U N I V E R S I D A D E D E S Ã O P A U L O
Escola de Engenharia de Lorena – EEL

Processos Químicos Industriais II

Apostila 2

INDÚSTRIA ALCOOLEIRA

Profa. Heizir F. de Castro

2011

Terminologia

Álcool anidro: Álcool retificado e desidratado com graduação alcoólica entre 99,5 a 99,8°GL.

Álcool de segunda: Mistura hidroalcoólica impura com graduação alcoólica entre 92 a 94°GL.

Álcool retificado: Mistura hidroalcoólica de elevada pureza, com uma graduação alcoólica entre 96 a 97°GL, produto principal da retificação.

Anti-sépticos: Substâncias que adicionadas aos mostos de fermentação, os transformam em meios desfavoráveis ao crescimento de microorganismos indesejáveis. Na indústria, geralmente são empregados: ácido sulfúrico, pentaclorofenol e penicilina.

Cubas: Tanques de tratamento do leite de leveduras, para uso subseqüente em outra batelada.

Epuração do vinho: Fase que consiste na purificação do vinho, eliminação de algumas impurezas (etapa realizada em uma coluna de destilação epuradora).

Dornas: Recipientes nos quais os mostos são submetidos ao processo fermentativo, sendo transformados em vinho.

Dorna volante: Reservatório de vinho.

Fermento: Suspensão de células de leveduras (pé de cuba) concentradas, que garantem a fermentação de determinado volume de mosto em condições econômicas.

Flegma: Produto principal de destilação mistura hidroalcoólica impura, com graduação alcoólica entre 45 a 50°GL.

Flegmaça: Resíduo aquoso da retificação do flegma isento de álcool.

Graus GL (°GL): Percentagem de álcool, em volume.

Leite de levedura: Suspensão de células altamente concentrada, recuperadas no final da fermentação alcoólica.

Mosto: Líquido açucarado capaz de fermentar

Pé de cuba: Agente responsável pela fermentação, na forma de uma suspensão de células de leveduras.

Óleo de fúsel: Mistura concentrada das impurezas do flegma.

Retificação: Operação de purificação e concentração do flegma.

Vinhaça: Resíduo aquoso da destilação, que contém todas as substâncias não voláteis e algumas voláteis do vinho.

Vinho: Produto de fermentação do mosto ou mosto fermentado.

Sumário

1. Introdução 5

2. Matérias Primas para Produção de Álcool Industrial.....6

3. Descrição do Fluxograma de Obtenção de Álcool.....7

4. Detalhamento da Etapa de Fermentação.....10

5. Etapa Recuperação e Separação do Produto 11

6. Processos Industriais de Obtenção de Álcool 13

7. Sub-Produtos.....19

1. Introdução

A produção do etanol é uma das mais importantes atividades dentro da agroindústria, não só pelo valor da sua produção e dos inúmeros usos e aplicações do seu produto principal, como também dos sub-produtos provenientes e dos empreendimentos correlatos e derivados dessa indústria.

O etanol pode ser obtido por processo químico e bioquímico. No processo químico, a via de obtenção é sintética, enquanto que, no processo bioquímico, a via é fermentativa. A adoção de um ou outro processo está condicionada a uma série de fatores, dos quais consideram-se como os mais importantes, o desenvolvimento técnico-econômico e a disponibilidade de matéria-prima na região considerada.

No processo químico, as matérias-primas utilizadas na síntese são o eteno, o anidrido carbônico, etileno e muitas outras de menor importância. A via sintética nunca foi utilizada no Brasil, mesmo antes da Crise do Petróleo.

Atualmente, o etanol pode ser considerado como o produto de maior significado econômico e se constituí certamente na comprovação mais expressiva do potencial de produção de energia a partir de biomassa. Assim, o etanol deve ser encarado muito mais como uma reserva estratégica do que como tentativa isolada de solução de crise de petróleo.

Apesar dos ganhos significativos de produtividade obtidos após a implantação do PROALCOOL, conforme apresentado nas Tabelas 1 e 2 existe um grande potencial de aumentos de produtividade, ainda não explorado. Segundo estimativas da COPERSUCAR, o potencial de redução de custos de produção, é da ordem de 6,3% distribuídos, conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Variação dos rendimentos das operações unitárias do processo industrial de etanol, no período 1973-1985.

Operação unitária	**1975**	**1985**
Lavagem (%)	99,00	99,5
Extração (%)	88,00	94,00
Tratamento (%)	97,00	98,00
Fermentação (%)	73,00	85,00
Destilação (%)	95,00	97,00
Geral (%)	59,00	75,00

Como pode ser observado, a fermentação é ainda uma etapa crucial para alcançar-se esta desejada otimização. Assim sendo, esta é uma área que a princípio tem apenas a se beneficiar de progressos e domínios de técnicas biotecnológicas, como por exemplo:

- Tecnologias de operação de reatores com alta concentração celular (floculação ou imobilização de células);
- Introdução de microorganismos mais adaptados às condições do meio ambiente e de melhor produtividade.

Sem mencionar os trabalhos de pesquisa concluídos nesta área, é bastante claro, que o aumento desta produtividade, poderá ser alcançado, apenas com a utilização dos conhecimentos disponíveis nos diversos centros de pesquisa no Brasil, sendo necessário apenas, que estas instituições sejam estimuladas a encontrarem o caminho da cooperação direta com o setor produtivo.

Tabela 2. Variação da produtividade agrícola e industrial entre o período 1975-1985.

Parâmetros	**1975**	**1985**	**Variação**
Tonelada cana/ha	60	80	+ 33%
Kg de açúcar/ tonelada de cana	140	180	+ 29%
L EtOH/ tonelada de cana	45	74	+ 64%
L EtOH/ ha	2700	5920	+ 120%

Tabela 3. Potenciais de redução de custos de produção de álcool

Melhorias	**Potencial de redução de custos de produção (%)**
Moagem	1,3
Fermentação	3,3
Destilação	0,3
Energia	1,5
Total	6,3

2. Matérias Primas para Produção de Álcool Industrial

Teoricamente, todo composto que contenha hidratos de carbono passíveis de serem metabolizados pelo agente de fermentação alcoólica, pode ser considerado como matéria-prima para obtenção de etanol. Não obstante, para sua utilização industrial, é imprescindível considerar-se os seguintes principais pontos fundamentais: custo aquisitivo, facilidade de transformação, rendimento em álcool, disponibilidade e possibilidade de expansão.

As matérias primas empregadas na fabricação do álcool por via biotecnológica são as mais variadas, podendo as susceptíveis de fermentar, serem incluídas em 3 grupos: matérias sacaríneas, amiláceas e celulósicas.

No grupo das matérias sacaríneas estão incluídas todas as aquelas que possuem em sua composição açúcares diretamente ou não diretamente fermentescíveis, tais como, sacarose, glicose e frutose. Nesta categoria, podem ser citados os melaços, caldo de cana, caldo de frutas, caldo de sorgo sacarino, além de outras.

As matérias-primas amiláceas são aquelas que encerram em sua composição o amido; que é um polissacarídeo de fórmula bruta $(C_6H_{10}O_5)_n$, como, por exemplo, milho, mandioca, batata, batata-doce, entre outras. As matérias-primas amiláceas sofrem fermentação somente após o desdobramento do amido em açúcares fermentáveis. Esse desdobramento é

conseguido, por meio do processo de hidrólise, envolvendo 3 etapas distintas e o uso de enzimas amilolíticas. O produto final deste processo será a glicose, a maltose e dextrinas limitantes (açúcares não fermentáveis).

- O cozimento e gelatinização do amido
- A dextrinização do amido, utilizando a α- amilase
- A sacarificação das dextrinas, utilizando amiloglicosidase.

Pertencem ao grupo das matérias-primas celulósicas, todas aquelas que encerram em sua composição a celulose e as hemiceluloses. Exemplos típicos desse tipo de matéria-prima são: a madeira e os resíduos agroindustriais (bagaço de cana, palha de milho, palha de arroz). Essas matérias primas também necessitam de tratamento especial para se transformarem em açúcares simples, o que é feito por um processo bem mais complexo que o efetuado para o amido. Nesse processo, é possível separar 3 componentes principais do material celulósico: as frações celulósicas e hemicelulósicas e a lignina (que não é fermentescível). A fração celulósica, precisa sofrer ainda uma outra hidrólise (química ou enzimática) para ser utilizada como substrato de fermentação, no entanto a fração hemicelulósica é diretamente fermentável, pelas chamadas leveduras fermentadoras de pentose (por exemplo, *Pichia stipitis, Candida shetatae* etc.).

3. Descrição do Fluxograma de Obtenção de Álcool

A tecnologia do álcool abrange várias operações unitárias, todas com o objetivo de transformar os açúcares em álcool. Essas operações, perfeitamente distintas e dispostas em seqüência lógica, são de natureza química, bioquímica e física.

A obtenção do álcool por via fermentativa envolve duas etapas complexas: fermentação e destilação, de cujo perfeito desempenho depende o êxito da qualidade e quantidade do produto final.

O fluxograma da fabricação do álcool, Figura 1, descrito de maneira resumida a seguir, é um dos exemplos clássicos que se utiliza o melaço (sub-produto da fabricação do açúcar), no processo de condução de fermentação Melle-Boinot.

A primeira operação de importância fundamental é a pesagem, que propicia o conhecimento da quantidade de matéria prima processada, para fim de controle do rendimento industrial. O melaço proveniente dos depósitos externos é enviado para a balança, sendo depois conduzido ao depósito interno, localizado na parte mais alta da destilaria.

A operação seguinte é o preparo do mosto (líquido açucarado susceptível de sofrer fermentação, ou ainda, um líquido açucarado capaz de fermentar). O melaço, sendo um líquido denso, não se apresenta como meio favorável ao desenvolvimento da fermentação e, para tanto, é necessário condiciona-lo às exigências do fermento, com relação à concentração em açúcares, acidez, nutrientes e anti-sépticos.

Para a correção da concentração, o melaço é enviado a um diluidor. O melaço e a água de diluição, provenientes de seus respectivos depósitos, são enviados a um reservatório misturador, e em seguida a um tanque de homogeneização, de onde o mosto é transferido para as dornas (recipientes abertos onde se processa a fermentação). A adição dos nutrientes e do anti-séptico é feita diretamente nas dornas.

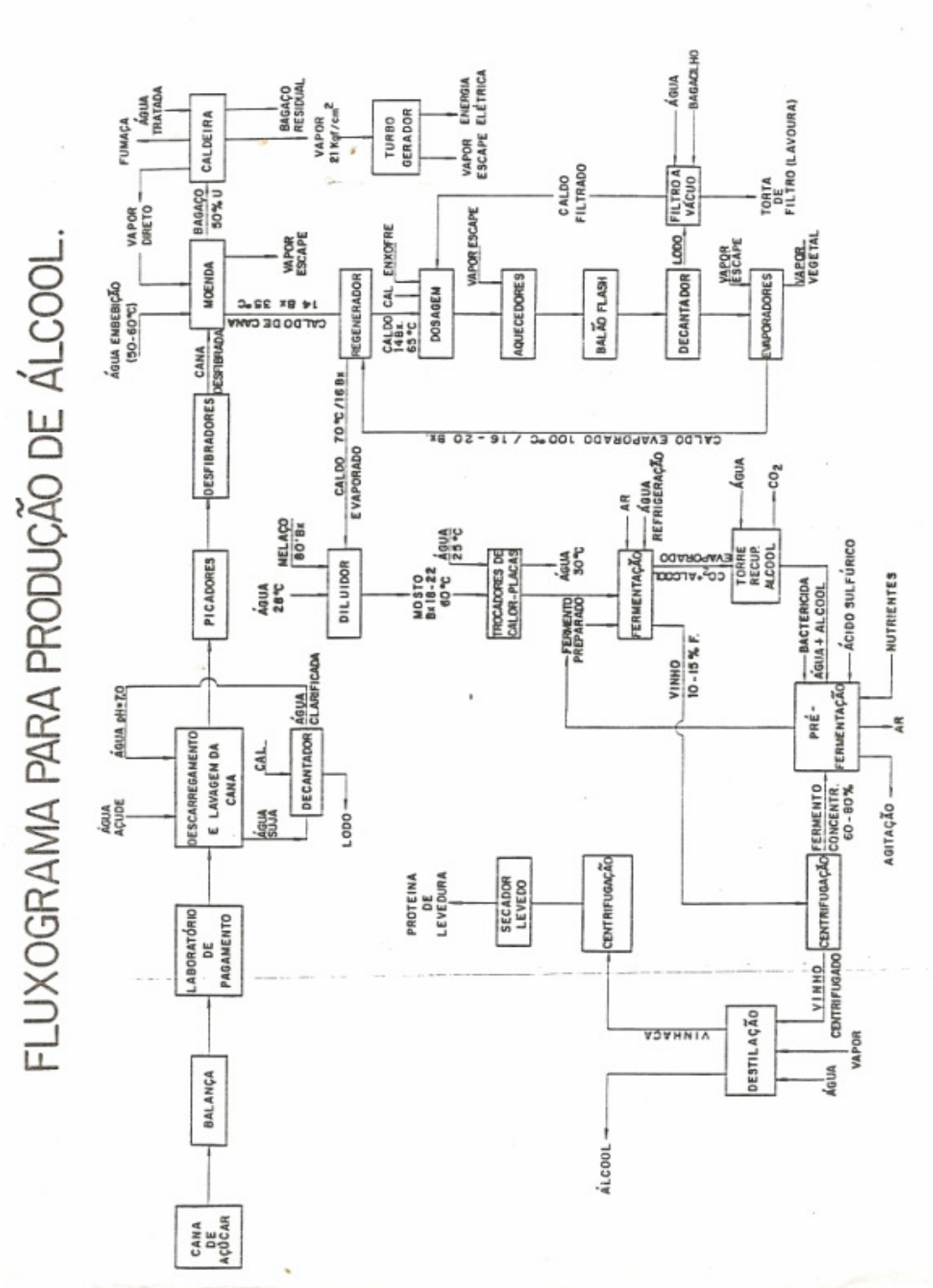

Figura 1 - Fluxograma de Fabricação do Álcool

Juntamente com o mosto, é introduzido nas dornas, o agente responsável pela fermentação, na forma de uma suspensão de células de leveduras, denominada de fermento, pé de cuba ou levedo alcoólico.

Da ação fermentativa do levedo no mosto, resulta o vinho (produto de fermentação do mosto ou mosto fermentado) que contêm em suspensão as células de leveduras, devendo as mesmas serem recuperadas para as próximas fermentações. Das dornas de fermentação, o vinho é conduzido ao decantador e, posteriormente, a uma turbina onde, pela ação da força centrífuga, obtêm-se o vinho delevurado (produto isento de leveduras) e o leite de levedura, que constitui uma suspensão de alta concentração celular. Este é transferido para as cubas (tanques de tratamento), onde é diluído com água e tratado com ácido sulfúrico. O tratamento é um processo seletivo, que elimina as eventuais células de bactérias contaminantes e as leveduras não mais ativas. Após o tratamento, o fermento é inoculado no mosto, para novo ciclo de fermentação. A quantidade de ácido adicionada é suficiente para fornecer uma desejada acidez ao mosto.

O vinho resultante da centrifugação é enviado para reservatório de vinho e, a seguir, é transferido para a dorna volante, localizada na parte mais alta da destilaria.

Para separação do álcool dos demais componentes do vinho, empregam-se várias destilações específicas, operações que se baseiam na diferença entre os pontos de ebulição das substâncias.

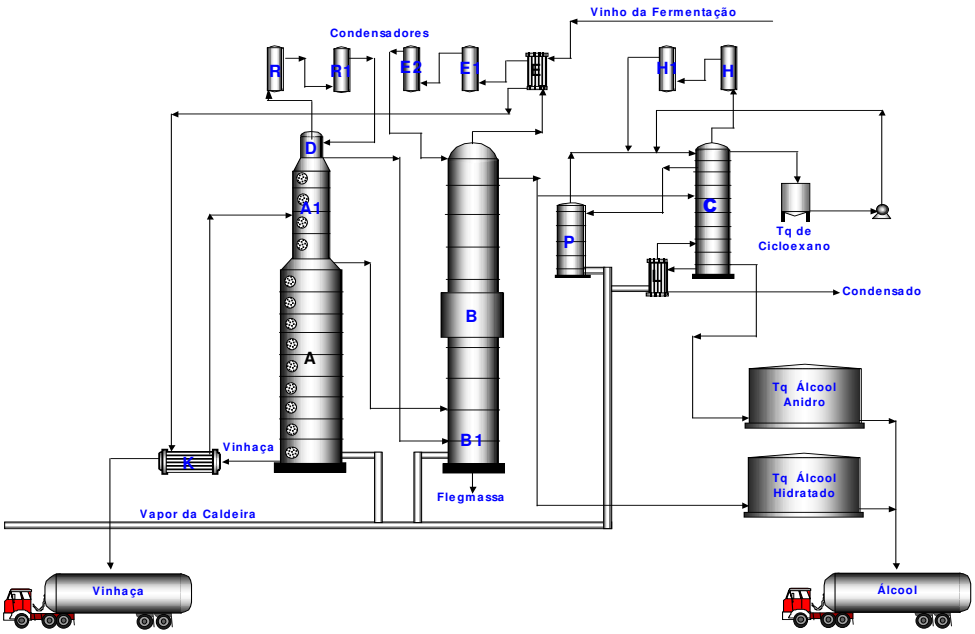

Figura 2 - Recuperação e Separação dos Produtos

Na etapa de recuperação e separação do produto (Figura 2), a primeira operação é a epuração do vinho, fase que consiste na purificação do mesmo, livrando-se de algumas impurezas, realizada em uma coluna de destilação epuradora. Desta operação, além do vinho epurado, resulta a fração denominada de álcool de segunda, bruto ou de cabeça (mistura

hidroalcoólica impura, cujo teor alcoólico varia de 92 a 94°GL-porcentagem de álcool, em volume).

O vinho epurado é submetido a uma segunda operação de destilação, em uma coluna de destilação propriamente dita, de onde resultam duas frações: o flegma (produto principal de destilação), que é uma mistura hidroalcoólica impura, com um teor alcoólico variando de 45 a 50° GL, e a vinhaça, vinhoto ou restilo (resíduo aquoso da destilação) que contém todas as substâncias não voláteis e algumas voláteis do vinho.

Em seguida, o flegma é submetido a uma nova destilação especial, a retificação, sofrendo uma operação complexa de purificação e concentração. Esta operação é efetuada em uma coluna de retificadora constituída de duas zonas: esgotamento e concentração.

O produto principal de retificação é o álcool retificado (mistura hidroalcoólica de elevada pureza, com uma graduação alcoólica variando de 96 a 97°GL. Resultam ainda três outras frações: flegmaça (resíduo aquoso da retificação do flegma) devendo estar isenta de álcool; o óleo de fúsel (mistura concentrada das impurezas do flegma) e o álcool de segunda.

A operação final é a desidratação, onde determinados artifícios são introduzidos aos processos normais de destilação, com a finalidade de desidratar o álcool retificado.

O álcool retificado é conduzido à coluna de desidratação, na qual é introduzido juntamente com uma substância desidratante, o ciclohexanol, resultando o álcool anidro, com uma riqueza alcoólica entre 99,5 a 99,8°GL, além de uma mistura de água-ciclohexanol, que é conduzida ao conjunto recuperador de álcool e ciclohexanol, constituído de um decantador e uma coluna de recuperação do solvente, sendo os seus produtos reconduzidos no processo.

4. Detalhamento da Etapa de Fermentação

A fermentação consiste de uma seqüência de reações catalisadas por enzimas específicas, localizadas nas células microbianas. No caso da fermentação alcoólica, monossacarídeos são metabolizados pela levedura, via glicolítica levando a formação de piruvato. Em seguida o piruvato é descarboxilado a acetaldeído, sendo finalmente reduzido a etanol e gás carbônico.

Dissacarídeo	Enzima	Monossacarídeos
Monossacarídeo	Embdem-Meyerhof	Piruvato
Piruvato	Descarboxilase	Acetaldeído
Acetaldeído	Desidrogenase	Etanol

O cálculo do rendimento em álcool etílico, a partir dos açúcares contidos nas matérias primas empregadas, é baseado na equação estabelecida por Gay-Lussac:

$C_6H_{12}O_6$	$\rightarrow$	$2C_3CH_2OH$	+	$2\ CO_2$
glicose		etanol		anídrido carbônico

180 gramas de glicose	_____	92 gramas de etanol
100 gramas de glicose	_____	X gramas de etanol

X= 51,11 gramas de etanol

Segundo esta equação, 100 partes em peso de glicose são transformadas, fornecendo 51,1 partes em peso de etanol e 48,9 partes em peso de anidrido carbônico.

Além do etanol e CO_2 são formados também, durante a fermentação, alguns produtos secundários, resultados de desvios do metabolismo principal, como por exemplo, o óleo fúsel, o glicerol e alguns ácidos.

Formalmente o processo é anaeróbico, entretanto, para manutenção da viabilidade celular, traços de oxigênio são necessários para a síntese de gorduras polissaturadas e lipídeos. Taxas de oxigênio na faixa de 0.05- 0,1 mmHg são geralmente utilizadas. Valores superiores a esta faixa promovem crescimento celular em detrimento da produtividade alcoólica.

Nas indústrias de álcool no Brasil, a fonte de carbono é derivada de produtos naturais (cana-de-açúcar) e alguns sub-produtos (melaço). Dependendo da matéria prima empregada, diferentes balanceamentos de nutrientes são necessários. Entretanto, em conseqüência de resultados práticos obtidos, adição de nutrientes em destilarias são, em geral limitados à utilização de sais de nitrogênio e fósforo.

Os micro-organismos, geralmente, usados na produção de etanol são as leveduras. As leveduras podem estar na forma de culturas puras, ou podem estar na forma de fermento prensado, que pode ser adquirido nas panificadoras ou indústrias produtoras de fermento. Entre as leveduras produtoras de álcool, as linhagens são geralmente provenientes das espécies: *Saccharomyces cerevisiae, S. uvarum, Schizosaccharomyces pombe*. É importante mencionar que a grande maioria das destilarias de álcool no Brasil utiliza o fermento Fleischmann.

5. Etapa Recuperação e Separação do Produto

O produto final da conversão do açúcar contido no meio de fermentação é denominado vinho e encerra em sua composição: o etanol, dióxido de carbono, ácido acético e glicerol. O gás (dióxido de carbono) pode ser recuperado (no caso de dornas fechadas) ou simplesmente escapar para a atmosfera (no caso de dornas abertas). O vinho é então, recolhido em recipiente adequado (dorna volante) e submetido a uma destilação fracionada, onde o álcool é separado.

O álcool obtido, contendo uma porcentagem de água ao redor de 4 a 5% é denominado de álcool industrial. Para a obtenção do álcool anidro ou absoluto é necessário, proceder a uma etapa de retificação, elevando-se desta forma, a concentração do componente alcoólico. A água presente no álcool industrial é removida, através das conhecidas colunas de separação da mistura azeotrópica etanol/ água, empregando um terceiro componente que forma um azeotrópico com ponto de ebulição abaixo do ponto do álcool a 95% (ou seja, 78,15°C) ou da água.

No Brasil, até pouco tempo, era empregado em larga escala o benzeno para quebrar o azeótropo. Entretanto, devido a pressões ambientais, esse composto aromático foi substituído por outro menos tóxico, como ciclohexano. Uma outra forma de eliminar o benzeno do processo é o emprego de métodos físicos de separação. Neste caso, tem sido aplicado em pequena escala o uso de peneiras moleculares, ou seja, compostos de caráter hidrofílico que garantem a adsorção/ remoção da água presente no álcool industrial.

O custo de implantação do sistema de peneira molecular é de 2 a 2,5 vezes mais elevado que a instalação das colunas de benzeno. Entretanto, considerando que a peneira

molecular é facilmente regenerada por meio de secagem, é bem provável, que os métodos físicos sejam também adotados em grande escala.

Finalmente destaca-se o processo de desidratação do etanol utilizando a destilação extrativa, na qual os desidratantes utilizados são os etileno glicóis (MEG). Os resultados, medidos em escala de piloto de laboratório e com posterior tratamento matemático, mostraram uma possibilidade imensa de resolver com vantagens os problemas da desidratação do álcool e a custos relativamente modestos (Figuras 3 e 4).

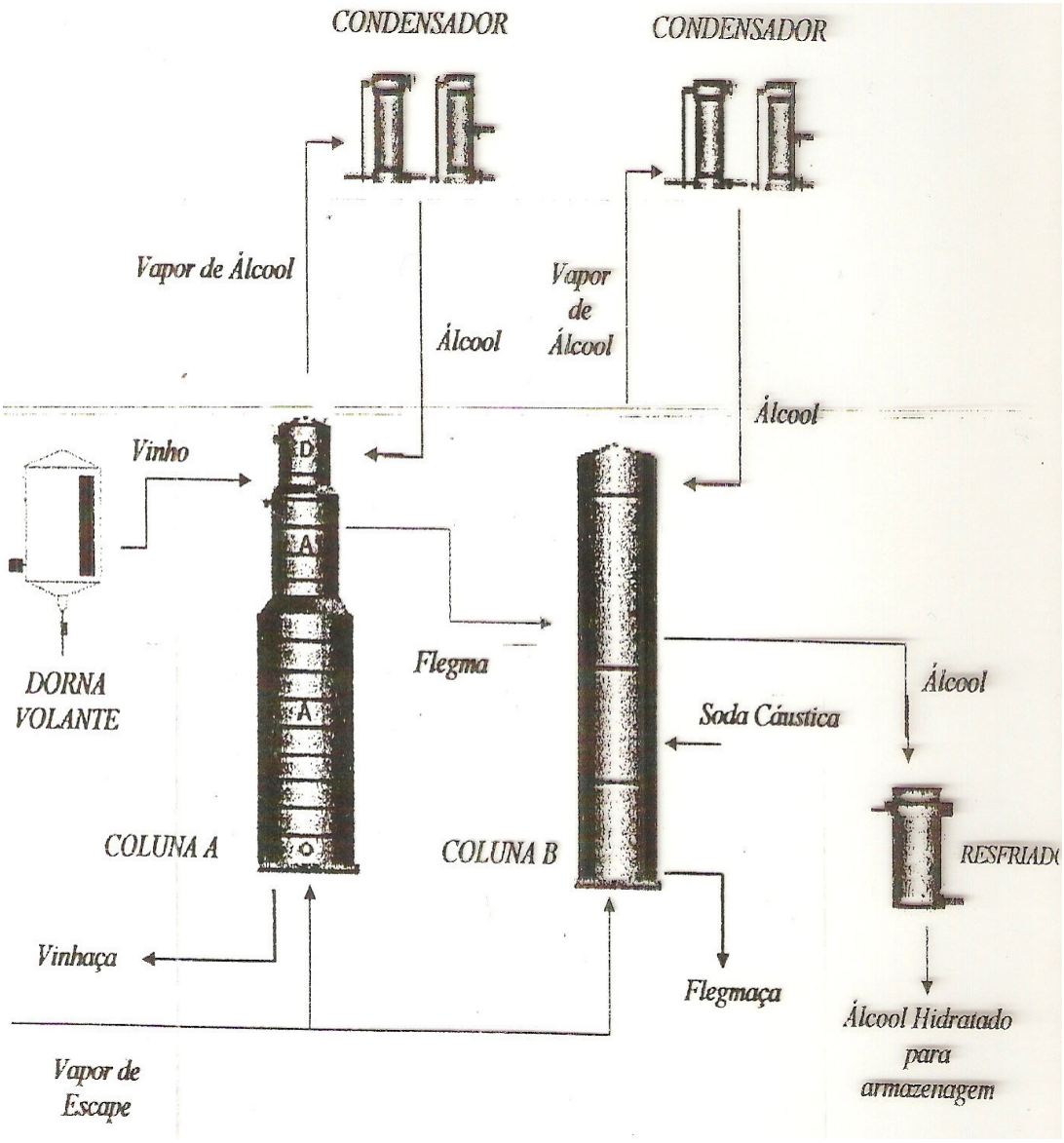

Figura 3. Ilustração do aparelho de destilação

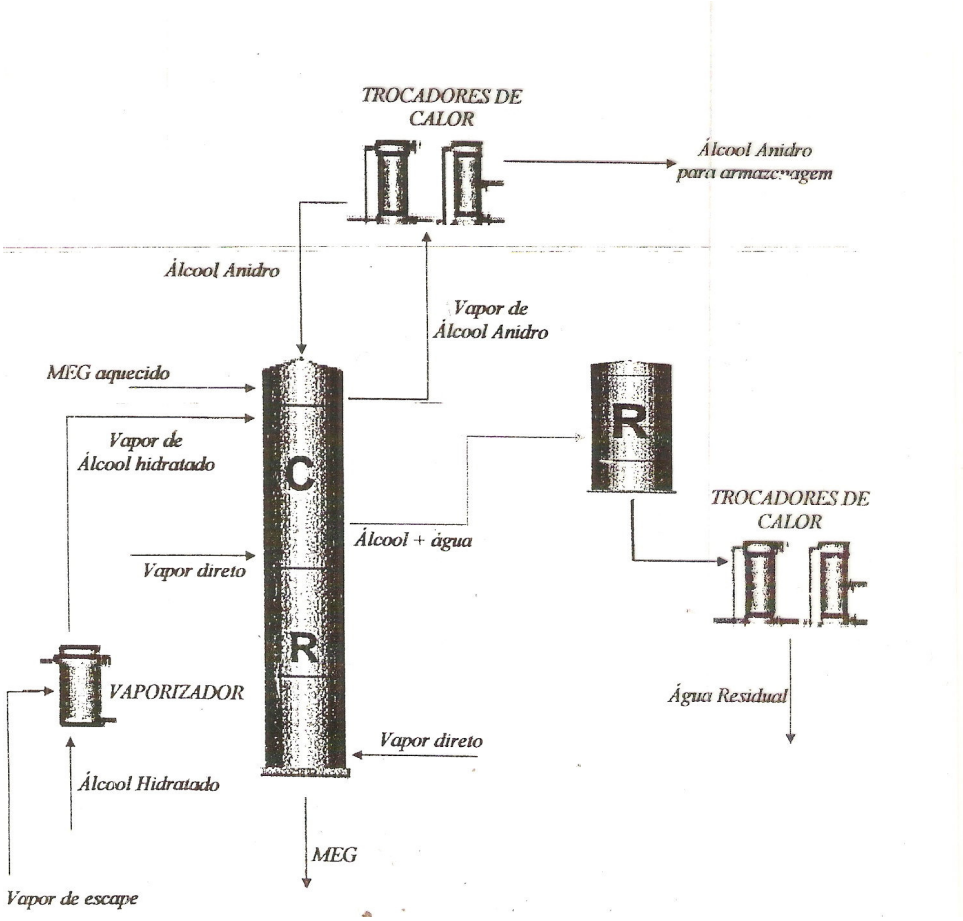

Figura 4. Ilustração da etapa de desidratação utilizando a técnica de destilação extrativa (MEG)

6. Processos Industriais de Obtenção de Álcool

O processo mais utilizado é o descontínuo (batelada), embora o processo contínuo-cascata seja também, atualmente, amplamente empregado industrialmente.

6.1. Processo Melle-Boinot

Introduzido no Brasil há mais de 50 anos para fermentar melaço, tem sido modificado para operar em larga escala com mostos compostos por misturas de caldo de cana, xaropes e melaços. A Figura 5 mostra o fluxograma atual do processo e os principais parâmetros estão a Tabela 4.

O processo é conduzido em regime de batelada, com reciclo de células. O fermento é recuperado, através do uso de centrífugas e submetido a um tratamento ácido (diluição, adição de ácido sulfúrico e agitação) e a aeração no pré-fermentador para restabelecer a atividade das células (do fermento).

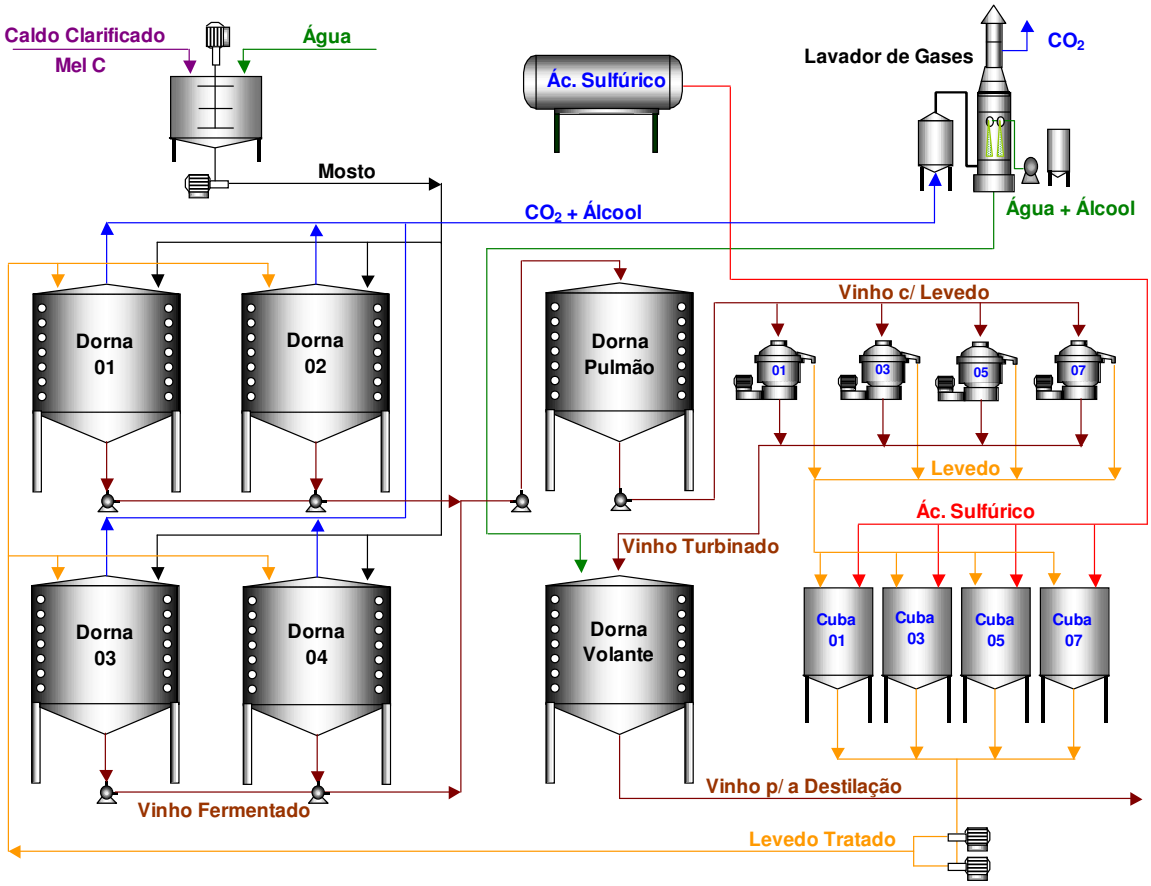

Figura 5 - Processo Melle Boinot

Tabela 4. Parâmetros Típicos do Processo Melle-Boinot

Equipamentos e Desempenho			
Descrição	***Quantidade***	***Capacidade***	***Informações adicionais***
Fermentadores	8 – 12	300 m^3	Cilíndricos; aço carbono
Centrífugas	3 – 6	45 m^3/ h	Disco, com bocal de descarga
Trocadores de calor	4 – 6	1,2 x 10 Kcal/ h	Placas
Produtividade	3 – 6	Kg EtOH/L. h	
Dados do Processo			
Mosto de Fermentação			
Açúcares totais (como glicose, %)			12 -15
PH			5,5 - 6,2
Temperatura (°C)			26 - 30
Vinho (Mosto fermentado)			
Açúcares totais (%)			< 0,5
Teor de álcool (Graus GL)			7 - 11 GL (9 em média)
Concentração de células (% p/v)			7 - 16
Temperatura de fermentação (°C)			34 - 38
Rendimento estequiométrico (%)			85 - 92
Tempo de fermentação (h)			5 - 9
Inoculo			
Açúcares totais (%)			< 0,25
Teor de álcool (G.L)			< 4 GL
PH			2,2 - 2,8
Concentração de leveduras (%)			15 - 35
Tempo de tratamento ácido (horas)			1 - 4
Temperatura (°C)			28-32
Subprodutos			
Glicerol			6 % do álcool
Ácidos			2 - 6 % do álcool
Fermento (leveduras)			4 - 10 do álcool (base seca)

6.2. Processo contínuo

O mais utilizado é o processo em cascata (três ou mais fermentadores ligados em série). O mosto é alimentado no primeiro reator, passando continuamente aos outros fermentadores. Em geral, mais de 60% da conversão ocorre no primeiro reator. O fermento é separado em centrífugas e tratado de uma forma continua empregando metodologia semelhante à utilizada no processo Melle-Boinot.

O processo é uma evolução do Melle-Boinot, requerendo menor volume de reator e facilitando a instrumentação e automação. O fluxograma é mostrado na Figura 4 e os parâmetros típicos na Tabela 5.

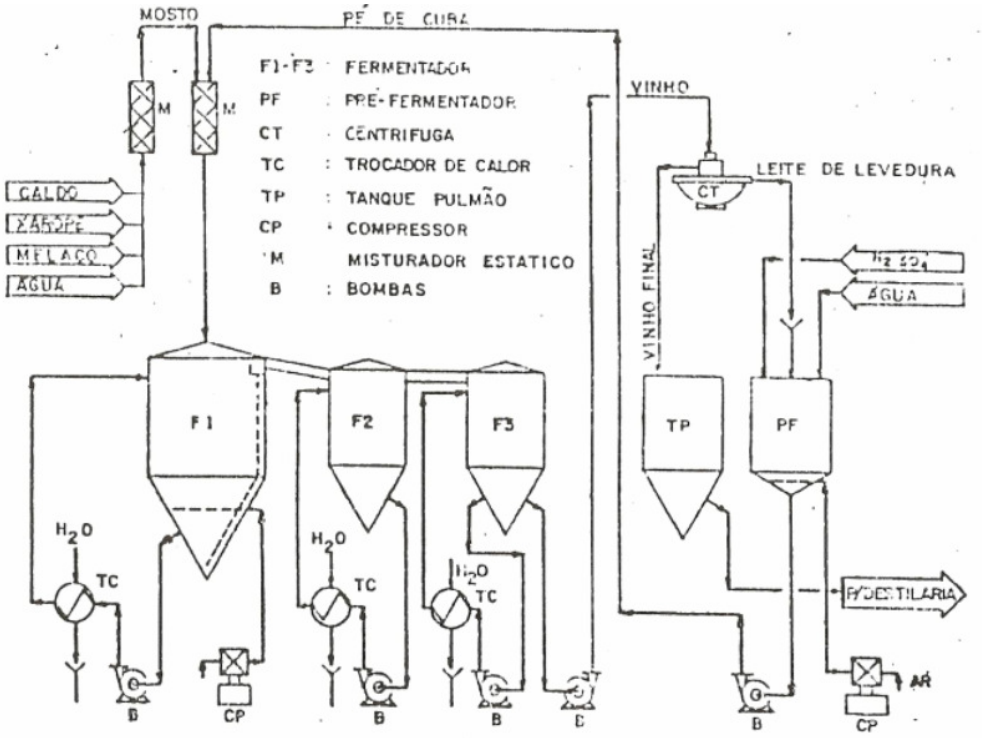

Figura 6 – Fluxograma do Processo Contínuo

Tabela 5. Parâmetros Típicos do Processo Contínuo de Fermentação

Equipamentos e Desempenho	
Descrição	
Número de fermentadores	5
Volume do primeiro fermentador	700 m^3
Trocadores de calor	3
Vazão de ar (pré-fermentador e primeiro reator)	0,01 vvm
Produtividade	6 – 9 Kg EtOH/ m^3.h
Dados do Processo	
Mosto de Fermentação	
Açúcares totais (como glicose, %)	12 -15
Ph	5,5 - 6,2
Temperatura (°C)	26 –30
Vinho (Mosto fermentado)	
Açúcares totais %	< 0,5
Teor de álcool (Graus GL)	7 - 11 (8,3 em média)
Concentração de células (% p/v)	7 – 12
Temperatura de fermentação (°C)	34 – 36
Rendimento estequiométrico (%)	85 - 92
Tempo de fermentação (h)	4 – 7
Inóculo	
Açúcares totais (%)	< 0,25
Teor de álcool (GL)	< 4 GL
pH	2,2 - 2,8
Concentração de leveduras (%)	15 – 35
Tempo de tratamento ácido (horas)	1 - 4

6.3. Processo contínuo sem uso de centrífugas

Os dois processos anteriormente descritos são baseados na fermentação com recuperação de células por centrifugação e seu posterior tratamento com ácido sulfúrico.

A introdução de um processo de fermentação contínua sem uso de centrífuga e de ácido sulfúrico apresenta diversas vantagens, como a seguir listadas:

- maior produtividade e rapidez de fermentação
- menores investimentos e custos operacionais
- melhor qualidade do álcool, devido à maior uniformidade das condições operacionais.

Neste contexto, a NATRON (Firma de Consultoria em Engenharia) optou por desenvolver e implementar industrialmente um processo de fermentação contínua, que se fundamenta no emprego de leveduras floculantes da espécie *Saccharomyces cerevisiae*. Leveduras floculantes são leveduras que apresentam a propriedade de formar aglomerados celulares com elevada velocidade de sedimentação, sendo, portanto, facilmente recuperadas do meio fermentado através do uso de decantadores.

Descrição do Processo desenvolvido pela NATRON (Processo ALCOMAT)

O processo ALCOMAT se baseia na realização da fermentação alcoólica em regime contínuo, utilizando levedura floculante, que é reciclada após separação em um sedimentador (Figura 7).

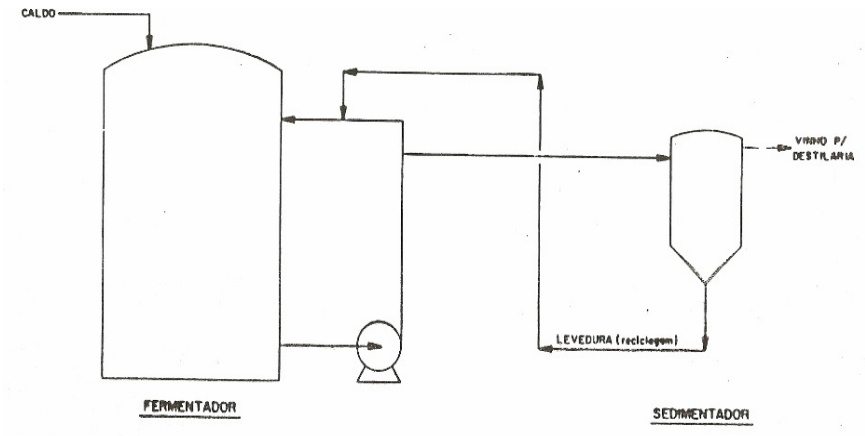

Figura 7 – Processo Alcomat

O fluxo de mosto é distribuído de modo contínuo para a(s) dorna(s) de fermentação. O vinho formado (meio fermentado) é enviado para o(s) sedimentador(es), onde ocorre a separação de levedura por decantação. A levedura é então reciclada, para a(s) dorna(s) de fermentação. O vinho sem leveduras, que sai pelo topo do(s) sedimentador(es), é direcionado para a(s) dorna(s) volante(s) e, a seguir, para a unidade de destilação.

A concepção extremamente simples do processo ALCOMAT o torna facilmente adaptável às unidades já existentes e que operam segundo o Processo Melle-Boinot.

Isto se deve ao fato de que, neste caso, o processo ALCOMAT utiliza as mesmas dornas de fermentação atualmente empregadas, necessitando apenas adaptações no sistema de tubulação e a instalação de sedimentador(es), em substituição às centrifugas.

O processo ALCOMAT permite aumentar em quase 3 vezes a capacidade de produção de uma destilaria, mantendo-se o mesmo volume de dornas empregado no sistema em batelada.

Por exemplo, uma destilaria com capacidade de produzir 150.000 L/dia de álcool, poderia produzir cerca de 430.000 L/ dia, utilizando o mesmo volume total de 2 milhões de litros de dornas de fermentação.

As atividades da NATRON, na área de fermentação estão concentradas nas seguintes destilarias e usinas:

- DESTILARIA ALCOMAT-Associação Alcooleira de Mato Grosso S.A (Comodoro-MT), com capacidade diária de produção de 150.000 litros de álcool.

- USINA CUCAÚ (Rio Formoso-PE), com capacidade diária de produção de 200.000 litros de álcool.

- DESTILARIA ITAÚNAS S/A-DISA (Conceição da Barra-ES), com capacidade diária de produção de 15.000 litros de álcool (Unidade de Demonstração)

7. Sub-Produtos

O processamento da cana-de-açúcar para obtenção de álcool gera diversos sub-produtos ou resíduos, como por exemplo: bagaço, a torta de filtro, a vinhaça. Apesar do aproveitamento destes resíduos não atuar diretamente na redução do custo do produto final o seu aproveitamento certamente representa um importante passo no sentido de incrementar a eficiência global da Indústria Alcooleira. Na Figura 8, é apresentado um fluxograma simplificado identificando as quantidades médias de produtos e sub-produtos gerados na industrialização da cana-de-açúcar, nas destilarias autônoma (somente produção de álcool) e anexa (produção de açúcar e álcool).

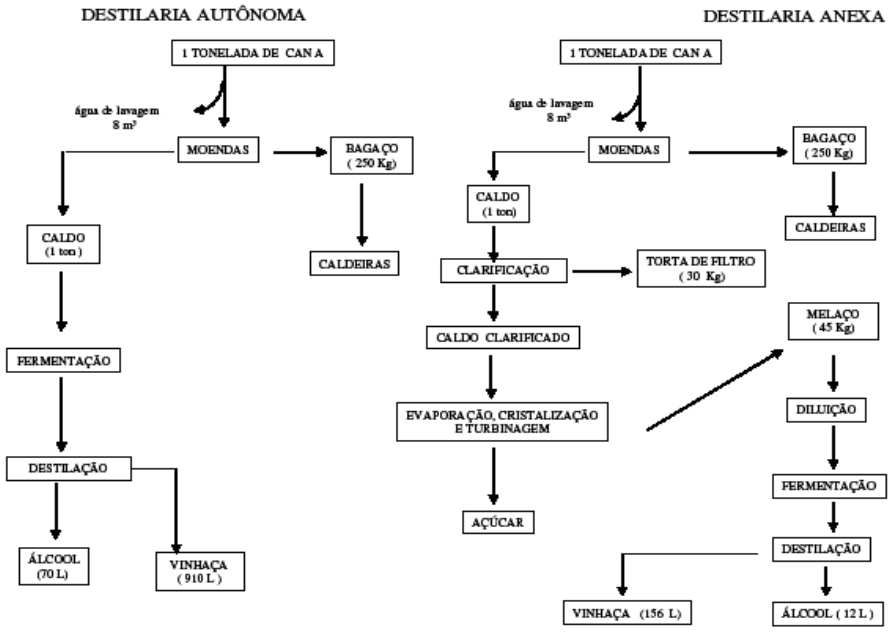

Figura 8 - Fluxograma simplificado identificando as quantidades médias de produtos e sub-produtos gerados na industrialização da cana-de-açúcar

7.1. Bagaço

O bagaço de cana in natura apresenta uma umidade média de 50% (p/p) e sua composição química é mostrada na Tabela 6.

A utilização do bagaço seco (umidade inferior a 25%) como fonte de energia tornou-se fundamental para o funcionamento das usinas de açúcar com ou sem destilaria anexa, em função do custo dos combustíveis tradicionais. Segundo dados de literatura, 1kg de bagaço é capaz de produzir, através da queima em equipamentos adequados, aproximadamente de 5kg de vapor.

Tabela 6. Composição química aprox. do bagaço de cana-de-açúcar

Elemento	**Concentração (% p/p)**
Carbono	43-49
Hidrogênio	5,3-6,7
Oxigênio	42-49
Nitrogênio	0,2-0,4
Cinzas	1,3-3,5

Nas destilarias autônomas, pode-se utilizar entre 70 a 80% do bagaço de cana produzido para a geração de energia, desde que o balanço térmico da unidade esteja adequado. O excedente poderá seguir as mais diversas rotas de aproveitamento, diferentes daqueles exclusivamente de insumo energético próprio ou de setores industriais interessados e cuja localização permita seu uso econômico.

Como matéria prima industrial, o uso de bagaço de cana ainda não é grande, apesar das potencialidades apresentadas. Entre os possíveis processos de aproveitamento pode-se citar a sua utilização para a produção de papel e celulose, furfural, metanol, produtos aglomerados, produtos oriundos da hidrólise do bagaço.

7.2. Torta de filtro

A torta de filtro, conhecida também como torta de filtros de borra, borra ou lodo, é resultado da filtração da mistura de lodo dos decantadores, com bagacilho, no processo de produção de açúcar. As destilarias autônomas que introduziram o sistema de clarificação de caldo estão também gerando este subproduto.

Seu aspecto é de um material amorfo, macio e leve, com coloração variando do marrom escuro ao preto. A produção situa-se entre 30 a 40 Kg para cada tonelada de cana-de-açúcar processada, e a umidade média durante o processo é de cerca de 75% em peso. Apresenta uma quantidade significativa de matéria orgânica (fibras, sacarose e colóides coagulados), é rica em cálcio e ferro e apresenta uma boa quantidade de fósforo e nitrogênio, mas é carente de potássio e magnésio.

Várias utilizações têm sido sugeridas para a torta de filtro: aglutinante, auxiliar de filtração, matéria-prima para a produção de proteína, fertilizante, etc. Apesar destas

utilizações se mostrarem interessante do ponto de vista teórico, na prática a torta vem sendo utilizada apenas como fertilizante.

7.3. Vinhaça

A vinhaça ou vinhoto é considerado o principal sub-produto líquido produzido pelas as destilarias. A vinhaça pode ser considerada uma suspensão aquosa de sólidos orgânicos e minerais, contendo os componentes do vinho não arrastados pela destilação, além de quantidades residuais de açúcar, álcool e compostos voláteis mais pesados.

A grande preocupação com a vinhaça é decorrente de dois fatores básicos: a composição química e o grande volume gerado no processo de obtenção de álcool.

Quanto a sua composição química, a matéria orgânica é o constituinte predominante, respondendo por 75% do teor de sólidos suspensos, avaliados em 7% em peso. Destacam-se também a presença de potássio e do ferro. Os valores de pH situam-se em torno de 4,0 e seu comportamento é de uma solução tamponada.

Esta composição confere à vinhaça uma demanda química e bioquímica de oxigênio DQO, DBO - e, portanto, um alto poder poluente se lançada em corpos de água sem o devido tratamento.

Com relação ao volume gerado no processo, pode-se considerar, segundo apresentado na Figura 6, que obtêm-se, em média, a proporção de 13 litros de vinhaça para cada litro de álcool produzido. Considerando que, a produção de álcool no país é da ordem de 11.600 bilhões de litro, o volume de vinhaça gerado é de aproximadamente 150 bilhões de litro.

Desde que o controle ambiental tornou-se mais rigoroso e as opções de utilização deste sub-produto se ampliaram, o seu aproveitamento vem crescendo. Entre as soluções técnicas que se apresentam, destacam-se:

- Utilização agrícola in natura, como adubo complementado ou não;
- Concentração para utilização como componente de ração;
- Fermentação aeróbica para produção de proteínas unicelulares
- Fermentação anaeróbica para produção de metano
- Reciclo no processo de obtenção de álcool a partir de melaço (substituição em até 30% do volume de água empregada no preparo de mostos de fermentação alcoólica)