p. : il.

Bibliografia.

Caderno elaborado em parceria entre o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás/IFG-Inhumas e a Universidade Federal de Santa Maria para o Sistema Escola Técnica Aberta do Brasil – Rede e-Tec Brasil.

1. Produção de Álcool - Brasil.
2. Fermentação Etanólica.
3. Destilação - Processo.
4. Gestão Sucroalcooleira. I. Título.

CDD 660.62

# Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,

Bem-vindo ao e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional pública de ensino, a Escola Técnica Aberta do Brasil, instituída pelo Decreto nº 6.301, de 12 de dezembro 2007, com o objetivo de democratizar o acesso ao ensino técnico público, na modalidade a distância. O programa é resultado de uma parceria entre o Ministério da Educação, por meio das Secretarias de Educação a Distância (SEED) e de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC), as universidades e escolas técnicas estaduais e federais.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade e ao promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes dos grandes centros geograficamente ou economicamente.

O e-Tec Brasil leva os cursos técnicos a locais distantes das instituições de ensino e para a periferia das grandes cidades, incentivando os jovens a concluir o ensino médio. Os cursos são ofertados pelas instituições públicas de ensino, e o atendimento ao estudante é realizado em escolas-polo integrantes das redes públicas municipais e estaduais.

O Ministério da Educação, as instituições públicas de ensino técnico, seus servidores técnicos e professores acreditam que uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!

Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação  
Janeiro de 2010

Nosso contato  
[etecbrasil@mec.gov.br](mailto:etecbrasil@mec.gov.br)



# Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



**Atenção:** indica pontos de maior relevância no texto.



**Saiba mais:** oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



**Glossário:** indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



**Mídias integradas:** sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.



**Atividades de aprendizagem:** apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.



# Sumário

<b>Palavra do professor-autor</b> .....	<b>9</b>
<b>Apresentação da disciplina</b> .....	<b>11</b>
<b>Projeto instrucional</b> .....	<b>13</b>
<b>Aula 1 – Fermentação etanólica</b> .....	<b>15</b>
1.1 Generalidades sobre o etanol.....	15
1.2 Importância da cana-de-açúcar e do etanol na matriz energética do Brasil.....	20
1.3 A indústria alcooleira no Brasil.....	22
1.4 Histórico da fermentação etanólica.....	28
<b>Aula 2 – Processos de produção da fermentação etanólica</b> .....	<b>31</b>
2.1 Tipos de fermentação etanólica.....	31
2.2 Aspectos gerais da cana-de-açúcar .....	32
2.3 Processo de fabricação do álcool.....	39
2.4 Moagem da cana.....	41
2.5 Algumas considerações importantes.....	44
<b>Aula 3 – Microrganismos agentes da fermentação etanólica</b> .....	<b>47</b>
3.1 Microrganismos.....	47
3.2 Fermentação etanólica .....	47
3.3 Necessidades nutricionais e fatores de crescimento.....	51
3.4 Princípios fundamentais: multiplicação.....	53
3.5 Tipos de processos de fermentação.....	54
3.6 Fatores que influenciam o processo de fermentação.....	57
<b>Aula 4 – Destilação</b> .....	<b>61</b>
4.1 Características da destilação.....	61
4.2 Descrição do processo de destilação.....	63
4.3 Desidratação.....	65
4.4 Vantagens da nova tecnologia .....	67
4.5 Álcool de qualidade superior a um custo menor.....	67

4.6 Armazenamento do álcool.....	68
4.7 Algumas considerações sobre o etanol.....	68
<b>Referências.....</b>	<b>71</b>
<b>Curriculum do professor-autor.....</b>	<b>73</b>

## Palavra do professor-autor

No começo das plantações de cana-de-açúcar há quase cinco séculos, os produtos como rapadura, cachaça e açúcar eram considerados produtos nobres.

Nos últimos 100 anos, o Brasil vem sendo um importante aliado na produção e exportação de açúcar para o mundo.

A partir da década de 70, com a criação do programa Proálcool, deu-se um novo rumo à cadeia produtiva canavieira.

No século XX, com a ascensão do agronegócio, houve o desenvolvimento de novas variedades, de diferentes tratos culturais, da evolução da mecanização, tudo mudou na gestão sucroalcooleira.

Hoje o Brasil se transformou no maior exportador de açúcar e etanol do mundo, de forma sustentável e competitiva.

O objetivo principal do estudo da Tecnologia da Fabricação do Álcool é conhecer a importância da cana-de-açúcar na fabricação de etanol, os processos de produção do etanol, os microrganismos agentes da fermentação etanólica e seu processo de destilação.

Tendo o domínio desse conteúdo, você poderá ajudar a desenvolver e definir algumas indagações em relação ao mercado interno e externo do etanol, a logística, a estocagem, a certificação do produto final e a definição do futuro do álcool hidratado.

João Baptista Chieppe Júnior.



# Apresentação da disciplina



Fonte: CTISM, adaptado de blogplanetaagro.com.br/?p=57

Nesta disciplina, serão estudados os princípios e técnicas da produção do álcool etanol, oriundo da cana-de-açúcar, partindo das generalidades sobre o etanol, a importância da indústria alcooleira na matriz energética do Brasil e o histórico da fermentação etanólica. O entendimento desses princípios é fundamental para compreender os diversos processos de produção da fermentação etanólica através dos microrganismos agentes e as diferentes fases do processo de destilação até o produto final, de modo a aplicar esses conhecimentos no desenvolvimento tecnológico e na formação de recursos humanos para o setor sucroalcooleiro no Brasil.



# Projeto instrucional

**Disciplina:** Tecnologia e Fabricação do Álcool (carga horária: 90h).

**Ementa:** Fermentação etanólica. Processos de produção da fermentação etanólica. Microrganismos agentes da fermentação etanólica. Destilação.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
1. Fermentação etanólica	Entender o princípio de fabricação do etanol, através da fermentação etanólica, a importância da cana-de-açúcar na matriz energética e na indústria alcooleira do Brasil e o histórico da fermentação etanólica.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	20
2. Processos de produção da fermentação etanólica	Compreender o processo de produção do etanol a partir da cana-de-açúcar. Identificar os aspectos gerais da cana-de-açúcar. Estudar todo o processo de fabricação do álcool.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	20
3. Microrganismos agentes da fermentação etanólica	Estudar o processo de ação dos microrganismos agentes da fermentação etanólica. Compreender os fatores que influenciam a ação dos microrganismos agentes. Identificar os tipos de processo de fermentação e os fatores que a influenciam.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	20
4. Destilação	Estudar o processo de destilação e suas frações. Compreender e identificar as fases de descrição do processo de destilação e desidratação, vantagens e desvantagens.	Ambiente virtual: plataforma <i>moodle</i> . Apostila didática. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios.	20



# Aula 1 – Fermentação etanólica

## Objetivos

Entender o princípio de fabricação do etanol, através da fermentação etanólica, a importância da cana-de-açúcar na matriz energética e na indústria alcooleira do Brasil e o histórico da fermentação etanólica.

### 1.1 Generalidades sobre o etanol

Etanol e álcool etílico são sinônimos. O etanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ), também chamado álcool etílico - na linguagem popular, simplesmente álcool - é uma substância orgânica obtida da fermentação de açúcares, hidratação do etileno ou redução a acetaldeído<sup>12</sup>, encontrado em bebidas como cerveja, **vinho** e aguardente, bem como na indústria de perfumaria. No Brasil, tal substância é também muito utilizada como combustível de motores de explosão, constituindo assim um mercado em ascensão para um combustível obtido de maneira renovável e para o estabelecimento de uma indústria de química de base sustentada na utilização de biomassa de origem agrícola e renovável.

Na produção do etanol, no entanto, é necessário diferenciar o etanol anidro (álcool etílico anidro) do etanol hidratado (álcool etílico hidratado).

A-Z

**vinho**

Caldo fermentado.

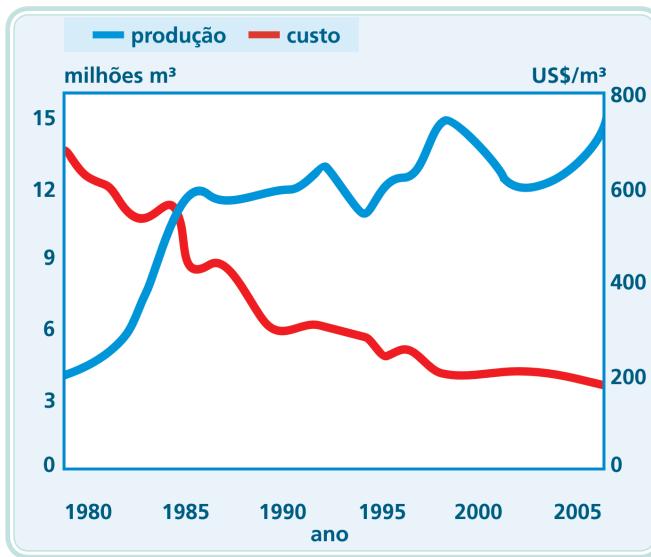
- **Anidro** – o álcool anidro é caracterizado pelo teor alcoólico mínimo de 99,3° (INPM) Instituto Nacional de Pesos e Medidas, composto apenas de etanol ou álcool etílico. É utilizado como combustível para veículos (gasolina C) e como matéria-prima na indústria de tintas, solventes e vernizes.
- **Hidratado** – é uma mistura hidroalcoólica com teor alcoólico mínimo de 92,6° (INPM) composto por álcool etílico ou etanol. O álcool hidratado é usado na indústria farmacêutica, alcoolquímica e de bebidas, no combustível para veículos e em produtos para limpeza. O etanol é também usado como matéria-prima para a produção de vinagre e ácido acético e para a síntese de cloral e iodofórmio.

A diferença aparece apenas no teor de água contida no etanol, enquanto o etanol anidro tem teor de água em torno de 0,5% em volume, o etanol hidratado vendido nos postos de combustíveis, possui cerca de 5% de água, em volume (embora a especificação brasileira defina essas características em massa, o comentário feito expressa os dados em volume para harmonização da informação com a prática internacional).

O etanol é utilizado desde o início da indústria automotiva, servindo de combustível para motores a explosão do tipo ciclo Otto. No entanto, com a utilização de combustíveis fósseis, no começo do século XX, mais baratos e abundantes, o etanol tornou-se uma opção praticamente ignorada. O etanol hidratado é usado diretamente no abastecimento de veículos automotores. É o álcool adquirido pelo consumidor no posto de abastecimento para os veículos a etanol ou para os veículos com motor *flex-fuel*. Se o consumidor possuir um veículo com motor *flex*, só pode utilizar exclusivamente o etanol hidratado.

A participação dos biocombustíveis na matriz energética mundial é de aproximadamente 1%, mas os investimentos nessa área estão acontecendo de forma expressiva. Além disso, as perspectivas de esgotamento de fontes energéticas de origens fósseis, como o caso do petróleo, reforçam as políticas energéticas dos países para essas novas fontes renováveis.

O etanol encontra uma ampla aplicação na vida cotidiana do brasileiro, seja como solvente industrial, antisséptico, conservante, seja como componente de diversas bebidas, em desinfetantes domésticos e hospitalares e solventes de fármacos importantes. Além do uso caseiro e industrial, o etanol tornou-se uma molécula estratégica para a economia brasileira, pois é uma alternativa energética viável, uma vez que o Brasil tem tradição e conhecimento na produção desses biocombustíveis para a substituição gradativa do petróleo. Na Figura 1.1, pode-se observar a relação de alta rentabilidade e de crescimento na produção (milhões/metros cúbicos) em relação ao custo (dólar/metro cúbico) do etanol, desde década de 80 até meados de 2005.

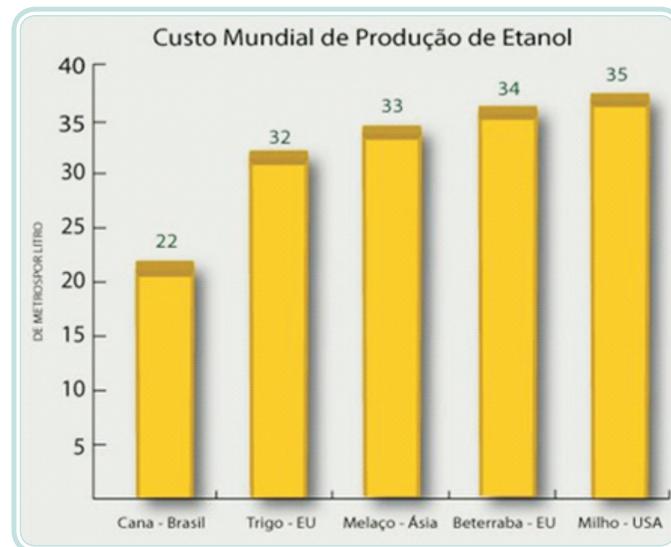


**Figura 1.1: Produção da cana-de-açúcar e o custo**

Fonte: geoconceicao.blogspot.com/2009/10/etanol-prod...

Ao contrário do que se pensa, o uso do álcool como combustível acompanha a criação dos automóveis. Tem como características técnicas ser menos inflamável e menos tóxico que a gasolina e o diesel. Ele pode ser produzido a partir de biomassa, ou seja, de resíduos agrícolas e florestais. No Brasil, ele é gerado principalmente da cana-de-açúcar. Nos Estados Unidos, o milho é o produto mais usado para esse fim.

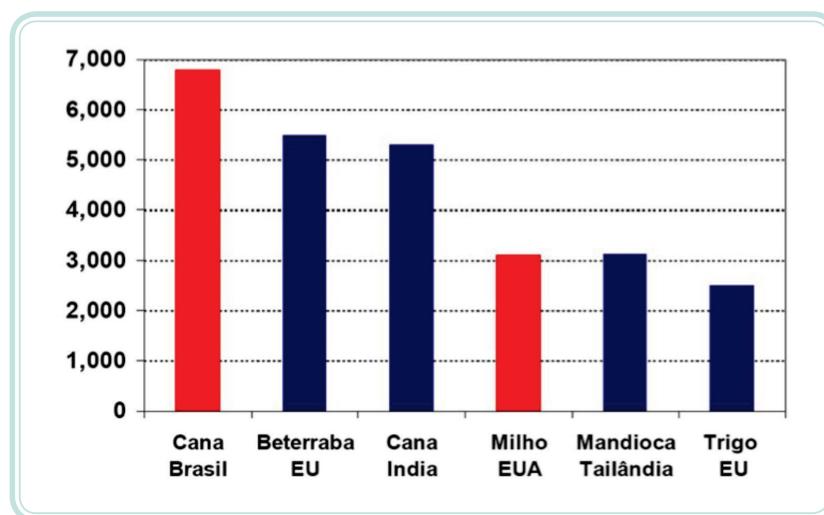
Observe no gráfico de Figura 1.2, que a vantagem da produção de etanol a partir da cana-de-açúcar é maior em relação a outros produtos.



**Figura 1.2: Custo mundial de produção de etanol**

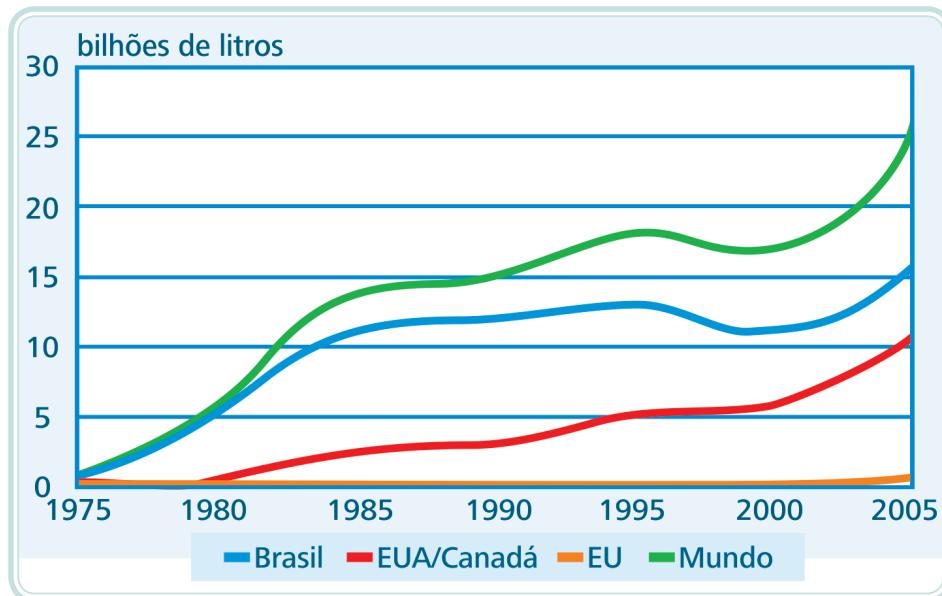
Fonte: geoconceicao.blogspot.com/2009/10/etanol-prod...

Observe a produção do etanol em alguns países, Figura 1.3. O Brasil é o maior produtor mundial de álcool, mas, é também o maior consumidor, cerca de 15 milhões de litros sendo 14 milhões para fins carburantes no ano de 2005. É ainda o maior exportador, com perspectivas de crescimento significativas em um ambiente de preocupação com o meio ambiente, destacando-se a questão do aquecimento global em função do aumento na concentração de poluentes, notadamente CO<sub>2</sub>, na atmosfera. (GOLDEMBERG, 2007; SCARAMUZZO & LOPES, 2007).



**Figura 1.3: Relação de produtividade de etanol x matéria-prima no mundo**  
Fonte: International Energy Agency, 2005

Cerca de 80% da produção brasileira de etanol têm como destino o uso carburante, 5% são destinados ao uso alimentar, perfumaria e alcoolquímica e 15% para a exportação.



**Figura 1.4: Produção etanol em alguns países**

Fonte: geoconceicao.blogspot.com/2009/10/etanol-prod...

A produção de etanol carburante apresenta inúmeras vantagens: ganhos ambientais, pois pode substituir os poluentes antidentalantes e a gasolina nos veículos automotores; ganhos sociais, por meio da geração de empregos descentralizados no Brasil e em outros países (no caso do Brasil, a produção canavieira ocorre na maioria dos estados); redução da dependência externa de combustível fóssil; permanência do homem no campo, reduzindo o êxodo rural.

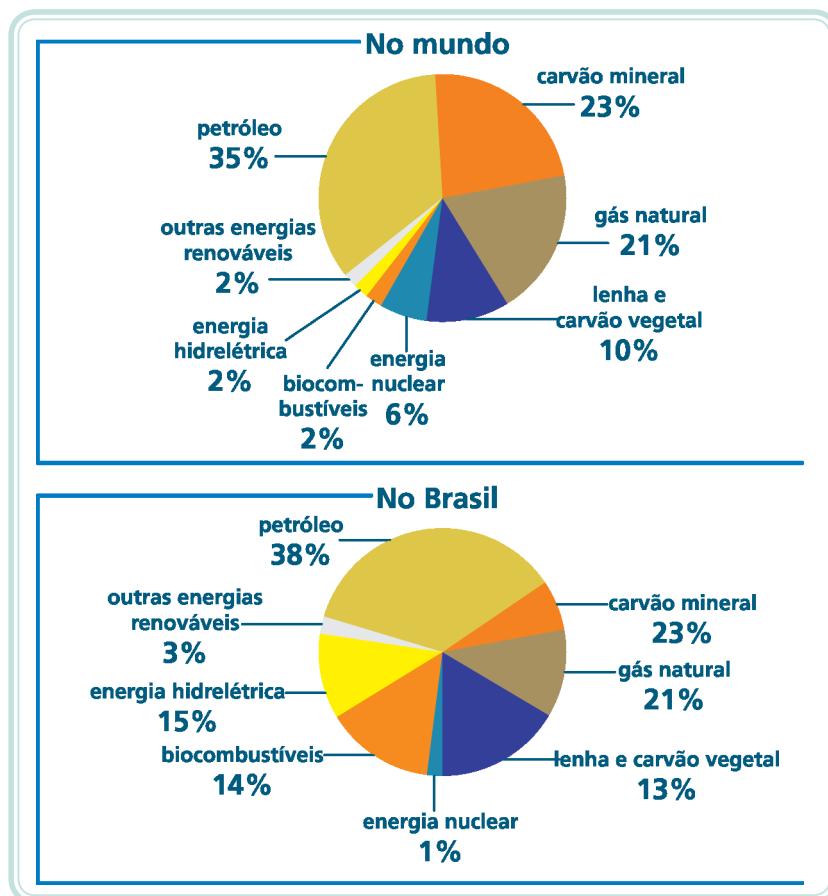
Na produção industrial do etanol, o tipo hidratado é o que sai diretamente das colunas de destilação. Para produzir o etanol anidro, é necessário utilizar um processo adicional que retira a maior parte da água.

**Destilação** – exsudação, gotejamento, a que se destina à separação de substâncias sólidas ou líquidas de diferentes pontos de ebulição; a que se destina a separar os diversos componentes de misturas líquidas.

Atualmente, mais de 20 anos após a criação do Programa Nacional do Álcool, a cana-de-açúcar vive um dos momentos mais promissores ao longo de sua trajetória econômica.

Segundo dados do Balanço Energético Nacional (2007), os produtos energéticos resultantes da cana-de-açúcar representaram 15,7% da Matriz Energética Brasileira em 2007 (Figura 1.5). As externalidades positivas do etanol foram responsáveis pelo aumento na demanda da utilização do álcool combustível,

uma vez que os carros movidos a álcool colaboram para uma menor poluição atmosférica, reduzindo a emissão de CO<sub>2</sub>.



**Figura 1.5: Matriz energética – Brasil e mundo**

Fonte: MME/BEM, 2007

## 1.2 Importância da cana-de-açúcar e do etanol na matriz energética do Brasil

Segundo Carrijo & Miziara (2009), outro fator preponderante para a ascensão do setor sucroalcooleiro é a biomassa energética, produzida pela cogeração de energia a partir da **vinhaça** e palha da cana-de-açúcar. É importante salientar que o país exerce liderança tanto na produção canavieira quanto nos segmentos da cadeia sucroalcooleira como açúcar e álcool (Figuras 1.6, 1.7 e 1.8).

A-Z

vinhaça

É o resíduo obtido na destilação do álcool.

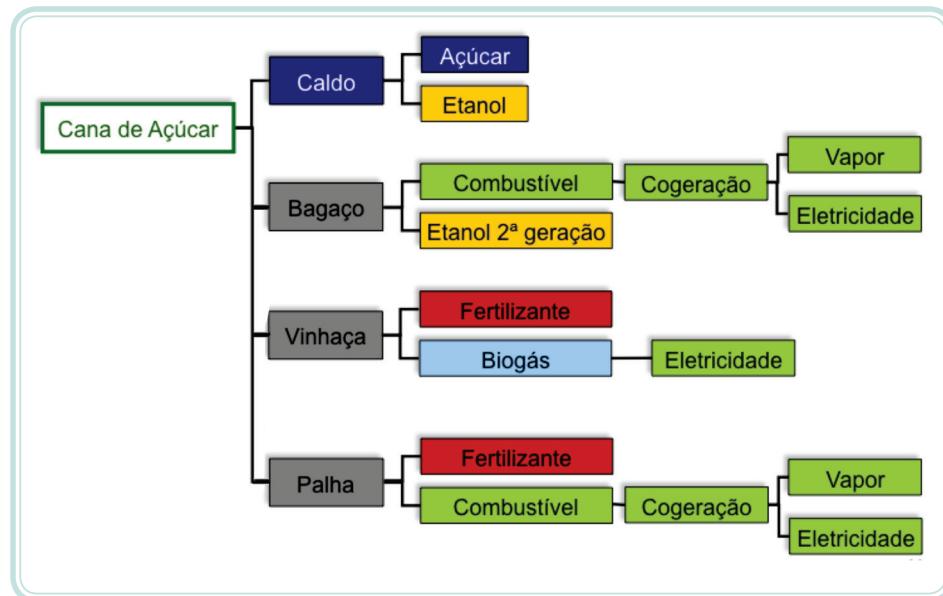
Os biocombustíveis devem ter ganho de energia líquida, benefícios ecológicos, serem economicamente competitivos e produzirem sem competir com o abastecimento de alimentos. Pode-se concluir que, de todos os parâmetros,

a cana-de-açúcar é hoje a melhor alternativa para a produção de biocombustível. Além da energia química (etanol), a cana-de-açúcar diversifica a matriz energética com a produção de energia elétrica e calor a partir do **bagaço** e dos restos culturais, contribuindo assim, para a redução no uso de energia fóssil e a poluição ambiental. (ANDREOLI & SOUZA, 2007).

## A-Z

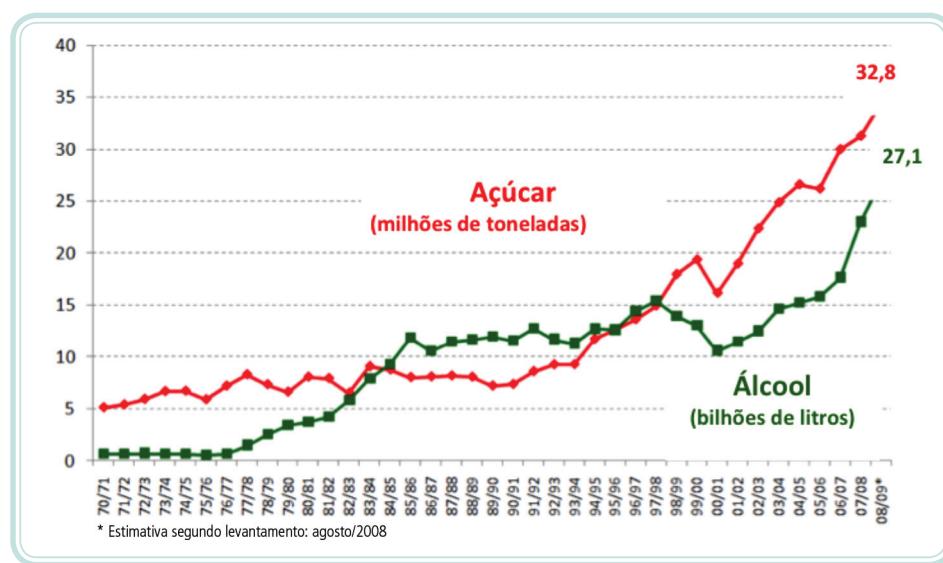
### bagaço

Resíduo fibroso resultante de extração do caldo da cana.



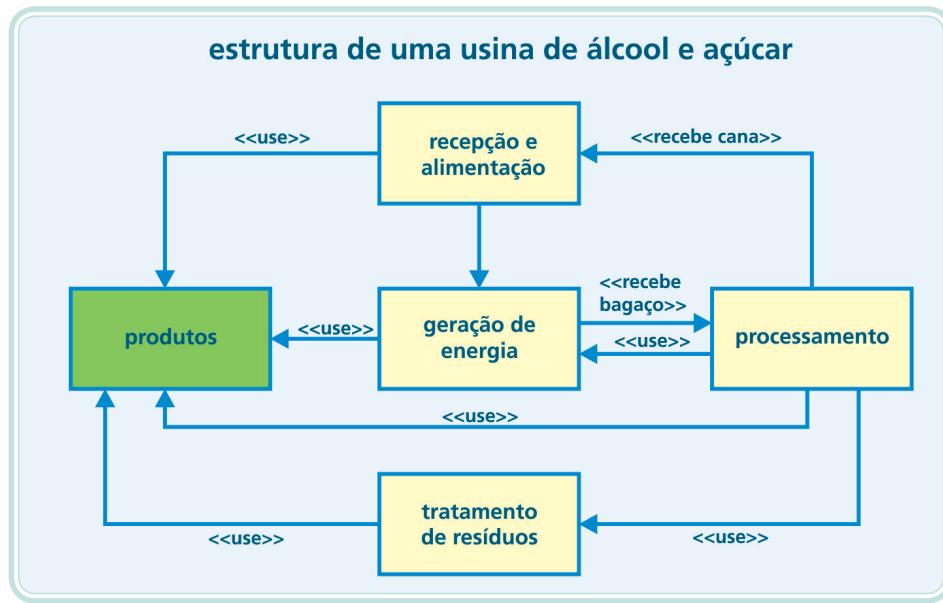
**Figura 1.6: Indústria da cana = energia e alimentos**

Fonte: UNICA



**Figura 1.7: Brasil: produção de açúcar e álcool**

Fonte: SPAE/MAPA e CONAB/MAPA



**Figura 1.8: Estrutura de uma usina de álcool e açúcar**

Fonte: [www.mecatronica.eesc.usp.br/wiki/index.php/Pa...](http://www.mecatronica.eesc.usp.br/wiki/index.php/Pa...)

### 1.3 A indústria alcooleira no Brasil

A história do etanol no Brasil remonta à época das capitâncias, quando se produzia aguardente a partir de resíduos da produção do açúcar. Até o fim do século XIX, quando teve início a produção industrial de álcool etílico a partir do melâço da indústria açucareira, ampliando-lhe sua capacidade de produção, o único álcool produzido no Brasil era o das bebidas destiladas, particularmente o da cachaça.

O Proálcool foi criado em 1975 (Decreto nº 76.593, de 14 de novembro de 1975, regulamentado em 1975 e em 1979 – Decreto nº 83.700, de 05 de julho de 1979), como resposta brasileira ao primeiro choque do petróleo, em 1973, e reforçado pelo segundo choque, em 1979. Atualmente, o Proálcool se apresenta como um dos mais importantes programas de combustíveis líquidos de biomassa do mundo, sendo suplantado apenas pelos EUA, em 2005, em volume de etanol produzido.



O PROÁLCOOL teve como instrumento o incentivo à produção do etanol oriundo da cana-de-açúcar, da mandioca ou de qualquer outro produto. É importante registrar que o Brasil acumulava experiências de utilização de etanol combustível desde a década de 20. A base do programa estava na expansão da oferta: seria incentivada pela expansão da oferta de matérias-primas, com especial ênfase no aumento da produção agrícola, da modernização e ampliação das destilarias existentes e da instalação de novas unidades produtoras, anexas a usinas ou autônomas, e de unidades armazenadoras.

O Brasil é líder mundial na produção de cana-de-açúcar e de seus derivados. O segmento emprega mais de 4 milhões de pessoas sendo que, em 2008, respondeu por 1,76% do PIB (Produto Interno Bruto) agrícola nacional. São Paulo é o Estado que mais produz cana, com 58% da safra 2003/2004.

O parque industrial sucroalcooleiro do país conta com 373 unidades distribuídas em todas as regiões e concentradas na produção de açúcar e álcool. Os números do setor sucroalcooleiro podem ser visualizados no Quadro 1.1 e na Tabela 1.1.

**Quadro 1.1: Setor sucroalcooleiro do Brasil 2008/2009**

<b>Movimentou</b>	R\$ 41 milhões por ano
<b>Representou</b>	3,65% do PIB agrícola
<b>Gerou</b>	4 milhões de empregos
<b>Envolveu</b>	72.000 agricultores
<b>Moeu</b>	420 milhões de toneladas de cana
<b>Produziu</b>	30 milhões de toneladas de açúcar
<b>Produziu</b>	17,5 milhões de litros de álcool
<b>Exportou</b>	19 milhões de toneladas de açúcar
<b>Exportou</b>	3 milhões de litros de álcool
<b>Recolheu</b>	R\$ 12 bilhões de impostos e taxas
<b>Investiu</b>	R\$ 5 bilhões por ano
<b>Possuía</b>	344 usinas e destilarias

Fonte: Adaptado de procana, 2009

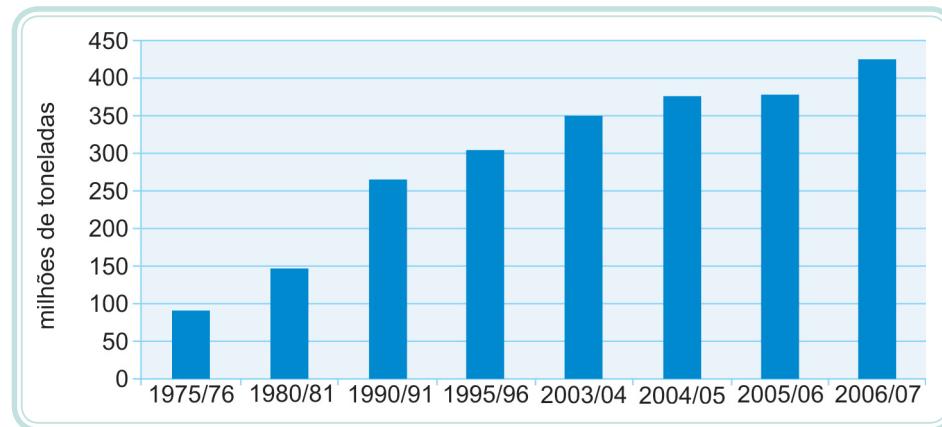
**Tabela 1.1: Produção mundial de etanol 1997-2005**

Países	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Brasil	15,49	14,12	12,98	10,61	11,51	12,62	14,73	15,1	16,0
EUA	5,89	6,45	6,61	6,47	6,96	8,43	10,9	13,38	16,14
China	2,69	2,8	2,86	2,97	3,05	3,15	3,4	3,65	3,8
Índia	1,65	1,69	1,69	1,72	1,78	1,8	1,9	1,75	1,7
Outros	7,24	6,9	6,93	8,06	8,74	9,63	9,07	6,88	8,25

Fonte: Dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimentos (MAPA), divulgados pela Associação Profissional da Indústria da Fabricação de Álcool, Açúcar, Similares e Conexos (UDOP)

A Tabela 1.1 evidencia que desde 2000 a produção mundial de etanol quase dobrou, liderada pelo Brasil – com o etanol proveniente da cana-de-açúcar – e pelos Estados Unidos (EUA) – com o etanol proveniente do milho – seguidos pela China e a Índia.

A produção brasileira de cana-de-açúcar na safra 2005/2006 foi de 386,5 milhões de toneladas.



**Figura 1.9: Produção brasileira de cana-de-açúcar – safras 1975/76 a 2006/07**

Fonte: [www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-açúcar/](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-açúcar/)

Na safra 2006/2007, o setor sucroalcooleiro esmagou 428 milhões de toneladas, sendo 295 milhões (69,3%) na região Sudeste, 56 milhões (13,1%) na região Nordeste, 41 milhões (9,7%) na região Centro-Oeste, 32 milhões (7,6%) na região Sul e 1,29 milhões de toneladas (0,3%) na região Norte.

A produção nacional de açúcar, na safra 2006/2007, foi de 30 milhões de toneladas – 12,4% superior à da safra 2005/2006; a produção de álcool foi de 17,64 bilhões de litros – superior em 3,8% à da safra anterior.

O agronegócio da cana-de-açúcar no Brasil distingue-se dos demais países por produzir, em escala industrial, tanto açúcar quanto álcool. Esse aproveitamento múltiplo torna bastante complexo o planejamento e o funcionamento dessa cadeia produtiva em um ambiente livre de mercado, sem interferência do Governo, exigindo ampla organização e coordenação de todos os elos que a compõem.

A primeira característica dessa cadeia produtiva, que não pode ser negligenciada, já que interfere na quantidade e qualidade de matéria-prima, é seu principal produto, a cana. Sendo de origem agrícola, está sujeita aos riscos climáticos, fitossanitários (tratamentos sanitários dados às plantas) e à sazonalidade da produção que podem causar fortes impactos sobre a quantidade ofertada e sobre a renda dos produtores ao longo do ano/safra.

É importante considerar que, dado o tamanho da produção brasileira, o impacto sobre os preços decorrentes de uma variação da safra nacional faz-se sentir também no mercado internacional, tendo em vista que o Brasil é o maior exportador mundial de açúcar. Variações não planejadas da oferta de cana-de-açúcar têm impacto nos preços de todos os produtos e pode

comprometer o abastecimento dos produtos finais, sobretudo o do álcool combustível. O açúcar, por ser uma *commodity* (mercadoria, bem consumível) internacional, está disponível no mercado mundial em quantidades suficientes para regular o abastecimento, em caso de falta do produto.

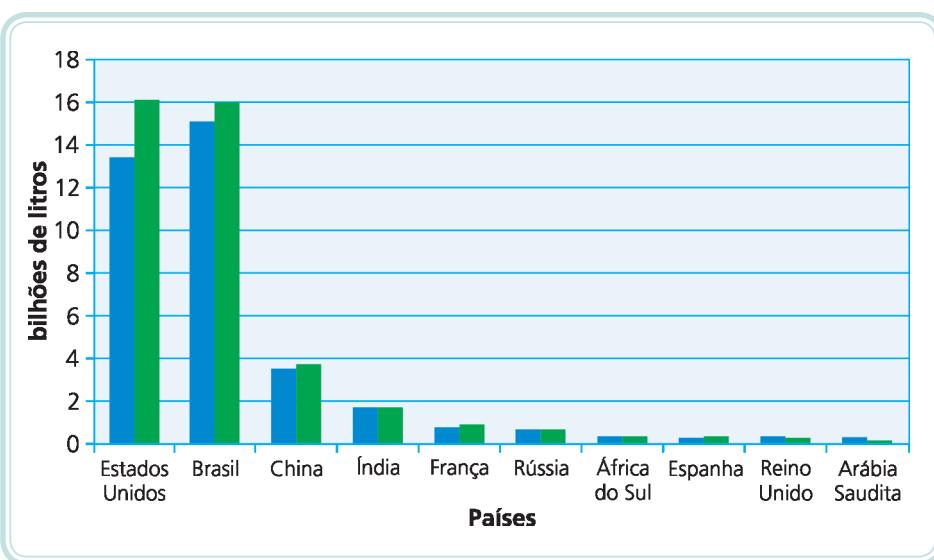
O sucesso de alguns programas no setor que envolve açúcar e álcool, aliado à evolução obtida pela pesquisa agropecuária e industrial, proporcionou uma competitividade brasileira em açúcar e álcool muito elevada, inclusive em relação aos principais produtores mundiais. A Tabela 1.2 ilustra a competitividade do álcool brasileiro com valores relativos ao ano de 2004. Atualmente, o custo de produção do álcool brasileiro está em torno de R\$ 0,75 a R\$ 0,80 por litro.

**Tabela 1.2: Competitividade do álcool brasileiro com valores relativos ao ano de 2004**

Locais	Álcool anidro (US\$ 1)	Matéria-prima
Brasil/Centro-Sul	0,15	Cana
Brasil/Norte-Nordeste	0,18	Cana
Estados Unidos	0,33	Milho
Europa	0,55	Beterraba e trigo

Fonte: [www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-...](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-...)

Em relação à produção mundial de etanol, os Estados Unidos e o Brasil são os maiores produtores e respondem, juntos, por 70% da oferta global. Mundialmente, a produção de etanol totalizou 46 bilhões de litros em 2005.

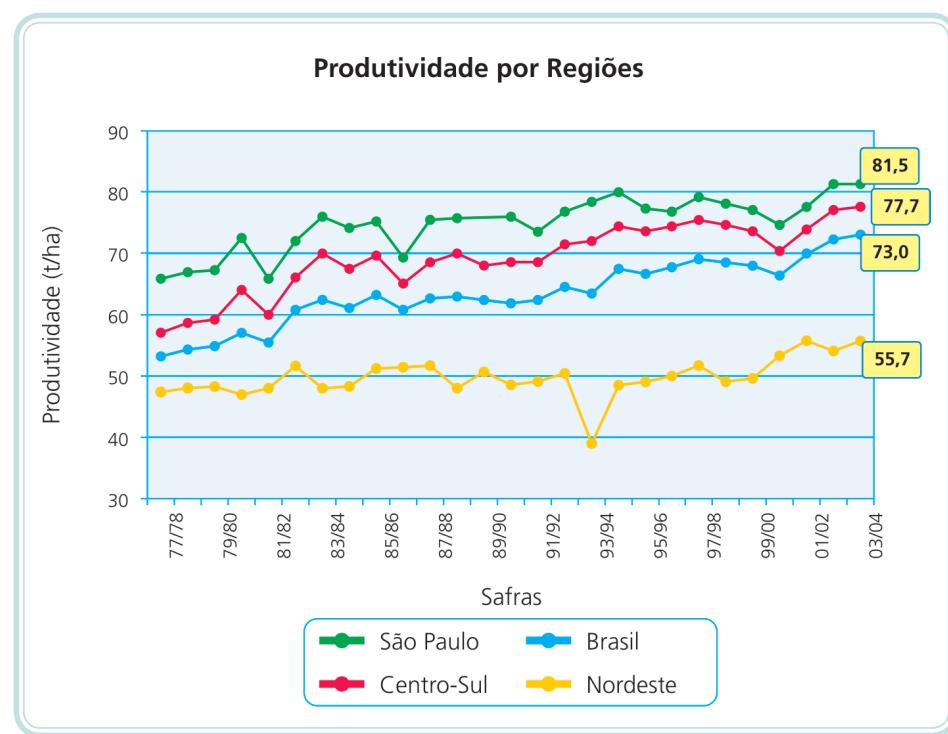


**Figura 1.10: Competitividade do álcool brasileiro no mundo**

Fonte: [www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-...](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-...)

Na safra 2006/07, 14 bilhões de litros de álcool foram destinados ao mercado interno e 3,5 bilhões para o mercado externo. O etanol carburante no Brasil substitui hoje mais de 40% da gasolina. Com o crescimento das vendas dos veículos com motor *flex* e com a competitividade do etanol frente à gasolina (com preços, em grande parte do mercado, abaixo de 60% do preço da gasolina), a expectativa é de que, em 2012/13, o setor sucroalcooleiro esteja processando, aproximadamente, 700 milhões de toneladas de cana, produzindo 36 bilhões de litros de álcool e 39 milhões de toneladas de açúcar. O crescimento da oferta dar-se-á com a implantação de novas unidades, expansão de unidades existentes e aumento da produtividade agroindustrial. Esse crescimento está sendo realizado com várias dezenas de unidades que estão sendo construídas.

A expansão está ocorrendo em áreas de pastagem, principalmente em áreas parcialmente degradadas, situadas no oeste do estado de São Paulo, no triângulo mineiro, em Goiás e Mato Grosso do Sul.



**Figura 1.11: Evolução da produtividade de cana-de-açúcar por regiões**

Fonte: IBGE, 2003

Atualmente, 50% da cana é utilizada na produção de etanol. Como a produção tende a crescer mais rapidamente, estima-se que para 2012 mais de 60% da oferta de cana será usada para etanol.

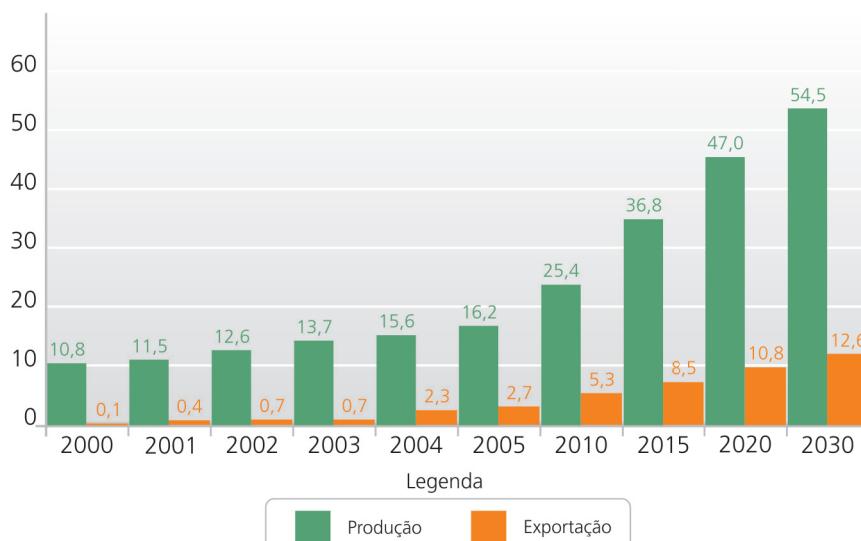
Para processar esta monumental quantidade de cana-de-açúcar no Brasil, existiam, em janeiro de 2008, 370 unidades industriais, distribuídas por estados e regiões, em 20 estados brasileiros, sendo 117 destilarias autônomas (só produzem álcool), 240 anexas (instaladas ao lado das usinas de açúcar) e 15 usinas de açúcar (só produzem açúcar), Figura 1.13.

### Exemplo

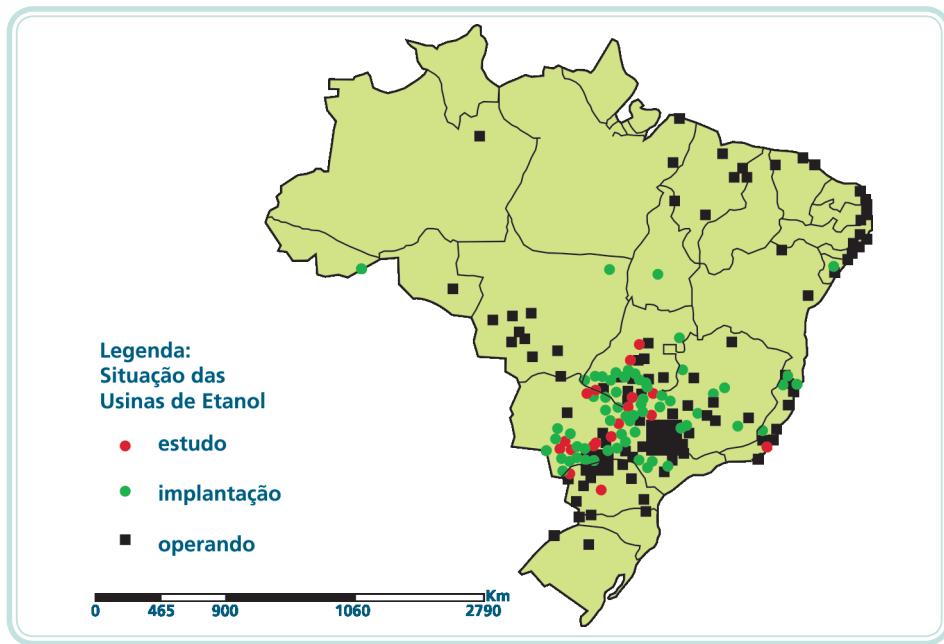
Analise o gráfico abaixo e compare as produtividades.



**Evolução na oferta de energia da cana-de-açúcar nos próximos 30 anos**



**Figura 1.12: Evolução na oferta de energia da cana-de-açúcar nos próximos 30 anos**  
Fonte: UNICA



**Figura 1.13: Distribuição geográfica das usinas de cana-de-açúcar no Brasil**  
Fonte: EPE, 2008

## 1.4 Histórico da fermentação etanólica



- 9000 a.C. – egípcios fabricam bebidas.
- 4000 a.C. – pão, queijo iogurte.
- 1150 – produção de vinagres a partir de vinhos.
- Século XIV – estabelecimento da indústria de vinagre.
- 1680 – Van Leeuwenhoek observa e descreve a célula de levedura (microscópio).
- 1789 – Lavoisier demonstra que a **fermentação** produz etanol e CO<sub>2</sub>.
- 1815 – Gay Lussac formula a estequiometria da fermentação, complementando estudos de Lavoisier.
- 1818 – Erxleben relaciona a fermentação com **leveduras**.

### A-Z

#### fermentação

Reação espontânea de um corpo orgânico, pela presença de um fermento que o decompõe.

#### leveduras

Processo de transformação química acompanhada de efervescência, da natureza da produzida pelo fermento ou semelhante a ela.

- 1836 – Gagniard-Latour, Schann e Kutzin formulam a teoria vitalícia da fermentação.
- 1837 – Erxleben, De La Tour, Schawnn Kutzin demonstram que as leveduras são responsáveis pela fermentação etanólica.
- 1857 – Pauster demonstra a origem microbiológica da fermentação e explica a natureza anaeróbica do processo fermentativo.
- 1894 – obtenção de culturas puras de leveduras por Hansen, Muller-Thurgau e Wortman.
- 1897 – Buchner promove fermentação, com extrato livre de células de leveduras.

A partir dos estudos de Buchner, principalmente durante a primeira metade do século 20, foram elucidadas as reações enzimáticas responsáveis pela conversão do açúcar em etanol e CO<sub>2</sub> pelas leveduras.

## Resumo

Nessa aula foram estudados a importância da cana-de-açúcar e do etanol na indústria alcooleira e da matriz energética do Brasil e do mundo, através do histórico da fermentação etanólica.

## Atividades de aprendizagem

1. Comente a história da fermentação etanólica.
2. O que você entende por álcool anidro e hidratado? Onde são utilizados?
3. Descreva a importância da criação do Proálcool para a indústria alcooleira no Brasil.





# Aula 2 – Processos de produção da fermentação etanólica



**Figura 2.1: Usinas de álcool**

Fonte: UNICA

## Objetivos

Compreender o processo de produção do etanol a partir da cana-de-açúcar.

Identificar os aspectos gerais da cana-de-açúcar.

Estudar todo o processo de fabricação do álcool.

## 2.1 Tipos de fermentação etanólica

Existem basicamente três processos para a fabricação do etanol: a fermentação de carboidratos, a hidratação do etileno e a redução do acetaldeído (normalmente preparado pela hidratação do acetileno). Antes de 1930, o etanol era preparado somente por fermentação.

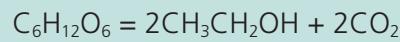
A fermentação etanólica (fermentação de carboidratos) é o processo mais utilizado no Brasil, no EUA e, de modo geral, nos demais países. O Brasil é um país com dimensões continentais, com diversidade de clima e solos, e a cana-de-açúcar é produzida em 20 estados da federação, durante todo o ano. A safra de cana do N/NE se inicia quando a C/SUL está próxima do fim. Quando a do C/SUL está no final, a do N/NE está no início. Isso propicia que a produção de etanol ocorra durante o ano inteiro no país.

O etanol é produzido desde a antiguidade pela fermentação de açúcares. Todas as bebidas alcóolicas e mais da metade do etanol industrial ainda são feitos pelo processo chamado de **zimase**.

## A-Z

**zimase**

É a enzima responsável pela conversão dos açúcares em álcool e gás carbônico.



Entretanto, ele pode ser obtido industrialmente como um subproduto da destilação do petróleo. O etileno é um subproduto do petróleo que, em condições de hidratação, pode dar origem ao etanol. Veja:

Eteno → (em presença de água) → Etanol

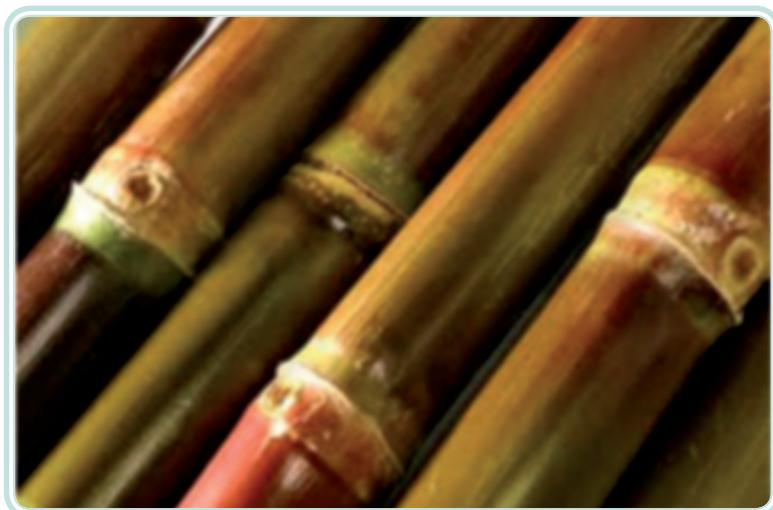
O álcool etílico ou etanol pode ser obtido a partir de vegetais ricos em açúcar, como a cana-de-açúcar, a beterraba e as frutas, do amido, extrato da mandioca, do arroz, do milho e da celulose, composto orgânico hidrocarbonado ( $C_6H_{10}O_5$ ), que constitui a parte sólida dos vegetais e principalmente das paredes das células e das fibras, extraída da madeira, utilizada na fabricação de papel, seda artificial extraída principalmente dos eucaliptos. A maior parte do álcool produzido é obtida através da cana-de-açúcar. A mandioca também é utilizada em menor escala.

- 1 hectare de cana-de-açúcar produz 3.350 litros de álcool.
- 1 hectare de mandioca produz 2.550 litros de álcool.
- 1 hectare de eucalipto possui em média 20 toneladas, que produz 2.100 litros.

## 2.2 Aspectos gerais da cana-de-açúcar

Da família das gramíneas Poaceae, a cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), é uma planta com metabolismo C<sup>+</sup> com produção crescente ao aumento de radiação, é extremamente eficiente na fixação do CO<sub>2</sub> e no uso de água e de

nutrientes, portanto, indicado para regiões tropicais contribuindo significativamente para a fixação do CO<sub>2</sub> atmosférico e à redução na taxa de aquecimento global. Para responder com alta produtividade a cana-de-açúcar requer solos corrigidos e equilibrados. No Brasil encontra condições climáticas favoráveis para se desenvolver em quase todo território, exceto no Rio Grande do Sul e Santa Catarina, devido ao risco de geadas. (CASAGRANDE, 1991; CAMURA & OLIVEIRA, 1993).



**Figura 2.2: Cana-de-açúcar**

Fonte: [www.riobranco.org.br/.../grupo4/site/cana.htm](http://www.riobranco.org.br/.../grupo4/site/cana.htm)



**Figura 2.3: Cana-de-açúcar**

Fonte: [conversademenina.wordpress.com/.../](http://conversademenina.wordpress.com/.../)



**Figura 2.4: Cana-de-açúcar**

Fonte: [www.carlrogers.com.br/.../civilizacao.htm](http://www.carlrogers.com.br/.../civilizacao.htm)

## A-Z

### colmos

Caule das plantas gramíneas.

### rizoma

Caule subterrâneo no todo ou em parte e de crescimento horizontal.



**Figura 2.5: Rizomas de cana-de-açúcar formadores de touceiras em cana-soca e ressoca**

Fonte: Cesnik & Miocque, 2004



**Figura 2.6: Colmos de cana-de-açúcar**

Fonte: Iaiá, 2009



**Figura 2.7: Crescimento dos colmos**

Fonte: Iaiá, 2009

## A-Z

### sacarose

Principal produto contido na cana, dissacarídio de fórmula  $C_{12}H_{22}O_{11}$  e não redutor.

As variedades são escolhidas pela produtividade, resistência a doenças e pragas, teor de **sacarose**, facilidade de brotação.



**Figura 2.8: Plantas de cana-de-açúcar, variedade RB 92579; planta com sete meses de idade**

Foto: Carlos Henrique de Azevedo Farias

## A-Z

### calagem

Mistura de cal na terra, para certas culturas ou, em campos pobres, para melhorar o índice de acidez, beneficiando a vegetação natural.

Para que possa fornecer matéria-prima para a destilaria durante toda a safra, em torno de 06 meses, é necessário que a lavoura de cana-de-açúcar, tenha variedades precoces, médias e tardias, isto é, variedades em que a maturação da cana ocorra no início, meio e fim da safra.

A cana-de-açúcar se desenvolve melhor em solos profundos, argilosos de boa fertilidade, com alta capacidade de retenção de água, não sujeitos ao encharcamento, com pH entre 6,0 e 6,5. Normalmente no preparo do solo para o plantio, há necessidade de se fazer uma **calagem** para que o pH atinja esses valores e uma adubação baseada na análise do solo e nas exigências nutricionais da cultura.

Depois da terra arada e gradeada, faz-se o sulco de plantio com espaçamento de 1,0 a 1,35 metros entre as linhas. No sulcamento o solo é adubado simultaneamente. No fundo do sulco os colmos cortados são depositados normalmente e recobertos com terra. As gemas vegetativas que se localizam nos “nós” dos colmos darão origem a uma nova planta.

A cana-de-açúcar, uma vez plantada, produzirá por 04 a 05 anos consecutivamente, quando a produtividade diminui muito é feita a reforma do canavial. A cana-de-açúcar de 1º corte chamamos de cana-planta, a de 2º corte

cana-soca e de 3º corte em diante ressocca. O plantio efetuado no período de fevereiro a maio, produzirá a cana-de-açúcar de ano e meio e o efetuado no período de outubro a dezembro, originará a cana de ano.

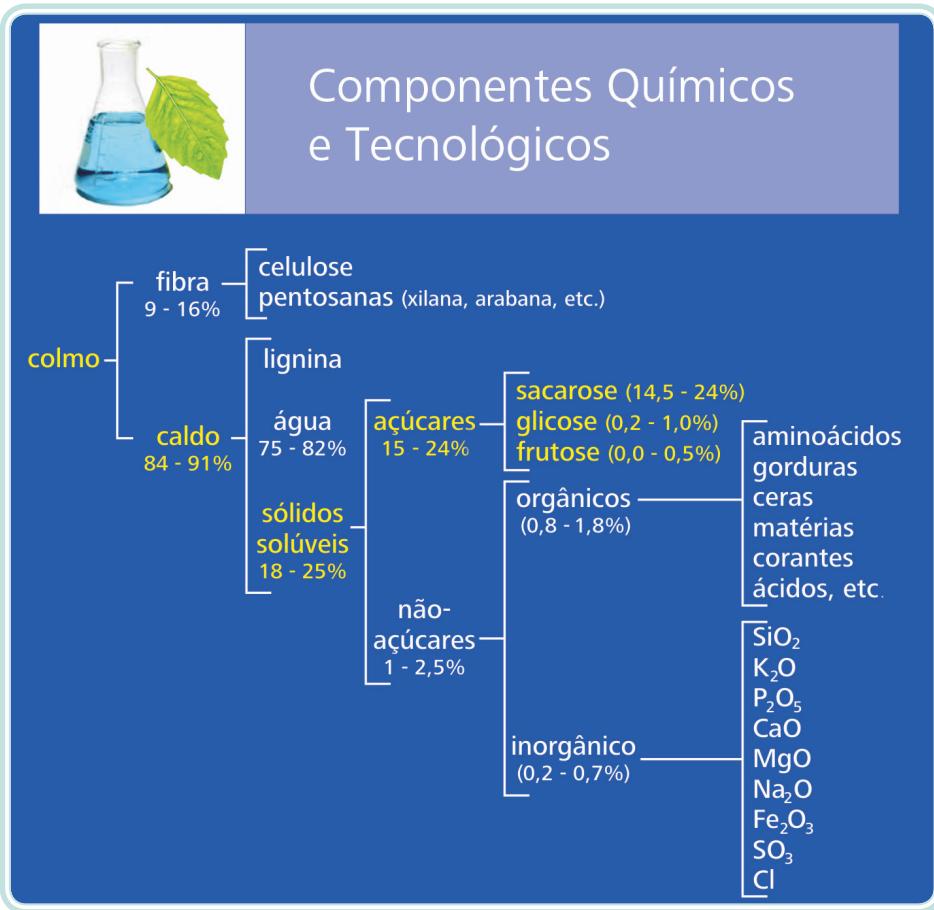
No início da safra a colheita é manual, queimando-se o canavial para eliminar as folhas secas da cana e assim facilitar o corte, aumentando o rendimento das moendas na indústria. Depois de cortada e despontada, a cana-de-açúcar é depositada em montes que abrange sete linhas. Esses montes serão colocados em caminhões e carretas por uma carregadeira, e transportados à indústria. A cana-de-açúcar deverá ser moída dentro de 72 horas após o corte. Após esse período existe a infestação de fungos e bactérias prejudiciais à fermentação do caldo que será muito alto e parte da sacarose estará perdida pela respiração do colmo.



**Figura 2.9: Colheita da cana-de-açúcar**

Fonte: [www.revistaportuaria.com.br](http://www.revistaportuaria.com.br)

Após o plantio, a cana-de-açúcar passa pelas fases de crescimento e maturação. O período da safra ocorre de abril a dezembro. Com frio e seca a quantidade de açúcar aumenta muito. Caso não ocorra, a própria planta consome o açúcar que produziu, diminuindo a quantidade de álcool obtida. Após o corte é transportada à usina, lavada, picada e finalmente moída.



**Figura 2.10: Componentes químicos e tecnológicos da cana-de-açúcar**

Fonte: Lopes, 2009



## Cana-de-açúcar

### • Açúcares

Sacarose (não redutor);

Glicose + Frutose (redutores).

### • Fibras

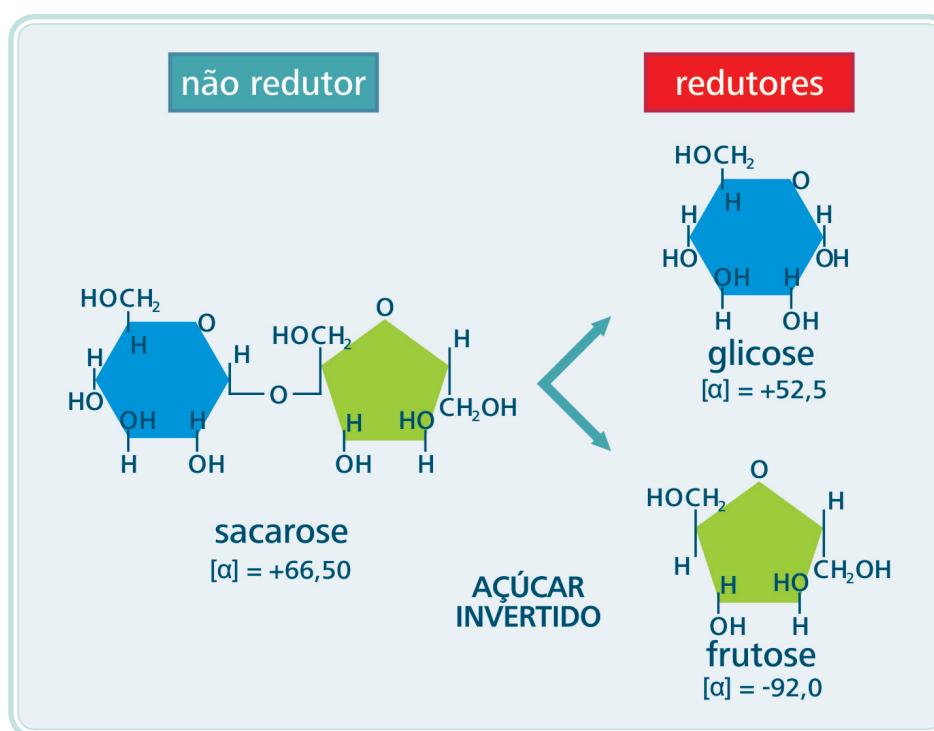
Celulose – 48%;

Hemicelulose – 25%;

Lignina – 12%.

- Minerais
- Fenóis e Amido

A sacarose é o principal açúcar presente na cana de açúcar. A figura 2.11, apresenta um diagrama da quebra da molécula de sacarose em glicose + frutose, feita por uma enzima chamada invertase. A somatória do desvio da luz polarizada (glicose +) com o desvio da luz polarizada (frutose -) é chamada de açúcar invertido.



**Figura 2.11: Quebra da molécula de sacarose em glicose + frutose**

Fonte: Lopes, 2009 A

## 2.3 Processo de fabricação do álcool

A produção de etanol é feita a partir da cana-de-açúcar e obedece aos procedimentos mostrados nas Figuras 2.12, 2.13, 2.14 , 2.15 e 2.16.

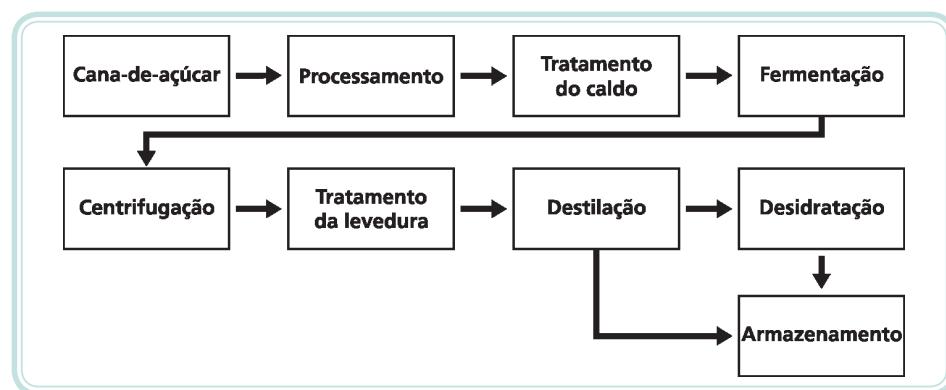
A moagem produz um caldo (garapa) e bagaço (parte sólida), rica em celulose. A mistura garapa-resíduo é filtrada. Feita a separação, o bagaço é utilizado para cogeração de energia. Como matéria-prima pode ser utilizado na produção de celulose, chapas de aglomerado e ração animal. A garapa é aquecida para eliminar a água, formando um líquido viscoso rico em açúcar, o melaço, do qual se pode obter tanto o açúcar como o álcool.

## A-Z

### mosto

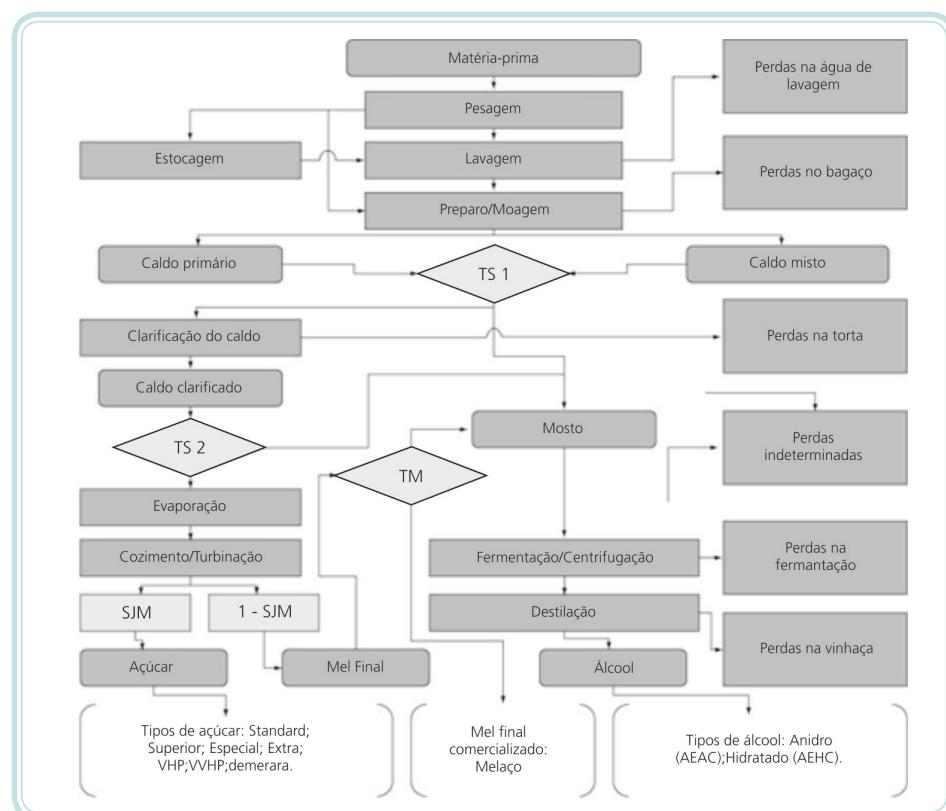
Toda mistura açucarada (caldo – mel – água) destinada à fermentação alcoólica.

O álcool é obtido através da fermentação. Ao se acrescentar água e um pouco de ácido ao melaço obtemos o produto chamado de fermentação. Os microrganismos, ao agirem, reduzem enzimas que aceleram a transformação do açúcar, agem como catalizadores da reação que transforma o açúcar em álcool. Esse processo tem duração de 50 horas, e o álcool obtido equivale a 13% do volume do **mosto** de fabricação. Ao final da fermentação, inicia-se a destilação para separar o álcool.



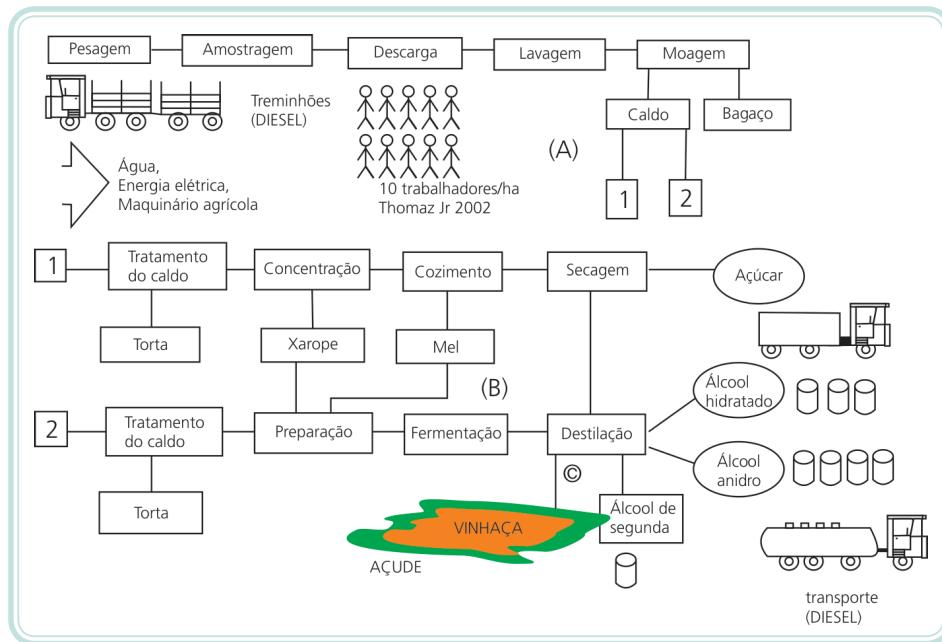
**Figura 2.12: Processamento da cana-de-açúcar**

Fonte: [www.brasilescola.com/quimica/producao-ethanol.htm](http://www.brasilescola.com/quimica/producao-ethanol.htm)



**Figura 2.13: Processo de produção de açúcar e álcool**

Fonte: [www.brasilescola.com/quimica/producao-ethanol.htm](http://www.brasilescola.com/quimica/producao-ethanol.htm)



Para saber mais sobre processo de produção de açúcar e álcool, acesse:  
<http://www.brasilescola.com/quimica/producao-ethanol.htm>

**Figura 2.14: Processo de produção de açúcar e álcool**

Fonte: Adaptado de Camargo et al, 1990

## 2.4 Moagem da cana

A cana que chega à unidade industrial é processada o mais rapidamente possível. Este sincronismo entre o corte, transporte e moagem é muito importante, pois a cana é uma matéria-prima sujeita a contaminações e consequentemente, de fácil deterioração. A moagem diária é de 9.000 toneladas.

Antes da moagem, a cana é lavada nas mesas alimentadoras para retirar a terra proveniente da lavoura. Após a lavagem, a cana passa por picadores que trituram os colmos, preparando-a para a moagem. Nesse processo as células da cana são abertas sem perda do caldo. Após o preparo, a cana desfibrada é enviada à moenda para extrair o caldo. Na moenda, a cana desfibrada é exposta entre rolos submetidos a uma pressão de aproximadamente 250 kg/cm<sup>2</sup>, expulsando o caldo do interior das células. Este processo é repetido por seis vezes. Adiciona-se água numa proporção de 30%. A isso se chama embebição composta, cuja função é embeber o interior das células da cana, diluindo o açúcar ali existente e, com isso, aumentando a eficiência da extração, conseguindo-se extrair cerca de 96% do açúcar contido na cana. O caldo extraído vai para o processo de tratamento do caldo, e o bagaço para as caldeiras.



**Figura 2.15: Recepção e moagem da cana-de-açúcar**

Fonte: Agência de Informação Embrapa, cana-de-açúcar, 2007

## A-Z

### decantação

Purificação de um líquido para o libertar de impurezas ou resíduos.

### brix

Porcentagem de sólidos solúveis contidos em uma solução. Exemplos de sólidos solúveis: sal e açúcar.

## 2.4.1 Tratamento do caldo

Parte do caldo é desviada para tratamento específico para a fabricação de álcool. Esse tratamento consiste em aquecer o caldo a 105°C sem adição de produtos químicos e, após isso, decantá-lo. Após a **decantação**, o caldo clarificado irá para a pré-evaporação, e o lodo para novo tratamento, semelhante ao feito com o do açúcar.

## 2.4.2 Pré-evaporação

Na pré-evaporação o caldo é aquecido a 115°C, favorecendo a evaporação da água e a concentração a 20° **brix**. Esse aquecimento favorece a fermentação por fazer uma “esterilização” das bactérias e leveduras selvagens que concorreriam com a levedura do processo de fermentação.

## 2.4.3 Preparo do mosto

Mosto é um líquido açucarado que pode ser fermentado. O mosto é composto de caldo clarificado, melado e água. O caldo quente que vem do pré-evaporador é resfriado a 30°C em trocadores de calor tipo placas e enviado às dornas de fermentação. No preparo do mosto, definem-se as condições gerais de trabalho para a condução da fermentação como regulagem da vazão, teor de açúcares e temperatura. Densímetros, medidores de vazão e controlador de Brix automático monitoram esse processo.

## **2.4.4 Fermentação**

A fermentação é contínua e agitada, consistindo de 4 estágios em série, composto, de três dornas no primeiro estágio, duas dornas no segundo, uma dorna no terceiro e uma dorna no quarto estágio. Com exceção do primeiro, o restante tem agitador mecânico. As dornas têm capacidade volumétrica de 400.000 litros cada uma, todas fechadas com recuperação de álcool do gás carbônico. É na fermentação que ocorre a transformação dos açúcares em etanol, ou seja, do açúcar em álcool. Utiliza-se uma levedura especial para fermentação alcoólica, a *Saccharomyces uvarum*. No processo de transformação dos açúcares em etanol, há desprendimento de gás carbônico e de calor, portanto, é necessário que as dornas sejam fechadas para recuperar o álcool arrastado pelo gás carbônico e pelo uso de trocadores de calor para manter a temperatura nas condições ideais para as leveduras. A fermentação é regulada para 28°C a 30°C. O mosto fermentado é chamado de vinho. Esse vinho contém cerca de 9,5% de álcool. O tempo de fermentação é de 6 a 8 horas.

## **2.4.5 Centrifugação do vinho**

Após a fermentação a levedura é recuperada do processo por centrifugação, em separadores do fermento e do vinho. O vinho delevurado irá para os aparelhos de destilação onde o álcool é separado, concentrado e purificado. O fermento, com uma concentração de aproximadamente 60%, é enviado às cubas de tratamento.

## **2.4.6 Tratamento do fermento**

A levedura, após passar pelo processo de fermentação, se “desgasta”, por ficar exposta a teores alcoólicos elevados. Após a separação do fermento do vinho, o fermento a 60% é diluído a 25% com adição de água. Regula-se o pH em torno de 2,8 a 3,0 adicionando-se ácido sulfúrico que também tem efeito desfloculante e bactericida. O tratamento é contínuo e tem um tempo de retenção de aproximadamente uma hora. O fermento tratado volta ao primeiro estágio para começar um novo ciclo fermentativo. Eventualmente é usado bactericida para controle da população contaminante.

## **2.4.7 Destilação**

O vinho com 9,5% em álcool é enviado aos aparelhos de destilação. A Usina Ester produz em média 350 m<sup>3</sup> de álcool/dia, em dois aparelhos, um com capacidade nominal para 120 m<sup>3</sup>/dia e outro para 150 m<sup>3</sup>/dia. Produzimos álcool neutro, industrial e carburante, sendo o álcool neutro o produto de maior produção, 180 m<sup>3</sup>/dia. O álcool neutro é destinado à indústria de perfumaria, de bebidas e farmacêutica.

Na destilação do vinho resulta um subproduto importante, a vinhaça. A vinhaça ou vinhoto, rica em água, matéria orgânica, nitrogênio, potássio e fósforo, é utilizada na lavoura para irrigação da cana, na chamada fertirrigação.



**Figura 2.16: Fertirrigação da cana**

Fonte: Adaptado de Camargo et al, 1990

## 2.5 Algumas considerações importantes

A cana ao chegar à indústria é pesada em balança própria. A seguir é descarregada por guinchos, sendo uma parte armazenada para ser moída, quando não há transporte, e a outra é descarregada diretamente na mesa alimentadora onde é lavada para ser industrializada. A lavagem é importante, pois a cana vem da lavoura trazendo consigo bastante terra e areia, que prejudicariam o processo. Lavada a cana, a esteira vai transportá-la até o picador que a corta em pedaços e, a seguir, ao desfibrador, que abrirá suas células para facilitar a próxima etapa, que é a extração do caldo. Essa **extração** é feita nas moendas. A cana passa por quatro ternos de moenda para que todo o caldo seja aproveitado. Para que isso ocorra, é feita uma **embebição** d'água após a passagem do 1º terno. Dessa moagem vai resultar o caldo de cana e o bagaço. Parte será queimada na caldeira que é a unidade produtora de vapor, geradora de toda a energia necessária ao complexo industrial. Uma porcentagem é hidrolizada servindo para ração animal. O outro produto, o caldo, passa pelo “cush-cush”, que é dotado de uma peneira onde se separam o caldo e o bagacilho. Quase todos os açúcares existentes na cana estarão

**A-Z**

**extração**  
Porcentagem em pol extraído da cana.

**embebição**  
Água aplicada ao bagaço durante o processo de extração.

neste caldo, que é misto e bombeado para os aquecedores entre 90°C e 105°C, seguindo para o decantador onde ocorre a decantação das impurezas nele contidas. Isso resulta em caldo clarificado e **lodo** para a recuperação do caldo nele existente através de filtros rotativos a vácuo, retirando-se o caldo limpo e a **torta**, que é enviada para lavoura como adubo, pois é rica em sais minerais. O caldo clarificado é bombeado para um tanque “pulmão”, passando a seguir por um trocador de calor, onde é resfriado para então seguir para o processo de fermentação. A fermentação é o processo que transforma os açúcares em álcool, pela ação das leveduras. As leveduras estão contidas no fermento, que é misturado no caldo, para que todos os açúcares sejam transformados em álcool. A mistura vai ficar nas dornas por um período de 06 a 08 horas. Uma vez fermentado o caldo, obtém-se o vinho. O vinho é centrifugado, separando-se em duas partes: na primeira, obtém-se o leite de levedura que foi o responsável pela transformação. Essa parte será usada em novas fermentações, logo após sofrer um tratamento químico adequado. Além do processo de transformação uma porcentagem é desidratada servindo para ração animal. Na segunda parte, o vinho delevadurado contém de 7% a 8% de álcool, e o restante, impurezas líquidas. Como o álcool tem um ponto de ebulição menor do que o da água, é possível separar os dois por um processo de destilação. Na destilação aparece a vinhaça que é a parte aquosa do vinho, sendo um subproduto de alta importância para a lavoura, pois é rico em sais minerais, mas que também é um agente poluidor de meio ambiente. Se a vinhaça não for tratada e usada de forma racional, pode poluir os rios, ameaçando a fauna e as populações que se abastecem dessa água. A produção de 01 litro de álcool acarreta a produção de 13 litros de vinhaça, que após depositadas em tanques naturais é enviada para a lavoura através de canais, bombeada e distribuída por aspersores.

Finalmente, após a destilação, obtém-se o **álcool hidratado**, produzido dentro das normas do CNP-IAA, isto é, com grau alcoólico entre 92,6° e 93,8° INPM, para ser utilizado como combustível. Este álcool é armazenado em reservatórios de grande capacidade, aguardando para ser distribuído por todo País.

Todo esse processo é acompanhado de perto por um laboratório que cuida para que tudo saia da melhor forma e com maior qualidade possível, verificando desde a maturação da cana que irá ser industrializada, até a qualidade do álcool que está sendo produzido.

## A-Z

### **lodo**

Fração pesada obtida na decantação do caldo onde estão contidas as impurezas que foram decantadas.

### **torta**

Resíduo obtido da filtração do lodo dos decantadores.

## A-Z

### **álcool hidratado**

Mistura anidro-alcoólica que possui 93,2° + ou - 0,6% em peso de etanol.

Não é difícil notar que a indústria alcooleira no Brasil contribui muito na vida sócio-econômica do povo brasileiro oferecendo grande número de empregos, integração social, esporte, lazer e alto índice de arrecadação para os municípios.

## Resumo

Nessa aula trabalhamos o processo de produção do etanol, a partir da cana-de-açúcar, estudando todas as etapas de fabricação através da fermentação etanólica.



## Atividades de aprendizagem

- 1.** Pesquise e descreva de forma resumida os três principais processos utilizados para produção de etanol.
- 2.** Descreva de forma resumida o fluxograma e as etapas de fabricação do etanol.
- 3.** Descreva de forma resumida sobre os aspectos gerais da cana-de-açúcar.

# Aula 3 – Microrganismos agentes da fermentação etanólica

## Objetivos

Estudar o processo de ação dos microrganismos agentes da fermentação etanólica.

Compreender os fatores que influenciam a ação dos microrganismos agentes.

Identificar os tipos de processo de fermentação e os fatores que a influenciam.

## 3.1 Microrganismos

O microrganismo mais estudado para a produção de etanol é a levedura *Saccharomyces cerevisiae* seguida pela bactéria *Zymomonas mobilis*. Em escala industrial, no Brasil, predomina a levedura *Saccharomyces cerevisiae*. Em várias unidades industriais, ainda é comum, no início da safra, a utilização de levedura de panificação na forma prensada ou granulada seca. Em outras unidades industriais, ao final da safra, isola-se a levedura produtora de etanol e conserva-se o microrganismo em meio nutritivo até o início da safra seguinte, quando é reutilizada. É crescente o número de destilarias que utilizam leveduras isoladas e selecionadas de seus próprios processos de fermentação.

As **leveduras** formam uma das mais importantes subclasses dos fungos. Fungos como as bactérias estão espalhados pela natureza, embora eles vivam normalmente no solo e em regiões de umidade relativamente mais alta em que vivem as bactérias.

## A-Z

### Leveduras

Fermento obtido como subproduto de cervejaria e empregado na panificação e na dieta, por conter um complexo de vitamina B.

## 3.2 Fermentação etanólica

É um processo metabólico desenvolvido pela atividade de enzimas produzidas por microrganismos, que promovem transformações químicas em substâncias orgânicas.

### 3.2.1 Leveduras

As leveduras são unicelulares e se reproduzem normalmente por gemação ou brotamento. Elas são facilmente diferenciáveis das bactérias por apresentarem dimensões maiores e por suas propriedades morfológicas.

As células de levedura são esféricas, elípticas ou cilíndricas, variando grandemente em suas dimensões (*Saccharomyces cerevisie* 2 a 8 micrometros de diâmetro e 3 a 15 micrometros de comprimento).

Elas apresentam o “efeito Pasteur”, ou seja, em anaerobiose fermentam, com formação de pouca biomassa e muito etanol e, em presença de muito oxigênio, ocorre o contrário.

A fermentação alcóolica ocorre devido ao fato de que as células de levedo produzem a energia que lhes é necessária para sobreviver, por meio de dois fenômenos de degradação da matéria orgânica: a respiração que necessita do oxigênio do ar ou a fermentação que ocorre na ausência de oxigênio do ar. A fermentação alcóolica corresponde a uma má utilização de energia. Assim, a levedura necessita transformar muito açúcar em álcool, para assegurar suas necessidades energéticas.

Nessas condições, a multiplicação da levedura é pequena; ao contrário, o rendimento da transformação do açúcar em álcool é grande, em relação ao peso da levedura. A composição exata do açúcar foi determinada por Gay-Lussac.

É ainda de sua autoria a equação que descreve a fermentação alcóolica:



#### Glicose álcool etílico dióxido de carbono

Ou seja, 180g de glicose, resultam 92g de álcool etílico e 88g de CO<sub>2</sub>. Essa reação, apesar de representar a parte fundamental do processo não é, porém, completa, pois outras substâncias se formam além do álcool etílico e CO<sub>2</sub>.

Condições anaeróbias: glicose → piruvato → 2 etanol + 2CO<sub>2</sub> fermentação

(-56 kcal/mole)

Condições aeróbias: glicose → piruvato → 2 etanol + 2CO<sub>2</sub> → O<sub>2</sub> respiração

(-686 kcal/mole)

A proporção de álcool contida em um vinho é medida em graus alcoólicos, segundo o princípio de Gay-Lussac. Assim, por exemplo, quando se diz que um vinho tem 11°G.L. significa que este conta com 11% do seu volume em álcool, ou seja, que em 100 ml do vinho considerado, 11 ml são de álcool puro (anidro).

*Saccharomyces cerevisiae* é largamente disseminada na natureza, no solo, em pó e em frutos em geral, podendo ser transportadas pelo vento e por insetos, porém a espécie é mais frequentemente associada com as fermentações industriais, em particular as fermentações para a produção de bebidas alcoólicas e etanol carburante. A espécie é também empregada na produção de levedura de panificação. Apesar de existirem microrganismos potenciais para a produção de etanol via fermentação, as leveduras ainda são os mais importantes microrganismos e praticamente os únicos utilizados industrialmente.

### **3.2.1.1 Desenvolvimento das leveduras**

#### **a) Crescimento populacional:**

- Suprimento de nutrientes;
- Composição química do meio;
- Composição física do meio;
- Constituição e estágio do desenvolvimento dos microrganismos.

#### **b) Desenvolvimento das leveduras é função de:**

- Condições do meio;
- Nutrientes e acidez;
- Aeração e agitação;
- Temperatura.

### **3.2.1.2 Objetivo da levedura**

Reproduzir-se (crescimento) para a perpetuação da espécie.

O crescimento em anaerobiose obriga a levedura a produzir etanol e CO<sub>2</sub>.

A escolha do etanol foi fruto de bilhões de anos de evolução, permitindo à levedura maior competitividade frente a outros organismos (ação antisséptica).

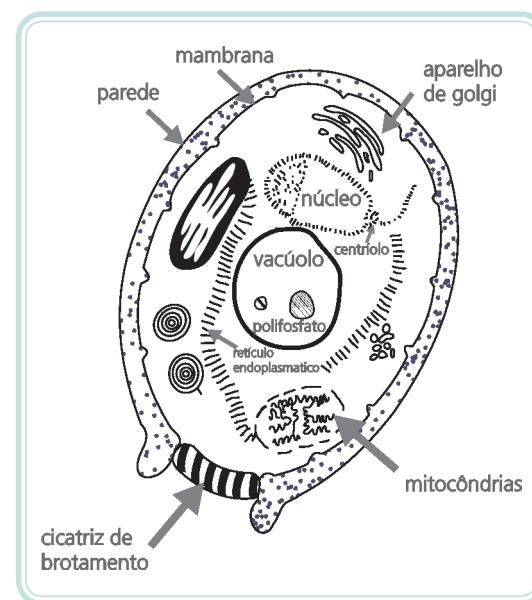
Transformando o açúcar em álcool a levedura obtém a energia (atp) e material necessários à sobrevivência e crescimento.

Álcool e gás carbônico são produtos de excreção, sem utilidade metabólica para a levedura em anaerobiose.

### 3.2.1.3 Metabolismo das leveduras

**Respiração** – oxidação biológica de substratos orgânicos que envolve um sistema multienzimático e o transporte de elétrons pela cadeia respiratória (ste), resultando na formação de  $H_2O$ .

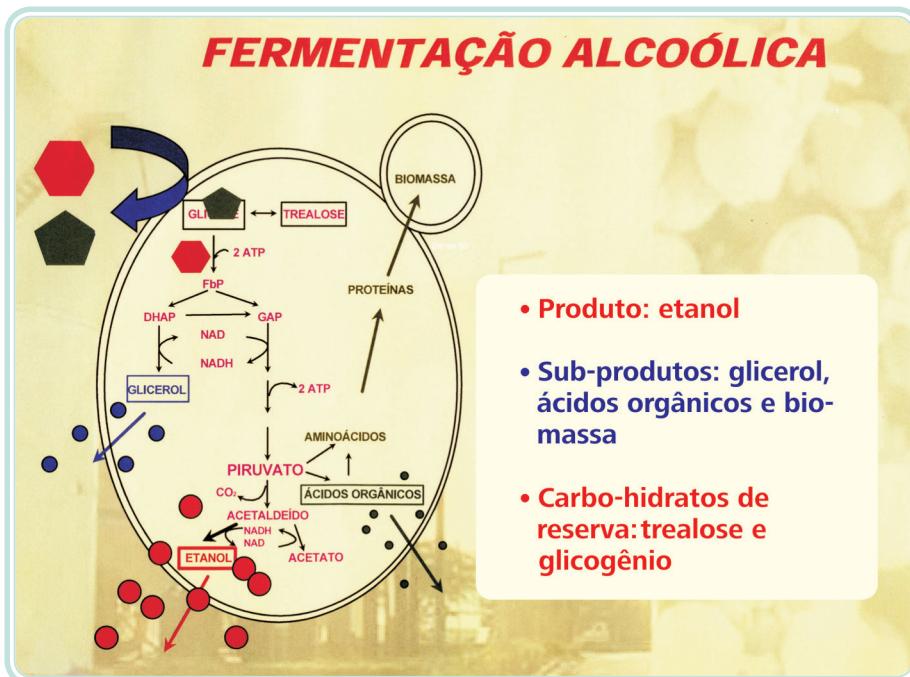
**Fermentação** – reações em que compostos orgânicos atuam como substratos e como agentes de oxidação, em uma sequência ordenada de reações enzimáticas.



**Figura 3.1: Microbiologia básica**

Fonte: [www.enq.ufsc.br/lab/probio/disc\\_eng](http://www.enq.ufsc.br/lab/probio/disc_eng)

A Figura 3.2 ilustra o processo químico da fermentação alcoólica, mostrando o produto final, subprodutos e os carbo-hidratos de reserva.



**Figura 3.2: Fermentação alcoólica**

Fonte: Lopes, 2009 C

### 3.2.1.4 Oxigênio

As leveduras foram os primeiros microrganismos encontrados capazes de crescer na ausência de oxigênio. Em anaerobiose (ausência de oxigênio) o açúcar é convertido principalmente em álcool e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Em aerobiose (presença  $\text{O}_2$ ) os produtos formados são o dióxido de carbono e água, multiplicando-se mais rapidamente e produzindo mais células.

## 3.3. Necessidades nutricionais e fatores de crescimento

As leveduras necessitam dos mesmos elementos químicos que as outras formas de vida. As leveduras necessitam de determinados fatores de crescimento tais como vitaminas.

### 3.3.1 pH e temperatura

Aceita-se em geral que as leveduras crescem melhor em meios ácidos pH entre 4,5 e 5,0. A temperatura ideal é de 20 a 30°C.

### 3.3.2 Multiplicação das leveduras

A multiplicação do fermento é feita no início da safra até que se atinja a população ideal para a condução do processo.

No decorrer da safra é feito o acompanhamento, verificando-se a existência de mortes por envelhecimento ou condições adversas e perdas de levedura no processo (centrífugas e fundo de dorna).

Nesse caso torna-se necessário criar condições de reprodução das células, controlando o equilíbrio do percentual de células ativas, tomando cuidados com:



- Teor alcoólico;
- Tempo de tratamento;
- Adição de bactericidas e;
- **Antibióticos.**

A-Z

#### Antibióticos

Substância produzida por célula viva (bactéria, mofo, levedura e outros vegetais) capaz de impedir a proliferação ou de causar a morte de germes patogênicos. Algumas dessas substâncias são também produzidas sinteticamente.

### 3.3.3 Preparo do mosto

Mosto é uma mistura de mel, xarope e caldo clarificado. Sua concentração é definida conforme a produção pretendida e a viabilidade da levedura. O mosto deve ter as seguintes características:



- Isenção de sólidos (bagacilho, areia, terra);
- Temperatura máxima de 32°C;
- Contaminação < 10<sup>2</sup> (ideal).

#### 3.3.3.1 Diluição do mosto

**Objetivo** – acrescentar a água ou caldo necessário para obter a concentração adequada de açúcar na alimentação das dornas.

#### 3.3.3.2 Resfriamento do mosto

**Objetivo** – reduzir a temperatura em média de 65°C para 28°C a 32°C. Consequências de temperaturas elevadas:



- Aumento da proliferação bacteriana;
- Redução da viabilidade celular;

- Queda no rendimento fermentativo;
- Probabilidade maior de floculação.

## 3.4 Princípios fundamentais: multiplicação

### 3.4.1 Aquecimento da água e do mosto

Garante uma maior velocidade na multiplicação da levedura e provoca inibição de leveduras não interessantes ao processo.

Temperatura ideal em torno de 35° a 37°C.

### 3.4.2 Oxigenação do meio

Esta etapa é de extrema importância para o sucesso da multiplicação da levedura em função da aerobiose.

Ocorre através da utilização de ar comprimido e por agitação mecânica.

### 3.4.3 Utilização de antibióticos

Necessário para inibir o crescimento de bactérias.

### 3.4.4 Brix de alimentação

Faixa ideal de operação: de 6° a 10° brix.

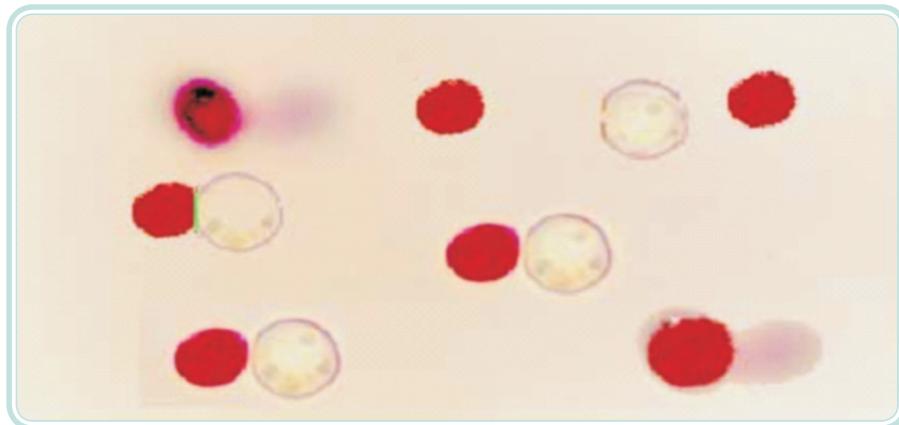
Para brix maiores que 10° a velocidade de multiplicação da levedura é menor.

### 3.4.5 Utilização de nutrientes

São importantes para favorecer a multiplicação rápida da levedura. Os mais utilizados são:

- Fontes de nitrogênio (sulfato de amônio);
- Fontes de magnésio (sulfato de magnésio);
- Fontes de potássio;
- E outros: zinco, fósforo, cálcio, etc.

A aplicação é necessária até atingir 5% de fermento dentro das dornas. Veja a Figura 3.3.



**Figura 3.3: Multiplicação de leveduras**

Fonte: [www.enq.ufsc.br/lab/probio/disc\\_eng](http://www.enq.ufsc.br/lab/probio/disc_eng)

### 3.5 Tipos de processos de fermentação

Podemos encontrar três tipos de processo de fermentação:



- Fermentação contínua;
- Fermentação descontínua;
- Fermentação Combat.

#### 3.5.1 Fermentação contínua

Neste processo utiliza-se dorna de grandes dimensões. O processo é ininterrupto operando da seguinte forma:

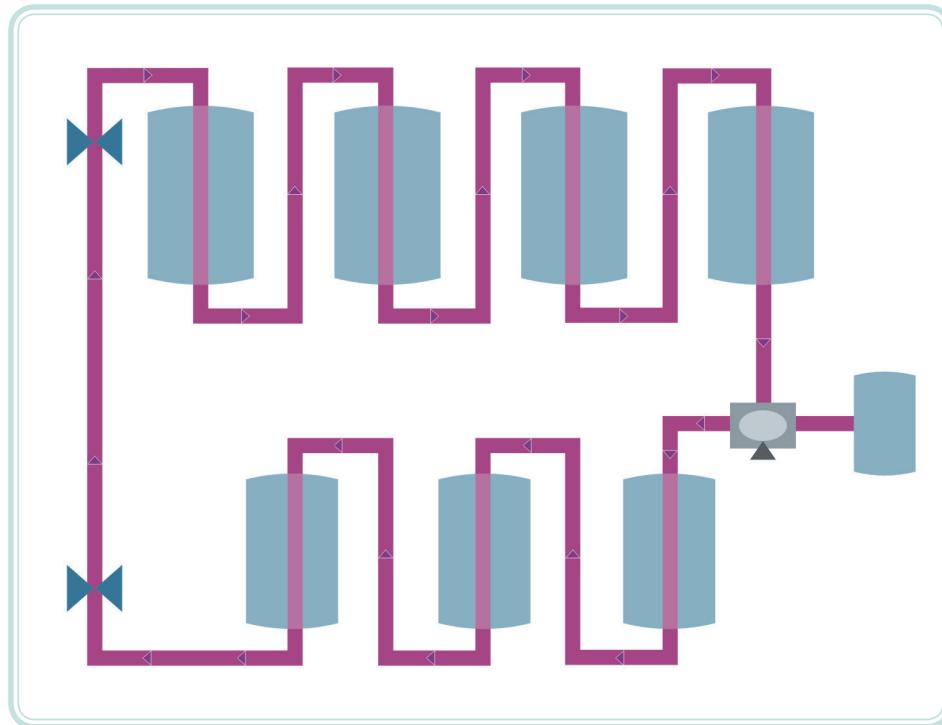


1º – O mosto é misturado à levedura na primeira dorna.

2º – Passará para as demais num processo contínuo até chegar à última dorna onde a concentração de açúcares estará o menor possível, podendo-se assim considerar a dorna como morta.

3º – O vinho bruto desta última dorna é enviado para centrifugação.

4º – O vinho centrifugado é enviado para o aparelho de destilação.



**Figura 3.4: Fermentação contínua**

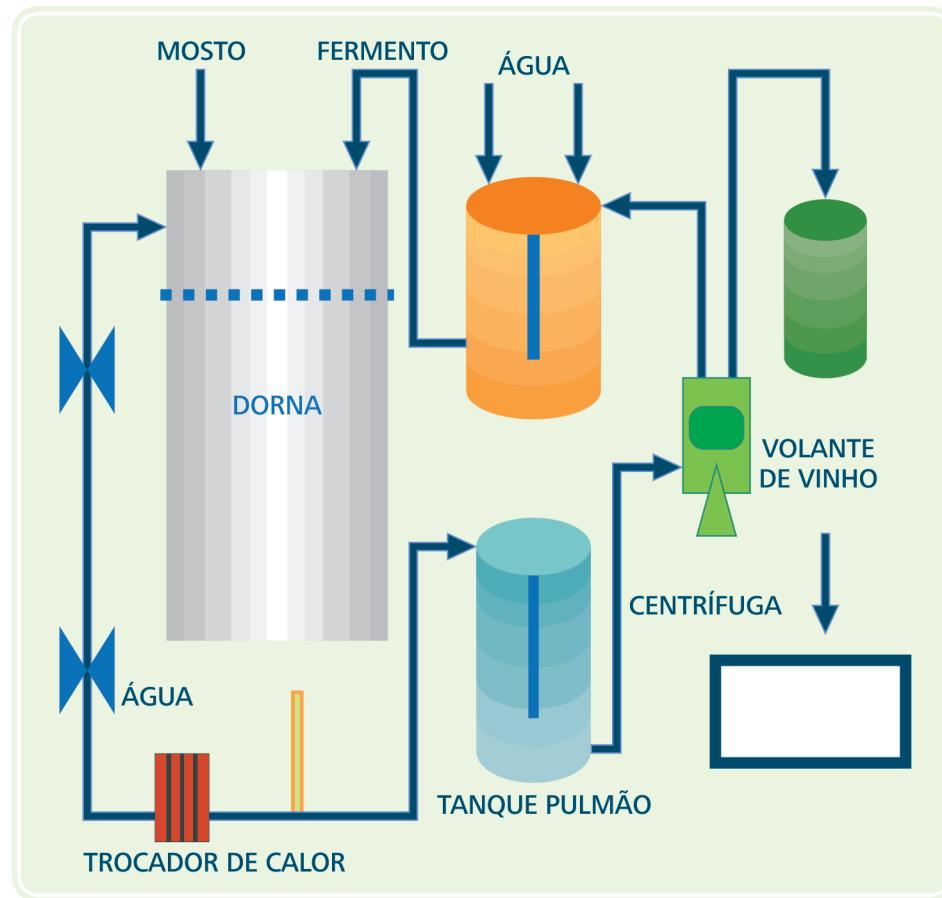
Fonte: [www.enq.ufsc.br/lab/probio/disc\\_eng](http://www.enq.ufsc.br/lab/probio/disc_eng)

### 3.5.1.1 Características deste processo

- Facilidade e custo baixo de automação;
- Custo baixo de instalação de equipamentos (menor nº de dornas);
- Difícil controle microbiológico;
- Dificuldade de limpeza das dornas.

### 3.5.2 Fermentação descontínua ou batelada

Nesse processo utilizam-se várias dornas geralmente com capacidade menor que as do processo contínuo. Podemos dizer que neste tipo de processo trabalhamos fazendo várias pequenas fermentações, pois as dornas são cheias, fermentadas e processadas uma a uma.



**Figura 3.5: Fermentação descontínua (batelada com centrifugação)**

Fonte: [www.enq.ufsc.br/lab/probio/disc\\_eng](http://www.enq.ufsc.br/lab/probio/disc_eng)

### 3.5.2.1 Características deste processo

- Alto custo de instalação e automação;
- Alto custo de manutenção;
- Facilidade no controle microbiológico;
- Limpeza das dornas com maior frequência.

### 3.5.3 Fermentação Combat

É uma mescla dos dois processos já citados em que há 1 dorna “mãe” por onde se começa o processo de alimentação e dela distribui-se para as demais dornas para término da fermentação.

## 3.6 Fatores que influenciam o processo de fermentação

### a) Temperatura da fermentação



### b) Temperatura ideal

A temperatura é de 33 a 34°C, sendo a máxima 35°C, isto é, se conseguir manter a contaminação sob controle.

Nessa temperatura a levedura se multiplica menos e aumenta o rendimento.

### c) Velocidade de alimentação

**Ideal** – quanto menor a velocidade menor estresse, menor produção de produtos secundários e maior rendimento.

**Crítico** – quanto maior a velocidade:

- Maior a produção de glicerol;
- Maior a infecção;
- Maior estresse da levedura;
- Alto custo da refrigeração;
- Alto custo de antibiótico.

### 3.6.1 Principais subprodutos

#### 3.6.1.1 Glicerol

Protetor estresse osmótico (quando há uma grande concentração de sais no meio).

Ácido Orgânicos: ácido succínico e ácido acético

- Ácido succínico – agente antibacteriano natural.
- Ácido acético – surge na fermentação em função da ação de bactérias.

#### 3.6.1.2 Biomassa

Crescimento da massa celular.

## 3.6.2 Fatores que causam perdas à fermentação

### 3.6.2.1 Espumas



As espumas são:

- Bolhas de gás;
- Aprisionadas por película líquida.

### A-Z

#### Flocação

Formação de flóculos. Modificação que um soluto coloidal (sal) pode apresentar, dando origem à separação das partículas (micelas) em suspensão no líquido.

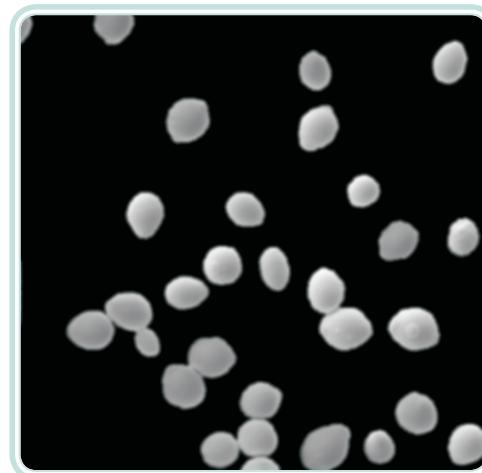
### 3.6.2.2 Flocação

- Ocorre pela presença de leveduras floculantes. Em produção de água ardente é comum a aplicação;
- Fermentação com centrífuga – deve-se adotar medidas rápidas para controlar esta flocação, diminuindo ao máximo os custos com tratamentos desnecessários (ácidos, antibióticos, desgastes de bicos e diminuição da sangria).

**Conclusão** – a melhor medida é a preventiva, ou seja, evitar que a levedura flocule.

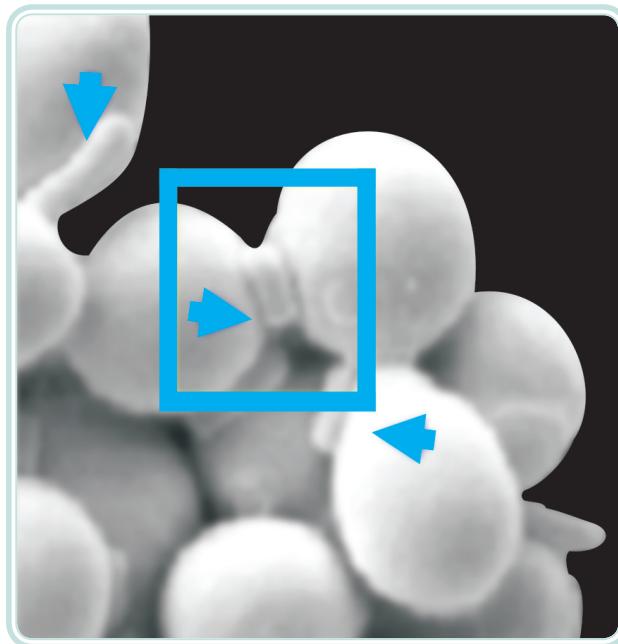
#### Causas da flocação

Resposta da levedura às mudanças do meio ambiente que podem ser provocados por bactérias e também representa um mecanismo de defesa da levedura em condições desfavoráveis à sua sobrevivência, ou seja, uma estratégia de sobrevivência.



**Figura 3.6: Células isoladas – ideal**

Fonte: [www.enq.ufsc.br/lab/probio/disc\\_eng](http://www.enq.ufsc.br/lab/probio/disc_eng)



**Figura 3.7: Floculação causada por bactéria**

Fonte: [www.enq.ufsc.br/lab/probio/disc\\_eng](http://www.enq.ufsc.br/lab/probio/disc_eng)

## Resumo

Nessa aula trabalhamos o processo de fermentação alcóolica através das leveduras, as necessidades nutricionais e fatores que influenciam o processo de fermentação das leveduras, a influência do PH, da temperatura na multiplicação das leveduras, os tipos de processos de fermentação: descontínua, contínua e Combat e os fatores que causam a perda da fermentação.

## Atividades de aprendizagem



1. Descreva o processo de fermentação das leveduras.
2. Descreva os tipos de processos de fermentação: o fluxograma e as etapas descontínua, contínua e Combat.
3. Descreva os fatores (pH, temperatura e multiplicação) que influenciam os processos de fermentação das leveduras.
4. Descreva os fatores que causam a perda da fermentação.



# Aula 4 – Destilação



**Figura 4.1: Usina de destilação do álcool**

Fonte: <http://www.planalcool.com.br>

## Objetivos

Estudar o processo de destilação e suas frações.

Compreender e identificar as fases de descrição do processo de destilação e desidratação, vantagens e desvantagens.

## 4.1 Características da destilação

Processo de destilação é aquele a que o vinho é submetido visando a sua separação em substâncias voláteis e condensáveis. O vinho é o mosto fermentado, formado por componentes sólidos, líquidos e gasosos.

As substâncias voláteis do vinho são formadas por compostos que apresentam diferentes graus de volatilidade como água, etanol, metanol, álcoois superiores,

ácido acético, ésteres e gás carbônico. Assim, temos de acordo com o grau de volatilidade, as seguintes frações:

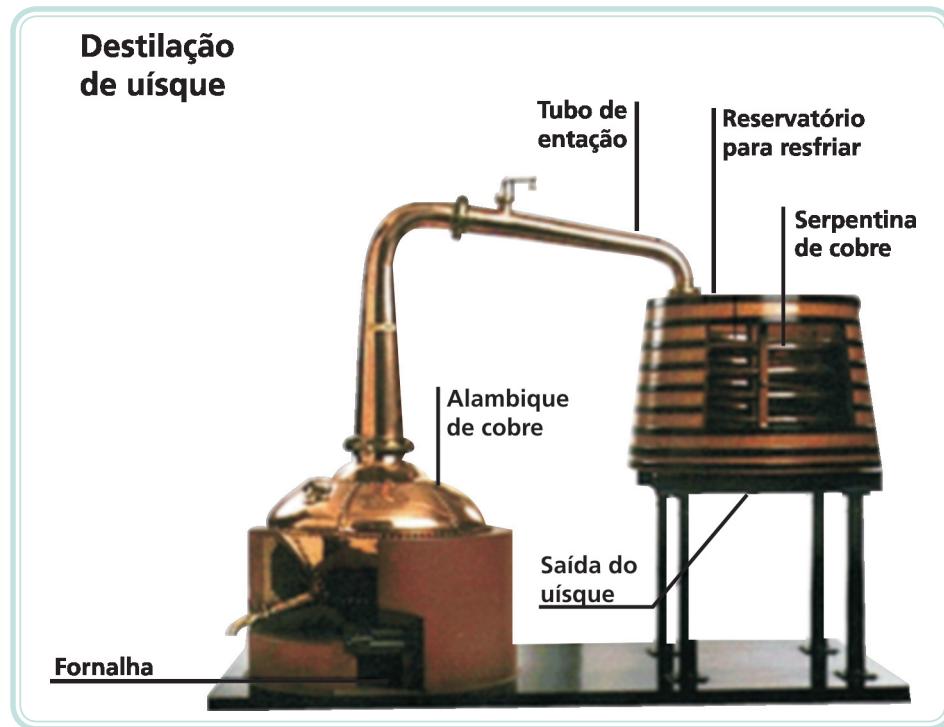


- **Cabeça** – são os componentes mais voláteis, recolhidos na primeira fração do condensado.
- **Coração** – fração intermediária, constituída basicamente de etanol.
- **Cauda** – constituída de compostos menos voláteis.

Se o vinho for submetido ao processo de destilação simples, temos duas frações:

- **Flegma** – constituído de água e os componentes voláteis do vinho (cabeça, coração e cauda). A flegma é subdividida em dois tipos:
  - Flegma de baixo grau** – teor alcoólico entre 35 a 65°GL;
  - Flegma de alto grau** – teor alcoólico entre 90 a 96°GL.
- **Vinhaça** – parte não volátil do vinho. O teor alcoólico nesse produto é virtualmente nulo, mas alguns componentes voláteis podem estar presentes. Denominado também de vinhoto, garapão e restilo.

Desde a Idade Média, há relatos de processos de destilação usando-se alambiques, principalmente, para a obtenção de bebidas alcoólicas a partir de um mosto fermentado. Este procedimento permitiu também aos químicos do passado, chamados alquimistas, separarem e/ou, concentrarem várias substâncias: etanol, ácido acético, ácido cítrico, terebentina, etc. Com o passar do tempo, a destilação foi subdividida de acordo com sua aplicação. Hoje em dia, são conhecidas as destilações atmosférica, a vácuo, azeotrópica, extractiva e fracionada. (SANTOS et al., 2010).



**Figura 4.2: Destilação por alambique**

Fonte: ethanolbrasil.blogspot.com/2010\_03\_13\_archive...

## 4.2 Descrição do processo de destilação

### 4.2.1 Centrifugação do vinho

Após a fermentação, o vinho é enviado às centrífugas para a recuperação do fermento. O concentrado do fermento recuperado, denominado leite de levedura, retorna às cubas para o tratamento. A fase leve da centrifugação ou vinho “delevedurado” é enviada para as colunas de destilação.

### 4.2.2 Destilação

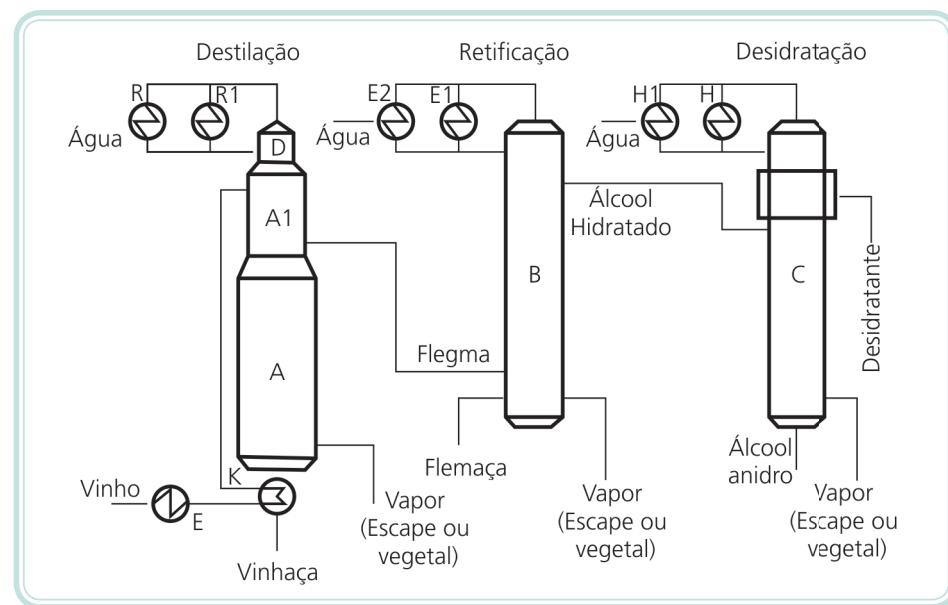
O vinho que vem da fermentação possui, em sua composição, 7° a 10°GL (% em volume) de álcool, além de outros componentes de natureza líquida, sólida e gasosa. Entre os líquidos, além do álcool, encontram-se a água com teores de 89% a 93%, glicerol, álcoois homólogos superiores, furfural, aldeído acético, ácidos succínico e acético em quantidades bem menores. Já os sólidos são representados por bagacilhos, leveduras e bactérias, açúcares não fermentáveis, sais minerais, matérias albuminóides e outros. Os gasosos, representados principalmente pelo CO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub>.

O álcool presente neste vinho é recuperado por destilação, processo que se utiliza dos diferentes pontos de ebulação das diversas substâncias voláteis

presentes, separando-as. A operação é realizada com auxílio de sete colunas distribuídas em quatro troncos:



- Destilação propriamente dita;
- Retificação;
- Desidratação;
- Recuperação do desidratante.



**Figura 4.3: Processo simplificado de destilação de álcool**

Fonte: ethanolbrasil.blogspot.com/2010\_03\_13\_archive...



Para saber mais sobre o conteúdo trabalhado, acesse:  
<http://www.copersucar.com.br>

[www.wikipedia.org/wiki/etanol](http://www.wikipedia.org/wiki/etanol)

### 4.2.3 Destilação propriamente dita

A destilação é processada em três colunas superpostas: A, A1 e D. Nestas, o etanol é separado do vinho (inicialmente com 7° a 10°GL) e sai com a flegma (vapores com 40° a 50°GL). O tronco de destilação elimina ainda impurezas (ésteres e aldeídos).

O vinho é alimentado no topo da coluna A1, descendo pelas bandejas sofrendo a epuração, sendo a flegma retirada no fundo desta (bandeja A1) e enviada à coluna B. Os voláteis, principalmente ésteres e aldeídos, são concentrados na coluna D e retirados no seu topo, sendo condensados em dois conden-

sadores R e R1, onde uma fração deste líquido (90% a 95%) retorna ao topo da coluna D e a outra é retirada como álcool de 2<sup>a</sup>, com graduação de aproximadamente 92°GL, ou retornado à dorna volante.

Uma coluna tem por finalidade esgotar a maior quantidade possível de álcool do seu produto de fundo que é denominado vinhaça. A vinhaça retirada em uma proporção aproximada de 13 litros para cada litro de álcool produzido, é constituída principalmente de água, sais sólidos em suspensão e solúveis e utilizada na lavoura como fertilizante, sendo seu calor parcialmente recuperado pelo vinho em um trocador de calor. A sua graduação alcoólica não deve ser superior a 0,03°GL. O aquecimento da segunda coluna (coluna B) é realizado pela injeção de vapor (escape ou vegetal) no fundo dessa coluna, ou indiretamente através do trocador-evaporador. A finalidade da coluna B é concentrar a flegma a uma graduação de aproximadamente 96°GL e proceder a sua purificação com a retirada das impurezas que a acompanham, como álcoois homólogos superiores, aldeídos, ésteres, aminas, ácidos e bases. A flegma é alimentada nessa coluna, onde é concentrada e purificada, sendo retirada, sob a forma de álcool hidratado, duas bandejas abaixo do topo da coluna.

Os voláteis retirados no topo da segunda coluna passam por uma sequência de condensadores onde parte do calor é recuperado pelo vinho, uma fração do condensado é reciclada e outra retirada como álcool de 2<sup>a</sup>. Do fundo da coluna B é retirada uma solução aquosa chamada flegma que foi esgotada e que pode ser reciclada no processo ou eliminada. Os álcoois homólogos superiores, denominados óleos fúsel e alto, são retirados de bandejas próximas à entrada da flegma.

O óleo alto retorna à dorna volante e o óleo fúsel é resfriado, lavado, decantado e armazenado para posterior comercialização. O aquecimento da coluna é realizado pela injeção de vapor, como na epuração.

### 4.3 Desidratação

O álcool hidratado, produto final dos processos de epuração (destilação) e retificação, é uma mistura binária álcool-água que atinge um teor da ordem de 96°GL. Isto ocorre devido à formação de uma mistura azeotrópica, fenômeno físico no qual os componentes não são separados pelo processo de destilação.

Este álcool hidratado pode ser comercializado desta forma ou passar por um dos três processos de desidratação descritos a seguir.

### **4.3.1 Destilação azeotrópica, utilizando ciclohexano**

Este processo utiliza uma coluna de desidratação, sendo o ciclohexano alimentado no topo da coluna e o álcool a ser desidratado alimentado a um terço abaixo do topo da coluna. Neste processo, o ciclohexano tem a característica de formar 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. Por condensação, essa mistura azeotrópica irá se separar em duas fases, sendo a fase inferior, mais rica em água, enviada para uma outra coluna onde ocorre a recuperação do ciclohexano que retorna ao processo de desidratação. O álcool anidro obtido, com um teor alcóolico em torno de 99,3% p/p, é retirado na parte inferior da coluna de desidratação de onde é condensado e encaminhado para armazenamento.

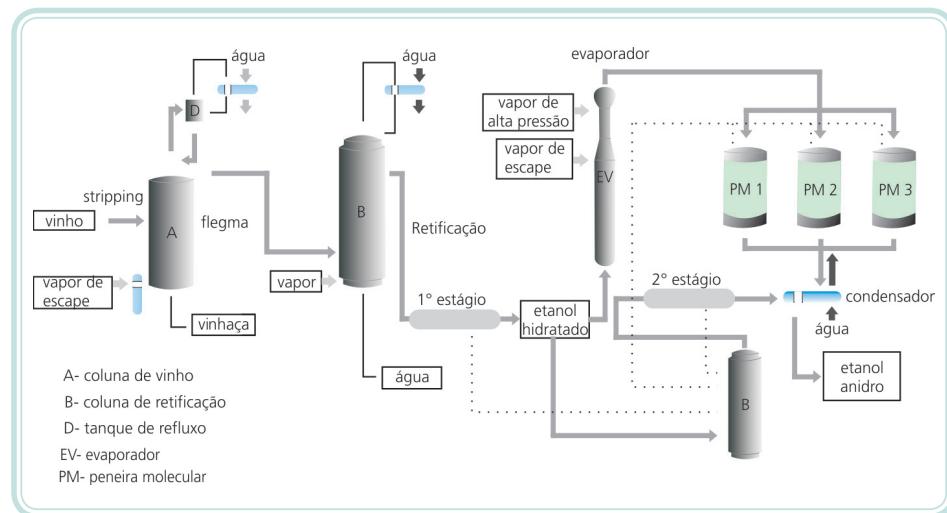
### **4.3.2 Destilação extractiva, utilizando monoetileno glicol**

Similarmente ao processo anterior, utiliza-se uma coluna de desidratação onde o monoetileno glicol (MEG) é alimentado no topo desta coluna e o álcool a ser desidratado também a um terço abaixo do topo da coluna. Inversamente ao processo do ciclohexano, o MEG absorve e arrasta a água para o fundo da coluna e os vapores de álcool anidro saem pelo topo da coluna onde o álcool é condensado e enviado para armazenamento nos tanques. A mistura contendo água, MEG e uma pequena quantidade de álcool é enviada para uma coluna de recuperação do MEG, o qual retorna ao processo de desidratação. Como o MEG concentra as impurezas retiradas do álcool e se torna mais corrosivo, é necessária a sua purificação pela passagem através de uma coluna de resinas de troca iônica, que retém os sais e reduz a acidez.

### **4.3.3 Desidratação por adsorção, utilizando peneira molecular**

O álcool a ser desidratado é inicialmente vaporizado e superaquecido antes de ser enviado para as colunas de desidratação, que contêm em seu interior um material constituído basicamente por hidrossilicato de alumínio contendo micróporos, denominado zeolita, mais popularmente conhecido como peneira molecular. Esta rede de micróporos absorve a água e deixa passar os vapores de álcool que são posteriormente condensados na forma de álcool anidro. Periodicamente é realizada a regeneração da zeolita pela passagem sob vácuo

de vapores alcoólicos que são posteriormente destilados para recuperação do álcool neles contidos (Figura 4.4).



**Figura 4.4: Desidratação por adsorção, utilizando peneira molecular**

Fonte: CTISM, adaptado de [www.vaperma.com/.../img/Sugarcane\\_Alc\\_Brown.jpg](http://www.vaperma.com/.../img/Sugarcane_Alc_Brown.jpg)

## 4.4 Vantagens da nova tecnologia

- Eliminação de agentes químicos desidratantes da destilação tradicional;
- Eliminação de perdas no processo;
- Menor consumo de vapor e água industrial;
- Total automatização do processo com sistema supervisório inteligente;
- Ampliação de capacidade em unidades instaladas;
- Álcool anidro de melhor qualidade.

## 4.5 Álcool de qualidade superior a um custo menor

A tecnologia utilizada desde a década de 40 até hoje para desidratação do etanol era a destilação azeotrópica, que usa produtos químicos perigosos, alguns considerados cancerígenos.

Com a utilização da peneira molecular, não há o uso de qualquer insumo químico, obtendo-se um produto final sem traços desses produtos, preservando assim a vida e o meio ambiente. Este álcool é especialmente indicado para aplicações mais exigentes como o uso em indústrias farmacêuticas, químicas e de alimentação.

Esta maior qualidade facilitará sua destinação à exportação atendendo às exigências dos mercados americano, europeu e asiático.

Existe redução de custo na produção de álcool anidro através de peneira molecular devido ao menor consumo de vapor, cerca de 30% do processo azeotrópico, além da não utilização do benzol ou ciclohexano. Esta redução no consumo de vapor viabiliza uma maior produção de álcool ou açúcar e a produção de álcool anidro em algumas unidades industriais com capacidade limitante de caldeiras.

A automação é outro ponto favorável da instalação contando com a mais avançada instrumentação e com um sistema supervisório completo (em tempo real) que fornece grande segurança, tranquilidade e controle total do processo.

## 4.6 Armazenamento do álcool

Os álcoois produzidos, hidratado e anidro, são quantificados através de mediidores de vazão ou tanques calibrados e enviados para armazenagem em tanques de grande volume situados em parques de tanques, onde aguardam sua comercialização e posterior remoção por caminhões.

## 4.7 Algumas considerações sobre o etanol

A qualidade depende do uso.

### a) O etanol é utilizado pela indústria



- Alimentícia;
- Farmacêutica e de cosmética;
- Química e petroquímica;
- Automobilística.

## b) Composição geral

- As diferentes matérias-primas podem fornecer produtos com composições diferentes. Materiais ricos em pectina fornecem álcool rico em metanol.
- Diferentes tipos de produção, destilarias anexas, destilarias autônomas e refinarias fornecem álcoois de diferentes qualidades.
- As impurezas dos álcoois não passam de 1%, mas a presença delas caracteriza o álcool produzido.



## c) Classificação do etanol

- Álcool bruto
  - Hidratado industrial (aehi);
  - Hidratado combustível (aehc).
- Álcool retificado
  - Álcool anidro;
  - Álcool refinado: fino e extrafino;
  - Álcool neutro;
  - Álcool industrial.



## d) Especificações e normas analíticas para o etanol

- Álcool combustível (álcool hidratado e anidro) – Agencia Nacional do Petróleo (ANP) e Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) geram as metodologias analíticas.
- Álcool para outros fins (mercado externo, bebidas, perfumaria, indústria farmacêutica...) especificações e metodologias definidas pelo cliente.



## Resumo

Nessa aula estudamos a descrição do processo de destilação e desidratação identificando vantagens e desvantagens.



## Atividades de aprendizagem

1. Descreva o processo de destilação e suas frações.
2. Descreva o processo de destilação do álcool.
3. Descreva o processo de desidratação do álcool.
4. Evidencie as vantagens na obtenção de álcool de qualidade superior, quando se usa uma nova tecnologia na fase de desidratação.

## Referências

Agência de Informação da EMBRAPA, cana-de-açúcar. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 07 jul. 2010.

BARRETO, T. V.; COÊLHO, A. C. D. Destilação. In: SANTOS, Fernando; BORÉM, Aluizio; CALDAS, Celso. **Cana-de-açúcar:** bioenergia, açúcar e álcool – tecnologias e perspectivas. 22. ed. Viçosa: UFV, 2010. p. 439-464.

CAMARA, G. M. S.; OLIVEIRA E. A. M. **Produção de cana-de-açúcar.** Piracicaba: ESALQ/USP/Departamento de Agricultura/FEALQ, 1993. 242 p.

CAMARGO, C. A. et al. **Conservação de energia na indústria do açúcar e do álcool.** IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas. São Paulo, 1990.

CARVALHO, G. R. **O setor sucroalcooleiro em perspectivas.** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2006. Disponível em: <[http://www.cnpm.embrapa.br/conjuntura/0603\\_Sucroalcooleiro.pdf](http://www.cnpm.embrapa.br/conjuntura/0603_Sucroalcooleiro.pdf)>. Acesso em: 25 jul. 2008.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar.** Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157 p.

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Desenvolvimento de variedades de cana-de-açúcar em solos.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <[www.epe.gov.br](http://www.epe.gov.br)>. Acesso em: 25 set. 2010.

Fundação de Desenvolvimento da Unicamp – Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético - Convênio: CGEE – Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. **Estudo sobre as possibilidades e impactos da produção de grandes quantidades de etanol visando à substituição parcial de gasolina no mundo:** relatório final. Campinas – SP, 2005. 309 p.

IAIÁ, A. M. Sistema produtivo da cana-de-açúcar. In: **Curso de especialização em gestão na indústria sucroalcooleira.** UFMT, 2009. cap. 7 e 8, p. 142-186.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 15 jan. 2007.

LOPES, J. J. C. **A cana-de-açúcar como matéria-prima para produção de açúcar e álcool.** 1. ed. Araras, SP: Centro de Ciências Agrárias – campus Araras da Universidade Federal de São Carlos, 2009. 64 p. (Apostila) A

LOPES, J. J. C. **Destilação, retificação e desidratação.** 1. ed. Araras, SP: Centro de Ciências Agrárias – campus Araras da Universidade Federal de São Carlos, 2009. 36 p. (Apostila) B

LOPES, J. J. C. **Fermentação e a produção de etanol**. 1. ed. Araras, SP: Centro de Ciências Agrárias – campus Araras da Universidade Federal de São Carlos, 2009. 84 p. (Apostila) C

LUIZ, E. P.; FRITZEN, N. A.; DALANHOL, R. L. **Fabricação do álcool**. 1. ed. Centro Tecnológico – Engenharia Bioquímica da Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. 40 p. (Apostila)

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resenha energética brasileira**. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>

NETO, J. D.; TEODORO, I.; FARIAS, C. H. de A. **Sistema produtivo da cana-de-açúcar** – Módulo III Curso de Especialização em Gestão na Indústria Sucroalcooleira. 1. ed. Campina Grande, PB: Centro de Tecnologia e Recursos Naturais – Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, 2010. 134 p. (Apostila)

OMETTO, J. G. S. **Álcool, energia da biomassa**: aspectos tecnológicos e econômicos da produção. São Carlos: [s.n.], 1993.

PROCANA BRASIL. **Mercado sucro energético**. Disponível em: <<http://www.procana.com.br>>.

SCARAMUZZO, M.; LOPES, F. Especulação tumultua mercado de grãos. **Jornal valor econômico**. São Paulo, 26 fev. 2007. Disponível em: <<http://www.valoronline.com.br/valoreconomico/285.html>>. Acesso em: 27 fev. 2007.

UNICA – União da Indústria de Cana-de-Açúcar. **Produção e uso do etanol combustível no Brasil – respostas às questões mais frequentes**: manual de orientação. São Paulo, 2007. 70 p.

VASCONCELOS, J. N. de. Fermentação Etanólica. In; SANTOS, Fernando; BORÉM, Aluizio; CALDAS, Celso. **Cana-de-açúcar**: bioenergia, açúcar e álcool – tecnologias e perspectivas. 22. ed. Viçosa: UFV, 2010. p. 401-437.

## Curriculum do professor

**João Baptista Chieppe Júnior** é professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Campus Inhumas. É graduado em Engenharia Agronômica pela Universidade Federal de Lavras, especialista em Irrigação e Drenagem pela Universidade Federal de Viçosa-MG, Mestre e Doutor em Agronomia área de concentração Irrigação e Drenagem pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho Botucatu-SP. Trabalhou em empresas de iniciativa privada, economia mista e de pesquisa, especialmente em projetos de irrigação e drenagem e manejo de água e solo em culturas anuais como milho, feijão, cana-de-açúcar. Foi coordenador de curso, membro de comissões de bancas de concurso para docentes, chefe do Departamento de Áreas Acadêmicas no CEFET-Rio Verde GO e IFG. Participa de bancas de Trabalho de Conclusão de Curso, bancas de pós-graduação. Atualmente no IFG-Campus Inhumas ministra as disciplinas de Metodologia do Trabalho Científico e Biologia e coordena o Núcleo de Pesquisa de Estudos Interdisciplinares NEPEINTER. Possui participação em publicação de vários artigos científicos em congressos, simpósios, seminários e revistas científicas. É membro e revisor da revista científica IRRIGA da Unesp-Campus Botucatu-SP.



