

UNIVERSIDADE ESTATUAL PAULISTA  
CAMPUS DE BOTUCATU  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

AGUARDENTES E CACHAÇA

**Waldemar G. Venturini Filho**

**Andressa Milene Parente Nogueira**

Botucatu

Agosto - 2013

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 LEGISLAÇÃO	3
3 MATÉRIA-PRIMA	5
3.1 Morfologia e composição química da cana-de-açúcar	7
3.1.1 Morfologia	7
3.1.2 Composição química	7
3.2 Determinação da maturação da cana-de-açúcar	9
3.2.1 Fatores controladores	9
3.2.2 Métodos e critérios de avaliação do estágio de maturação	14
4 MICROBIOLOGIA DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA	16
4.1 Classificação das leveduras	16
4.2 Morfologia das leveduras	16
4.3 Reprodução das leveduras	17
4.4 Crescimento das leveduras	18
4.5 Metabolismo das leveduras	19
4.6 Bactérias contaminantes da fermentação alcoólica	21
4.6.1 Fermentação láctica	21
4.6.2 Fermentação acética	21
4.6.3 Fermentação butírica	22
4.6.4 Fermentação do dextrânio	22
4.6.5 Fermentação do levânio	23

4.7 Controle das infecções	23
5 PROCESSAMENTO DA AGUARDENTE	24
5.1 Colheita, carregamento e transporte	24
5.2 Armazenamento da cana	25
5.3 Preparo da cana	27
5.4 Extração do caldo	27
5.4.1 Embebição	29
5.4.2 Coamento	30
5.5 Preparo do mosto	30
5.5.1 Brix e açúcares totais	31
5.5.2 Acidez total e pH	32
5.5.3 Temperatura	33
5.5.4 Nutrientes	34
5.5.5 Antissépticos	35
5.6 Preparo do pé de cuba	35
5.6.1 Fermento caipira	36
5.6.2 Fermento misto	36
5.6.3 Fermento prensado	37
5.6.4 Fermento selecionado	37
5.7 Fermentação	39
5.7.1 Sala e dornas de fermentação	39
5.7.2 Inoculação	41
5.7.3 Processos de fermentação	41

5.7.4 Controle da fermentação alcoólica	45
5.7.5 Rendimento e eficiência da fermentação alcoólica	49
5.8 Destilação	51
5.8.1 Processos de destilação	53
5.8.2 Bidestilação	63
5.9 Envelhecimento	63
6 BIBLIOGRAFIA	65

## 1 INTRODUÇÃO

A aguardente de cana é a bebida destilada mais consumida no Brasil e a terceira em escala mundial. De acordo com a Associação Brasileira de Bebidas (ABRABE), a produção anual brasileira é de 1,3 bilhões de litros, havendo 30 mil produtores e 5 mil marcas da bebida. Desse total, o país exporta anualmente apenas 15 milhões de litros, ou seja, 1% da produção. Se esses números mostram a importância econômica, evidenciada pelo elevado volume de produção, e social, em função do emprego familiar e industrial gerado por essa agroindústria, os baixos valores de exportação indicam que há muito que fazer para desenvolver a qualidade dessa bebida, apesar de todos os esforços governamentais e privados.

Exemplo desse esforço em prol da aguardente de cana foi a constituição da chamada *Agenda Estratégica 2010 – 2015*. Este é um trabalho coordenado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) que envolve a participação de dezenas de entidades públicas e privadas, pertencentes à Câmara Setorial da Cadeia Produtiva da Cachaça. Entre os inúmeros objetivos arrolados nesta Agenda, destacam-se:

- ✓ Desenvolver trabalhos estatísticos para se conhecer a produção total e a engarrafada de aguardente. Não se sabe exatamente qual o volume de bebida produzido no Brasil em função do grande número de produtores informais, cuja produção é invisível aos órgãos oficiais. Este fato traz repercussão negativa para os órgãos fiscais, já que os produtores informais não recolhem impostos; e dificultam qualquer política de valorização da aguardente por meio da elevação da sua qualidade.
- ✓ Desenvolver pesquisas sobre os limites, os precursores e os métodos de análise do carbamato de etila presente nas aguardentes, já que este composto causa sérias dificuldades à exportação da bebida.
- ✓ Adotar as Boas Práticas de Fabricação (BPF) nas destilarias como forma de alavancar a qualidade da aguardente, com repercussão positiva nos níveis dos voláteis não álcool (aldeídos, ácidos orgânicos, ésteres, metanol e alcoóis superiores), cobre e carbamato de etila.
- ✓ Capacitar a mão de obra envolvida na cadeia produtiva da aguardente, desde a lavoura,

passando pela destilaria, até chegar no ponto de consumo, representado pelos bares e restaurantes.

- ✓ Capacitar os proprietários das destilarias na gestão administrativa, financeira, industrial e comercial, visando a melhoria dos resultados econômicos do empreendimento.
- ✓ Combater as fraudes e às não conformidades com os Padrões de Identidade e Qualidade (PIQ) da aguardente. Sabe-se que muitas aguardentes atingem preços elevados, comparados aos dos melhores destilados importados, sendo assim alvo de fraude. Por outro lado, há milhares de produtores informais, que sem orientação técnica adequada, produzem bebidas fora dos PIQ.
- ✓ Discutir o uso de cobre nos equipamentos de destilação das aguardentes, já que este metal deixa resíduos na bebida, causando problemas de saúde nos consumidores.
- ✓ Desenvolver o turismo temático, tal como já acontece com o vinho nas regiões produtoras do Rio Grande de Sul, Santa Catarina e São Paulo. Essa atividade, além de agregar valor à bebida, contribui para o desenvolvimento econômico e social das regiões produtoras.
- ✓ Realizar ações junto aos órgãos internacionais para que a aguardente de cana e a cachaça sejam reconhecidas como bebida genuinamente brasileira. Como a aguardente e o rum provêm da mesma matéria-prima (caldo de cana e/ou melaço), este fato causa certa confusão nos órgãos governamentais dos países importadores que não conseguem diferenciar com clareza essas bebidas.
- ✓ Implementar a indicação geográfica da aguardente. Como acontece com os vinhos europeus, a indicação da origem geográfica agrega valor às bebidas, associando a região de produção à qualidade do produto.
- ✓ Combater a clandestinidade na produção de aguardente. O melhor meio para conseguir este intento é incluir os produtores informais na tributação do *Simples*. De acordo com a Receita Federal, o *Simples Nacional* é um regime tributário diferenciado, simplificado e favorecido, voltado para as microempresas e empresas de pequeno porte.
- ✓ Desenvolver uma política específica de exportação para aguardente. Para isso, é indispensável o incremento da qualidade química (carbamato de etila, cobre, metanol) e

sensorial (necessidade de envelhecimento) da bebida, a diferenciação clara em relação ao rum do Caribe, entre outras providências.

O que foi escrito anteriormente retrata para o leitor os desafios colocados para o setor de produção da aguardente, nesta segunda década do segundo milênio.

## **2 LEGISLAÇÃO**

No Brasil, o órgão oficial responsável pela legislação de bebidas é o MAPA. O Decreto 6.871 de 4 de julho de 2009 regulamenta a Lei 8.918 de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Segue a definição de aguardentes e cachaça, conforme o Decreto 6.871:

Art. 51. A aguardente é a bebida com graduação alcoólica de trinta e oito a cinquenta e quatro por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida do rebaixamento do teor alcoólico do destilado alcoólico simples ou pela destilação do mosto fermentado.

§ 1º A aguardente terá a denominação da matéria-prima de sua origem.

§ 2º A aguardente que contiver açúcares em quantidade superior a seis gramas por litro e inferior a trinta gramas por litro será denominada de aguardente adoçada.

§ 3º Será considerada aguardente envelhecida a bebida que contiver no mínimo cinquenta por cento de aguardente envelhecida por período não inferior a um ano, podendo ser adicionada de caramelo para a correção da cor.

§ 4º Aguardente de melão é a bebida com graduação alcoólica de trinta e oito a cinquenta e quatro por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida do destilado alcoólico simples de melão ou, ainda, pela destilação do mosto fermentado de melão, podendo ser adoçada e envelhecida.

§ 5º Aguardente de cereal é a bebida com graduação alcoólica de trinta e oito a cinquenta e quatro por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida do destilado alcoólico simples de cereal ou pela destilação do mosto fermentado de cereal, podendo ser adoçada e envelhecida.

§ 6º Aguardente de vegetal é a bebida com graduação alcoólica de trinta e oito a cinqüenta e quatro por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida do destilado alcoólico simples de vegetal ou pela destilação do mosto fermentado de vegetal, podendo ser adoçada e envelhecida.

§ 7º Aguardente de rapadura é a bebida com graduação alcoólica de trinta e oito a cinqüenta e quatro por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida do destilado alcoólico simples de rapadura ou pela destilação do mosto fermentado de rapadura, podendo ser adoçada e envelhecida.

§ 8º Aguardente de melado é a bebida com graduação alcoólica de trinta e oito a cinqüenta e quatro por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida do destilado alcoólico simples de melado ou pela destilação do mosto fermentado de melado, podendo ser adoçada e envelhecida.

Art. 52. Aguardente de cana é a bebida com graduação alcoólica de trinta e oito a cinqüenta e quatro por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida de destilado alcoólico simples de cana-de-açúcar ou pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar, podendo ser adicionada de açúcares até seis gramas por litro, expressos em sacarose.

Art. 53. Cachaça é a denominação típica e exclusiva da aguardente de cana produzida no Brasil, com graduação alcoólica de trinta e oito a quarenta e oito por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida pela destilação do mosto fermentado do caldo de cana-de-açúcar com características sensoriais peculiares, podendo ser adicionada de açúcares até seis gramas por litro.

§ 1º A cachaça que contiver açúcares em quantidade superior a seis gramas por litro e inferior a trinta gramas por litro será denominada de cachaça adoçada.

§ 2º Será denominada de cachaça envelhecida a bebida que contiver, no mínimo, cinqüenta por cento de aguardente de cana envelhecida por período não inferior a um ano, podendo ser adicionada de caramelo para a correção da cor.

Portanto, para a legislação brasileira, *aguardente*, *aguardente de cana* e *cachaça* são termos que apresentam significados diferentes. Enquanto a *aguardente* pode ser obtida de qualquer matéria-prima que contenha carboidratos em sua composição, a *aguardente de cana* e a *cachaça* devem provir exclusivamente da cana-de-açúcar. Enquanto a *aguardente de cana* pode

ser obtida da diluição do destilado simples, a cachaça deve ser obtida exclusivamente da destilação do mosto fermentado de cana-de-açúcar. Por fim, as aguardentes devem possuir teor alcoólico entre 38 e 54% v/v a 20 °C, enquanto a cachaça de 38 a 48% v/v a 20 °C.

Os autores deste texto sugerem que a cachaça deve ser produzida em pequena escala, através do uso de pequenos aparelhos destiladores, de operação descontínua, conhecidos como *alambiques*. Já a aguardente de cana deve ser produzida em escala industrial, por meio de uso de destiladores contínuos, denominados *colunas de destilação*.

### 3 MATÉRIA-PRIMA

A partir deste momento, para evitar repetições desnecessárias, o termo *aguardente* será usado genericamente para indicar tanto a *aguardente de cana* como a *cachaça*, uma vez que o presente texto tratará exclusivamente da bebida destilada produzida a partir de cana-de-açúcar.

O êxito da indústria da aguardente depende do esforço compatibilizado entre o produtor de cana que deverá entregar uma matéria-prima de boa qualidade e do industrial que deverá buscar a melhor qualidade de bebida e o maior rendimento possível. No caso particular da fabricação da aguardente, esta associação fica normalmente ligada ao industrial, uma vez que o fornecimento de cana é realizado pelo próprio fabricante.

Como matéria-prima para a produção de aguardente, deve-se utilizar os colmos de cana-de-açúcar em estágio ideal de maturação, sadios, recém-cortados, normalmente despontados e livres de matéria estranha (folha, palha, terra). Convém ainda salientar que estas características são desejáveis pelas agroindústrias do açúcar, do álcool e da aguardente, nas quais os interesses são praticamente comuns. Entretanto, com o objetivo de um melhor aproveitamento da biomassa produzida no campo e solucionar problemas regionais, como a falta de cortadores e mesmo de cana, algumas regiões estão processando cana queimada com ponta. Esta condição deverá evoluir para a cana integral, conceituada como cana energia, o que representaria o aproveitamento total da biomassa constituída de açúcar total e matéria combustível. Contudo, tal fato pode comprometer seriamente o rendimento, como também a qualidade do produto final.

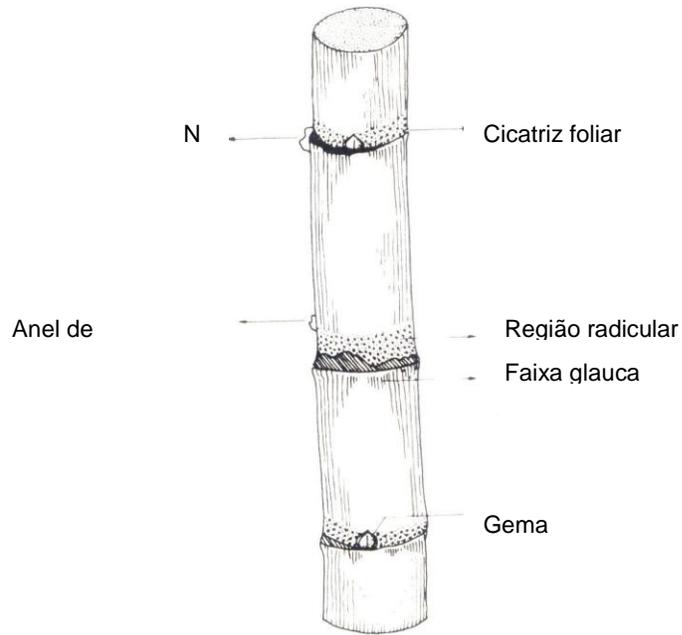


Figura 1. Colmo de cana-de-açúcar. Fonte: Fernandes (1984).

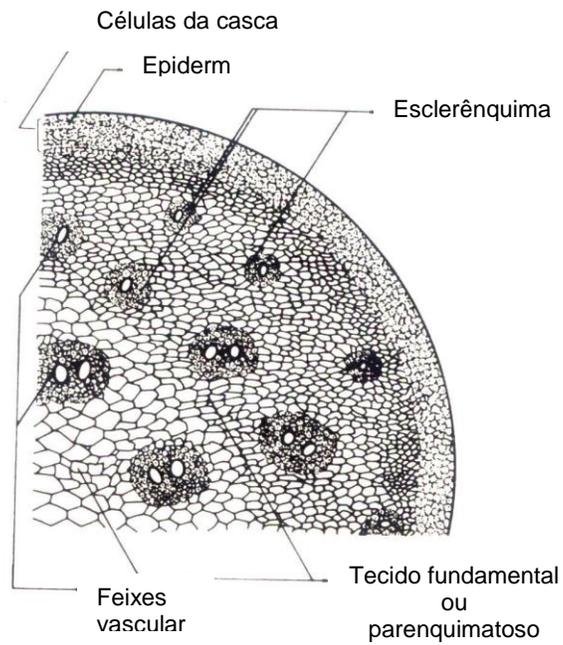


Figura 2. Secção transversal de um internódio. Fonte: Payne (1989).

### **3.1. Morfologia e composição química da cana-de-açúcar**

#### **3.1.1 Morfologia**

A cana-de-açúcar compõe-se, essencialmente, de duas partes: uma subterrânea, formada pelos rizomas e pelas raízes e outra aérea constituída pelo colmo, pelas folhas e pelas flores.

Sob ponto de vista da tecnologia de produção de aguardente, o colmo representa a parte mais importante, daí a evidente importância em estudá-lo com mais detalhe, embora o interesse dos técnicos sucroalcooleiros esteja sendo despertado para as demais partes aéreas da planta. O colmo (Figura 1) é constituído de nós e entrenós, sendo este último conhecido também como internódios, gomos ou meritalos.

O colmo apresenta as funções de suportar as folhas e as partes aéreas da planta, conduzir água e os nutrientes do solo para as folhas onde os açúcares da planta são sintetizados, transportar esses carboidratos para as outras partes da planta e armazenar sacarose e outras substâncias.

#### **3.1.2 Composição química**

A composição da cana-de-açúcar é muito variável, chegando a divergir dentro de uma mesma região, em diferentes anos, variando, especialmente em função das condições climáticas, com as propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, com o tipo de cultivo empregado, com a variedade, o estágio de maturação e a idade da cana, com a irrigação ou ainda com a fertirrigação (vinhaça) e com muitos outros fatores. Tal variação na composição química da cana-de-açúcar ocorre quantitativamente, porém qualitativamente ela é semelhante em todas as variedades.

O colmo da cana-de-açúcar é constituído basicamente por água (74,5%), matéria orgânica (25%) e matéria mineral (0,5%), com a ressalva de que estes constituintes não se encontram nas mesmas proporções nas diferentes partes do colmo. Sob o ponto de vista tecnológico, o colmo pode ser dividido em fibra (fase sólida) e caldo (fase líquida).

## **Fibra**

Define-se a fibra como o conjunto de substâncias insolúveis em água, sendo constituída, principalmente, de celulose (30%), hemicelulose (21%), lignina (7%), proteína bruta (3%) e cinzas (1%). A porcentagem de fibra depende da variedade, da idade, das condições climáticas e de muitos outros fatores. O teor de fibra da cana-de-açúcar está na faixa de 10 a 16%, sendo a média em torno de 12%, para a região Centro-Sul e de 14% para a região Norte-Nordeste.

Os altos teores de fibra dificultam a extração do caldo que se encontra retido nas células do tecido parenquimatoso, necessitando, para uma boa extração, de um melhor preparo da cana para moagem, conseguido pela desintegração e rompimento das células. Além disso, haverá necessidade de uma maior embebição, que, apesar de ser benéfica à extração, poderá criar dificuldades nas demais fases do processamento.

Por outro lado, o baixo teor de fibra, à primeira vista desejável, poderá diminuir sensivelmente a produção de bagaço, provocando o desequilíbrio térmico da fábrica. Na impossibilidade de contar com uma quantidade suficiente de bagaço, a queima de lenha, gás ou óleo é inevitável.

## **Caldo**

Define-se caldo como uma solução diluída e impura de sacarose. O caldo tem a sua composição dependente da cana que lhe deu origem, sendo constituído de água (80%) e de sólidos solúveis (20%). Os sólidos solúveis podem ser caracterizados como açúcares e não açúcares orgânicos e inorgânicos.

Os açúcares são representados pela sacarose, glicose e frutose, sendo a sacarose o componente mais importante, estando o seu teor médio no caldo em torno de 18%. Os demais açúcares do caldo aparecem em proporções variáveis, dependendo do estágio de maturação da cana que lhe deu origem, sendo em média de 0,4 a 0,1%, respectivamente para glicose e frutose.

Os açúcares redutores (glicose e frutose) quando em teores elevados, denunciam um estágio pouco adiantado de maturação, com a presença de outras substâncias indesejáveis, como o amido.

Os não açúcares orgânicos são representados por uma série de substâncias como matéria nitrogenada (proteínas, aminoácidos, amidas), gorduras e ceras; pectinas; ácidos livres e combinados (málico, succínico, aconítico, oxálico, fumárico) e matérias corantes (clorofila, antocianina e sacaretina).

Os não açúcares inorgânicos, representados pelas cinzas, têm como componentes principais a sílica, potássio, fósforo, cálcio, sódio, magnésio, enxofre, ferro, alumínio, cloro, entre outros. Para a fabricação da aguardente, os componentes das cinzas são benéficos para a nutrição das leveduras durante o processo de fermentação.

### **3.2 Determinação da maturação da cana-de-açúcar**

Existem três tipos de maturação da cana-de-açúcar. A botânica é caracterizada pela presença de flores e sementes; a fisiológica, quando atinge o máximo teor de sacarose e, a econômica, determinada pelo mínimo teor de sacarose dentro da exigência da indústria.

Durante o seu ciclo, a cana atravessa normalmente dois períodos distintos em relação ao acúmulo de sacarose em seu colmo. O período inicial é evidenciado por um intenso crescimento vegetativo, com pouco acúmulo de açúcar nos internódios adultos. No segundo, ocorre o acúmulo de sacarose, motivado pela gradual escassez dos principais fatores responsáveis pelo desenvolvimento vegetativo (calor e umidade).

#### **3.2.1 Fatores controladores**

A maturação como um processo fisiológico é afetado por vários fatores naturais, tais como a variedade, condições climáticas, tipo de solo e tratos culturais.

## **Variedades da cana**

Atualmente, as canas de diferentes variedades são híbridos complexos, conseguidos após um cuidadoso e criterioso trabalho de melhoramento genético. Entretanto, tal trabalho é contínuo, pois as variedades lançadas comercialmente têm um período útil de cultivo de mais ou menos de 10 anos, salvo exceções, sendo que após esse período perdem o seu vigor, diminuindo sua produção. As causas que levam uma variedade a diminuir sua produção são a queda de fertilidade do solo, criação de condições físicas desfavoráveis no solo, efeito acumulativo de doenças e pragas, existência de moléstias em sintomas ou não identificadas, condições biológicas desfavoráveis e presença de toxinas e microrganismos exclusivamente prejudicial àquela variedade, mas que não afetam uma nova variedade que for instalada.

As variedades obtidas nas diferentes estações experimentais recebem uma sigla e um número de ordem. A sigla corresponde ao nome da estação experimental, do país ou da região onde foi conseguida a variedade, enquanto que o número de ordem nos fornece o ano de obtenção da variedade e o número do experimento ou somente este último.

As siglas mais comuns na agroindústria canavieira são:

- B – Barbados
- CB – Campos/Brasil
- Co – Coimbatore
- CP – Canal Point
- F – Flórida
- H – Havaí
- IAC – Instituto Agrônomo de Campinas
- IANE – Instituto de Experimentação e Pesquisas Agropecuárias do Nordeste
- M – Maurícius
- Mex – México
- NA – Norte da Argentina
- POJ – Proofstation Oost Jawa
- Q – Queensland

- R – Reunion
- RB – República do Brasil (PLANALSUCAR)
- SP – São Paulo (COPERSUCAR)
- T – Tucuman

As atuais variedades comerciais foram obtidas para a produção de açúcar, não existindo, portanto, variedades especialmente selecionadas para a indústria de aguardente. De maneira geral, estas variedades são empregadas na fabricação de aguardente sem restrições.

Um dos principais problemas que a indústria de aguardente enfrenta, responsável muitas vezes por um baixo rendimento, é a deliberação de plantar variedades de alta produtividade agrícola, sem outras preocupações como a escolha adequada de variedades, segundo a sua maturação e a produção de açúcar por área.

A escolha de variedade segundo a sua maturação justifica-se pela duração da safra, que se alonga por vários meses, iniciando por volta de maio ou junho e não raramente chegando a dezembro, na região sudeste. Um período de safra tão longo necessita de uma distribuição no plantio de variedades que atinjam um teor de açúcar satisfatório em diferentes épocas, permitindo atender a exigência de um bom rendimento, no decorrer de toda a safra. Esta distribuição orientada de variedades propiciará um bom rendimento industrial.

Estando a duração da safra estabelecida, organiza-se um plano de produção que permita fornecer cana com bom teor de sacarose no decorrer de todo o período de processamento. Mas, como nem sempre é possível colher cana em seu estágio ótimo de maturação no decorrer da safra, o conhecimento do PUI (Período Útil de Industrialização) de cada variedade pode auxiliar o produtor a reduzir as perdas de rendimento na indústria.

‘As variedades de cana são classificadas em *precoces*, *médias* e *tardias*, quando atingem um teor satisfatório de sacarose para a industrialização no início (maio/junho), meio (julho/agosto) e fim da safra (setembro/novembro), respectivamente. Assim, as variedades precoces seriam processadas no início, as médias no meio e as tardias no final da safra. Com base neste conceito, foram estabelecidas as proporções em que as variedades deveriam ser plantadas. Entretanto, quando foram levantadas as curvas de maturação, observou-se que o conceito era válido, no que

tange ao teor mínimo requerido, após o que, o comportamento é bem diferente e nova orientação foi estabelecida, visando um maior rendimento.

O PUI foi estabelecido para uma faixa de teores de sacarose na cana, compreendidos entre 13 e 16%. Levantadas as curvas de maturação, verificou-se que a duração do PUI era característico de cada variedade, apresentando as chamadas precoces, médias e tardias.

Analisando-se a Figura 3, constata-se que as variedades precoces alcançam logo no início da safra, valores da ordem de 13% de sacarose, demonstrando possuir um PUI longo, isto é, durante muitos meses (acima de 150 dias) apresentam teor de açúcar dentro da faixa preconizada de 13 a 16%. As variedades médias possuem um PUI médio (120 – 150 dias). Por sua vez, as tardias, apresentam um PUI curto (70 – 100 dias) e, de maneira geral, fornecem um teor de sacarose no final da safra menor do que as próprias precoces de PUI longo, deixando, portanto, de apresentar interesse industrial, por oferecerem um menor rendimento.

Baseando-se nos estudos das curvas de maturação das variedades, existe uma tendência maior em se plantar apenas variedades precoces e médias, sendo que as primeiras em maior proporção.

Resta ainda salientar que o limite mínimo de 13% de sacarose não pode ser considerado fixo, em função das variações climáticas anuais. Em determinadas safras, este valor poderá ser menor do que 13, como por exemplo, 12%.

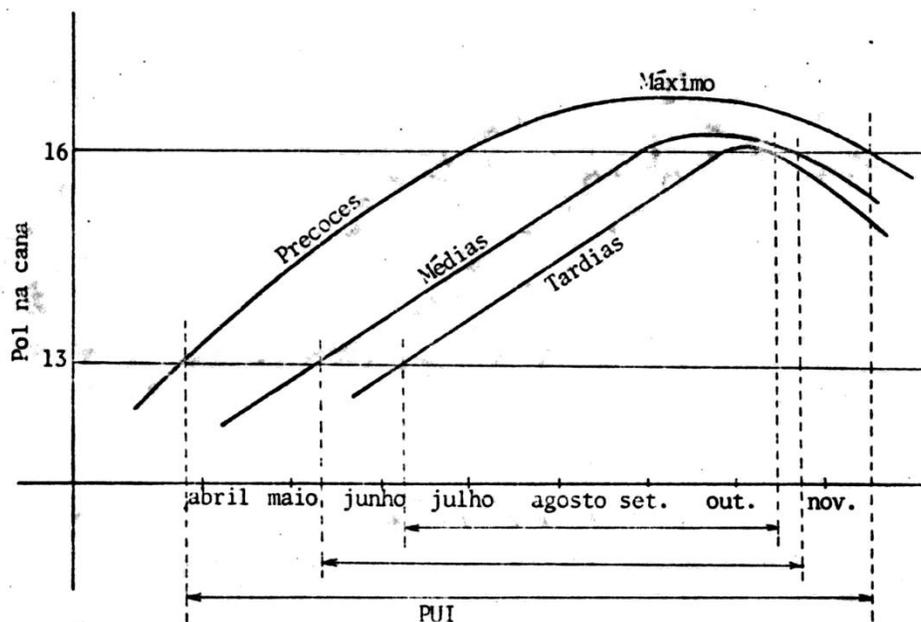


Figura 3. Comportamento das variedades de cana com relação ao período útil de industrialização.

Fonte: Novaes et al. (1974).

### Condições climáticas

As condições climáticas têm influência marcante na maturação e, sob condições de alta umidade no solo e de elevada temperatura atmosférica, a cana-de-açúcar tem o seu crescimento intensificado, enquanto que em condições contrárias, aumenta a concentração de sacarose e conseqüente redução do teor de açúcares redutores. Em regiões irrigadas, a maturação é controlada pelo fornecimento de água.

### Tipo de solo

As propriedades químicas e físicas, a exposição ao sol e a topografia do solo têm influência notável na maturação. Assim, nos solos porosos e secos, a maturação é mais rápida do que em solos compactados e úmidos.

A adubação influndo nas propriedades químicas do solo pode provocar um retardamento da maturação por aumentar o crescimento. O mesmo efeito pode ser verificado em solos ricos de matéria orgânica proveniente de derrubadas. O efeito combinado de água, fertilizante e matéria

orgânica pode ser ocasionado pela aplicação de doses elevadas de vinhaça ao solo, responsável por altas produtividades agrícolas, mas por baixos teores de sacarose na matéria-prima.

### **3.2.2 Métodos e critérios de avaliação do estágio de maturação**

Os critérios empregados para estimar a maturação de um canavial podem ser classificados como empíricos e técnicos. Os sistemas empíricos baseiam-se no aspecto e na idade do canavial. A orientação é fundamentada em certos indícios considerados como característicos de um canavial em estágio de maturação, tais como o desenvolvimento do colmo, folhas secas, amareladas e caídas, colmos descobertos e florescimento. O julgamento da maturação pelo aspecto do canavial é bastante falho, uma vez que o grau de maturação depende das condições locais predominantes.

Os sistemas técnicos mais empregados são o refratômetro de campo e as análises tecnológicas.

#### **Refratômetro de campo**

O refratômetro de campo é um aparelho de simples manejo, preço relativamente baixo e que fornece leitura direta de °Brix (% de sólidos solúveis) do caldo. Como o teor de sacarose aumenta com o aumento do teor de sólidos solúveis, e dada uma correlação estreita entre ambos, especialmente em canas maduras, esta análise fornece resultados que refletem muito bem o teor de sacarose, e conseqüentemente, o estágio de maturação.

No decorrer do processo de maturação, o acúmulo de sacarose ocorre da base em direção à ponta. Assim sendo, admite-se que a cana está madura para a colheita quando o teor de sacarose da base e do meio são praticamente iguais e o da ponta ligeiramente menor do que da base e do meio.

Para isso, são examinadas de 15 a 20 colmos/hectare. A amostragem deve ser criteriosa e cuidadosamente executada, procurando atingir toda a área, sendo os colmos tomados ao acaso na touceira.

As canas que servirão para amostragem não necessitam ser arrancadas ou cortadas da touceira. Com o auxílio de um furador apropriado, retiram-se algumas gotas de caldo da base, do

meio ou da ponta da cana, que são colocadas sucessivamente no prisma do aparelho, sendo a leitura feita em uma escala de 0 a 30 °Brix. Os dados obtidos podem ser comparados com os dados de uma curva de maturação já determinada.

Para estimar a maturação, pode-se lançar mão de diferença de °Brix entre as partes do colmo, o que é muito mais significativo do que se obter um simples dado de qualquer uma das partes do colmo. Alguns trabalhos recomendam apenas analisar o terço médio do colmo, sendo considerado o valor médio de 18 °Brix, como uma cana em condições de corte e, portanto, madura.

### **Análises tecnológicas**

As análises tecnológicas devem ser realizadas nos talhões em que o estágio de maturação foi considerado satisfatório pelo refratômetro de campo.

A mesma amostragem deve ser feita, como descrita para o refratômetro. Entretanto, as canas devem ser colhidas e enviadas ao laboratório devidamente catalogadas. O caldo extraído em moenda ou em prensa de laboratório é submetido às análises de °Brix, Pol e açúcares redutores, sendo calculados a partir destes dados, a pureza aparente e o açúcar provável por cento de cana.

Para julgar a maturação dos talhões são empregados vários critérios de julgamento. A ESALQ/USP propôs o critério das análises tecnológicas de °Brix, Pol, Pureza e açúcares redutores, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Avaliação da maturação de cana-de-açúcar através de análises tecnológicas.

Análises	Início da safra	Decorrer da safra
Brix (mínimo)	18,0%	18,0%
Pol (mínimo)	14,4%	15,3%
Açúcares redutores (máximo)	1,5%	1,0%
Pureza aparente (mínima)	80,0%	85,0%
Açúcar provável % de cana (mínima)	10,4%	11,4%

Fonte: Novaes et al. (1974).

## 4 MICROBIOLOGIA DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA

### 4.1 Classificação das leveduras

As leveduras podem ser classificadas, sob o ponto de vista taxonômico, dentro de várias classes de fungos. Elas não constituem um grupo homogêneo, todavia, particularmente as de interesse industrialmente, são classificadas como *ascomycetos*. As mais importantes pertencem ao gênero *Saccharomyces*, sendo a *Saccharomyces cerevisiae* a principal espécie de levedura alcoólica.

Industrialmente, sem nenhum significado científico, as leveduras podem ser classificadas segundo seu comportamento nas fermentações em: verdadeiras, falsas, de processo, selvagens, altas, baixas, etc.

### 4.2 Morfologia das leveduras

As leveduras são fungos geralmente unicelulares. Sua forma é muito variável, predominando as esféricas, ovais e alongadas. O diferencial entre leveduras e bactérias fica por conta de suas dimensões e densidades. Enquanto as bactérias esféricas têm diâmetro de 0,5 a 4  $\mu\text{m}$ , as leveduras apresentam diâmetro de 1 a 5  $\mu\text{m}$  e comprimento de 5 a 30  $\mu\text{m}$ .

O fato das leveduras serem maiores que as bactérias apresenta grande importância em destilaria, visto que em alguns processos de reutilização de leveduras, utiliza-se a força centrífuga

para separação desses microrganismos. Assim, as leveduras são separadas do vinho com maior facilidade em relação às bactérias contaminantes da fermentação alcoólica.

### 4.3 Reprodução das leveduras

As leveduras do gênero *Saccharomyces* reproduzem-se de forma sexuada e assexuada. Quando se trabalha com meio de cultura relativamente rico em nutrientes, como nas fermentações industriais, a reprodução é realizada por processo assexuado, isto é, a multiplicação das leveduras ocorre por brotamento ou gemulação, do qual resultam células filhas, inicialmente menores que a célula-mãe.

O processo sexuada pode ocorrer quando as condições do meio de cultivo se tornam extremamente desfavoráveis ao seu desenvolvimento. A reprodução sexuada se faz pela formação de ascósporos, isto é, esporos contidos no interior de uma asca.

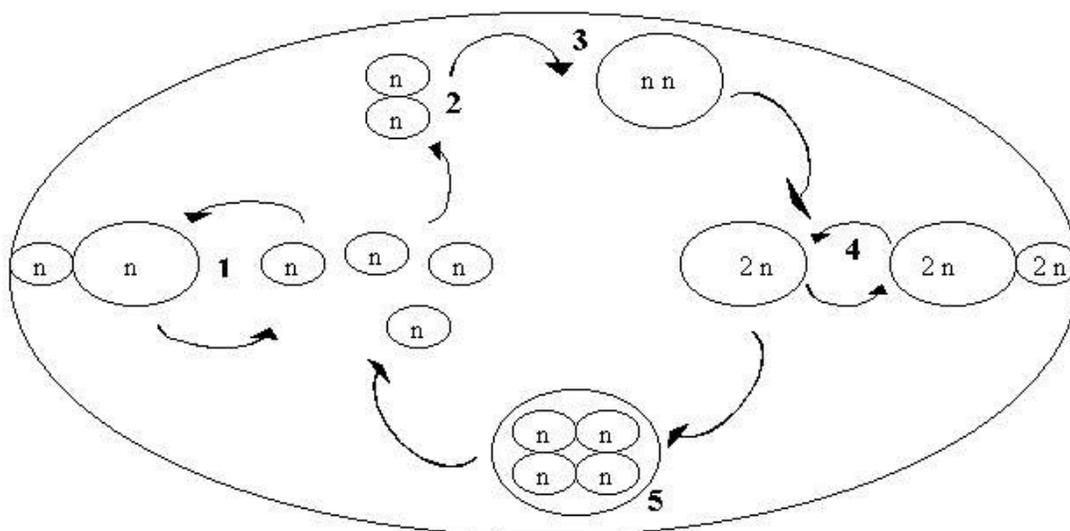


Figura 4. Ciclo vital da *Saccharomyces cerevisiae*. 1- reprodução assexuada por brotamento em população haploide; 2- conjugação de células haploides; 3- formação de zigoto; 4- reprodução assexuada por brotamento em população diploide; 5- reprodução sexuada e formação de asca com quatro ascósporos. Fonte: Venturini Filho e Mendes (2003).

#### 4.4 Crescimento das leveduras

O termo crescimento refere-se ao aumento populacional devido à multiplicação celular e não propriamente ao aumento de tamanho de uma célula, indicando a viabilidade da levedura.

O crescimento de uma população de leveduras pode ser dividido em quatro fases: lag ou adaptação, log ou exponencial, estacionária e declínio ou morte.

A fase lag ou adaptação começa quando as células de leveduras são inoculadas no meio de cultura, ocorrendo um ajuste às condições físicas de cultivo e aos nutrientes disponíveis. Acontece um período de latência, porém, existe intensa atividade metabólica. À medida que a levedura torna-se adaptada ao meio, sintetiza componentes celulares (enzimas) e só então começa a metabolizar os nutrientes do meio e multiplicar-se. A duração e o padrão desta fase são influenciados pela linhagem da levedura, pela idade das células antes da inoculação e pela composição, tanto do meio no qual a levedura vinha sendo cultivada quanto do novo meio em que foi inoculada.

A fase log ou exponencial de crescimento tem início logo após a fase de adaptação, ocasião em que se inicia um aumento exponencial do número de células ( $2^0 - 2^1 - 2^2 - 2^3 - 2^4 - 2^5 - \dots - 2^n$ ). Esta é uma fase de intensa multiplicação e dura enquanto não houver limitação de nutrientes ou acúmulo de metabólitos. O tempo que as leveduras levam para se duplicarem denomina-se tempo de geração e este é, mais ou menos, constante para cada cultura.

A quantidade de inóculo não influencia o tempo de geração durante a fase exponencial, mas, pequeno volume de inóculo prolonga a fase de multiplicação, enquanto que o inverso também é verdadeiro. Portanto, a proporção relativa entre a quantidade de açúcar e de levedura no meio de fermentação determina a duração dessa fase.

Na fase estacionária ocorre uma diminuição na velocidade de crescimento, na qual o número de células permanece constante por um tempo considerável (ocorre equilíbrio entre a taxa de multiplicação e de morte da população). Sua duração é variável dependendo da linhagem de levedura e das condições ambientais.

Eventualmente, o número de células que morrem excede o número de células novas e, então, a cultura entra na fase de declínio. Para as leveduras, morte significa a perda irreversível da

capacidade de reproduzir-se. A rapidez com que as células morrem ou sobrevivem por mais tempo é ditada pela composição do meio (esgotamento de nutrientes, acúmulo de metabólitos) e pelas condições físicas e químicas do meio (pH, temperatura). Por vezes, devido à autólise das células, as sobreviventes podem se multiplicar prolongando esta fase. Por fim, muitas delas que sobrevivem nessa fase entram num estágio diferente de seu ciclo vital podendo formar esporos ou ascósporos.

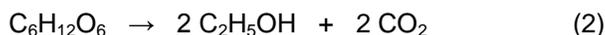
#### 4.5 Metabolismo das leveduras

O metabolismo celular é uma ordenada seqüência de reações bioquímicas intimamente ligadas a sistemas enzimáticos. O metabolismo nas leveduras é resultante de dois processos fundamentais: o catabolismo ou desassimilação e o anabolismo ou assimilação. No catabolismo, os microorganismos promovem a degradação do substrato (açúcares), enquanto no anabolismo, eles promovem a síntese de material celular.

Os fenômenos catabólicos na levedura alcoólica compreendem a respiração e a fermentação. A respiração (Equação 1) é um processo biológico através do qual o açúcar ( $C_6H_{12}O_6$ ) é completamente oxidado em  $CO_2$  e  $H_2O$ , produzindo como saldo energético 38 moléculas de ATP. Dada a sua elevada eficiência energética, o processo respiratório é particularmente útil na multiplicação celular, devendo ser utilizado quando se deseja multiplicar fermento no início da safra.



A fermentação alcoólica (Equação 2), por sua vez, é constituída de reações em que o açúcar é parcialmente oxidado para formar etanol e  $CO_2$ , resultando na produção de apenas duas moléculas de ATP. Portanto, esse processo não é eficaz para a multiplicação celular, mas essencial na produção de bebidas alcoólicas, álcool e pão.



As condições ambientais determinam o catabolismo da levedura alcoólica. Este é influenciado por dois efeitos: o Pasteur e o Crabtree. No primeiro, observa-se a tendência da levedura respirar em meios aeróbios, enquanto que no segundo, constata-se que o levedo pode fermentar mesmo na presença de oxigênio. Sabe-se que a glicose e a frutose (ou qualquer açúcar que forneça um destes açúcares por hidrólise), em concentração elevada, reprimem a respiração da levedura alcoólica. Portanto, a respiração apenas é possível na presença de oxigênio e baixa concentração de açúcar. Em meios anaeróbios ou em meios aeróbios, mas com elevada concentração de açúcar, as células de levedura alcoólica deverão fermentar preferencialmente.

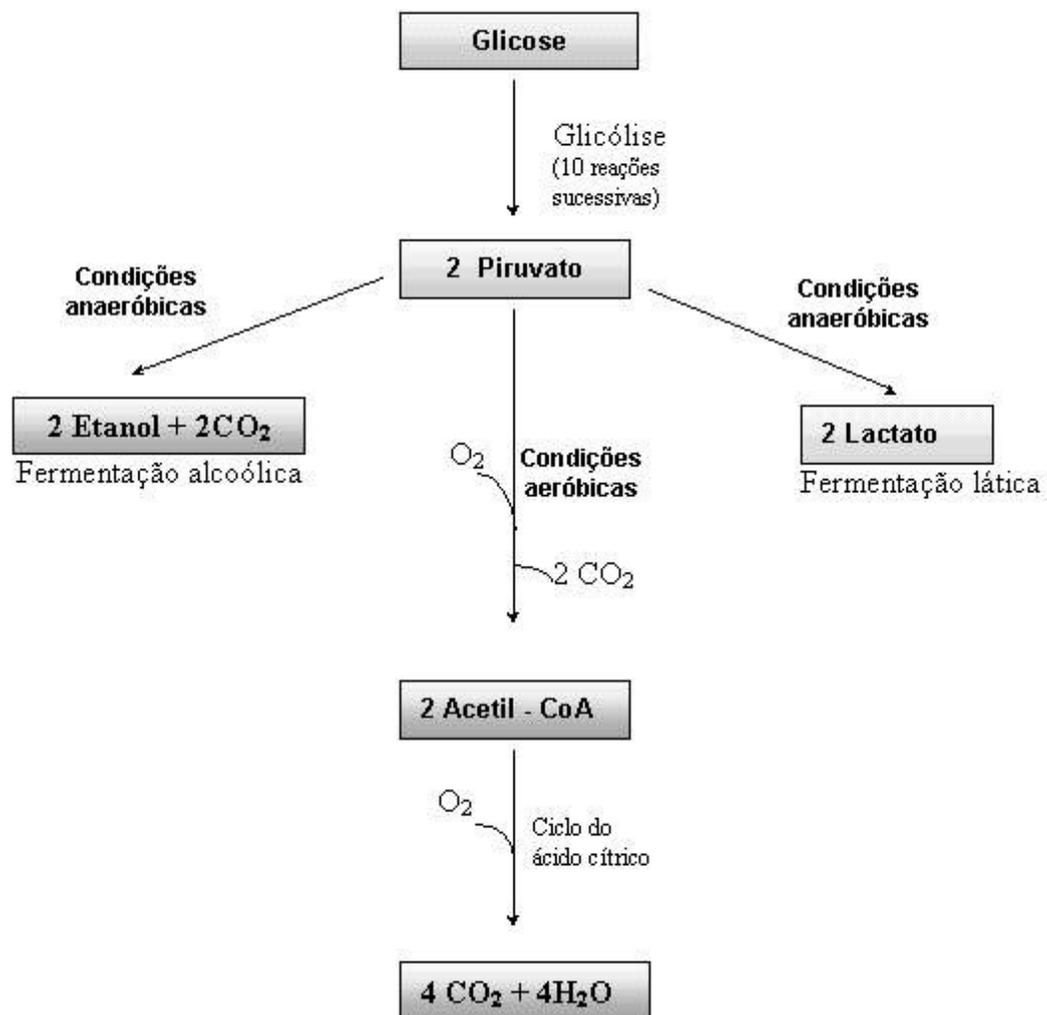


Figura 5. Catabolismo das leveduras. Fonte: Lehninger (1988).

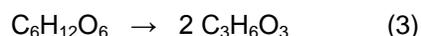
#### 4.6 Bactérias contaminantes da fermentação alcoólica

Quando as condições de processamento (colheita da cana, extração do caldo e fermentação do mosto) da aguardente são impróprias ou anormais, há o desenvolvimento de outros microorganismos, especialmente bactérias, que atuando sobre os açúcares, ou mesmo sobre os produtos originados da fermentação alcoólica, formam outros compostos orgânicos.

Estes microorganismos provocam infecções que são indesejáveis porque se desenvolvem paralelamente à fermentação alcoólica, competindo pelo açúcar do mosto e baixando o rendimento do processo fermentativo ao mesmo tempo em que produzem metabólitos tóxicos às leveduras alcoólicas.

##### 4.6.1. Fermentação láctica

A fermentação láctica (Equação 3) é a principal infecção da fermentação alcoólica nas indústrias de bebidas alcoólicas e álcool. Ela consiste na oxidação parcial dos açúcares em ácido láctico pelas bactérias denominadas genericamente de *láticas*, que pertencem aos gêneros *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Pediococcus* e *Leuconostoc*. Essas bactérias são Gram positivas, anaeróbias e apresentam-se como bastonetes ou *coccus* isolados.



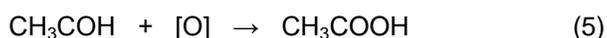
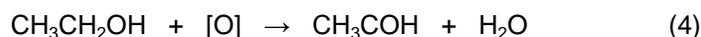
As bactérias lácticas se desenvolvem em mosto levemente ácido, sob anaerobiose e temperatura elevada (30 – 45 °C). Sua presença no mosto em fermentação pode ser diagnosticada pela elevação da acidez, diminuição da espuma e pelo odor característico de ácido láctico. O acúmulo deste metabólito torna o meio desfavorável às leveduras alcoólicas.

##### 4.6.2. Fermentação acética

As bactérias acéticas podem oxidar açúcares do mosto, o etanol do vinho e ainda o acetaldeído – metabólito intermediário da fermentação alcoólica – para produzir ácido acético. Elas

pertencem ao gênero *Acetobacter*, são aeróbias, Gram negativas e apresentam-se como bastonetes alongados, móveis ou não.

A produção de ácido acético a partir do etanol é mostrada nas Equações 4 e 5. O composto intermediário é o acetaldeído ou aldeído acético.



Essas bactérias produzem o ácido acético na presença de oxigênio. A faixa ótima de temperatura está na faixa de 15 e 34 °C, sendo que teores alcoólicos inferiores a 11% favorecem a sua atuação. A presença da fermentação acética é diagnosticada pelo cheiro forte e característico do vinagre e pela presença da mosca do vinagre (drosófila).

#### 4.6.3. Fermentação butírica

Quando as fermentações acética e láctica estão generalizadas no mosto, pode ocorrer concomitantemente este tipo de fermentação indesejável. As bactérias da fermentação butírica oxidam açúcares para produzir o ácido butírico e outros compostos secundários como o gás carbônico, ácido acético e vários tipos de álcoois. Elas pertencentes ao gênero *Clostridium*, apresentando-se na forma de bastonetes, são anaeróbicas e Gram negativas.

As condições de desenvolvimento destas bactérias são anaerobiose, mosto pouco ácido e temperatura ótima entre 30 e 35 °C. O diagnóstico deste tipo de fermentação pode ser feito através do odor penetrante e característico de ranço e pelo aumento da acidez.

#### 4.6.4. Fermentação do dextrânio

É uma das infecções mais freqüentes nas destilarias. O agente da fermentação do dextrânio é uma bactéria láctica da espécie *Leuconostoc mesenteroides*. Ela apresenta-se na

forma de *coccus*, ocorrendo em cadeias e apresentando-se envolvidas por uma camada gelatinosa (cápsula).

O diagnóstico deste tipo de infecção é dado pelo aumento de viscosidade do mosto em fermentação que dificulta o desprendimento de gás carbônico e pela flutuação na superfície do líquido de aglomerados gelatinosos de diferentes tamanhos conhecidos pela denominação de *canjica* que entope os bicos das centrífugas, os trocadores de calor de placas e as tubulações.

As condições para o desenvolvimento desta infecção, que está intimamente ligada à qualidade da cana-de-açúcar, são a temperatura elevada do mosto em fermentação (30 – 35 °C) e a reação do meio levemente ácido.

#### **4.6.5. Fermentação do levânio**

É um tipo de fermentação secundária que pode ocorrer isolada ou simultaneamente com as demais. O levânio é um polissacarídeo formado através da sacarose, sendo esta síntese realizada por várias bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Aerobacter* e *Streptococcus*. As condições em que ocorre esta infecção e os prejuízos causados por ela são os mesmos do dextrânio.

#### **4.7. Controle das infecções**

A evolução tecnológica das destilarias colaborou para diminuir a freqüência com que ocorriam as infecções. Entretanto, elas ainda persistem e necessitam de uma rotina de controle, que pode ser feito empregando-se matéria-prima bem conservada e não queimada; tornando mínimo o espaço de tempo entre o corte e a moagem; coando o caldo após a moagem; efetuando as devidas correções no mosto, com emprego de água de boa qualidade na embebição ou na diluição do caldo; utilizando antissépticos, dentro das especificações técnicas; empregando um fermento sadio, em quantidade suficiente e adequado ao processo fermentativo; mantendo a temperatura em torno de 30 °C durante a fermentação; procedendo a exames microscópicos para verificar o grau de contaminação e limpando de todas as instalações da destilaria, que é sem dúvida, o fator mais importante para controlar as infecções.

## **5 PROCESSAMENTO DA AGUARDENTE**

### **5.1. Colheita, carregamento e transporte**

Após a determinação do estágio de maturação e estando o canavial em condições de oferecer um bom rendimento em biomassa e açúcares, procede-se o corte da cana, que é realizado por sistema manual e mecânico.

O corte manual é realizado com o auxílio de um facão especial ou podão de cana. Deve ser bem rente ao solo, propiciando um melhor aproveitamento da cana e, principalmente, uma brotação vigorosa da soqueira e uma prevenção ao ataque de pragas e moléstias. A parte superior do colmo deve ser eliminada devido à sua baixa riqueza em açúcar. Após o corte, as canas são enfeixadas, se o carregamento for manual, contendo em média, por feixe, 15 colmos. Havendo carregadoras mecânicas, dispensa-se a formação de feixe.

O corte mecânico vem substituindo progressivamente a mão-de-obra, em função das vantagens econômicas e ambientais que este tipo de corte oferece. O corte é feito com o auxílio de máquinas, as quais cortam e despontam a cana. A cana, cortada mecanicamente em toletes, deve ser processada imediatamente a fim de evitar a sua rápida deterioração. É importante salientar que este tipo de cana apresenta sensível perda de qualidade em relação à cortada manualmente, sob o ponto de vista de impurezas de natureza vegetal.

A operação de corte é precedida pela despalha manual ou a fogo. Embora este último seja o mais difundido em virtude da necessidade de aumentar o rendimento do cortador, sua prática está sob cheque devido aos inconvenientes ambientais que acarreta. Embora alguns autores citem que, do ponto de vista prático, não se encontram argumentos para condenar o sistema de despalha a fogo por este não apresentar problemas durante a fermentação e nem tampouco no rendimento, acredita-se que a queima é responsável por considerável perda de sacarose em função da exsudação. Com a exsudação, ocorre a aderência de terra aos colmos, obrigando a lavagem da cana, pois além da multiplicação de microorganismos com perdas significativas de açúcar, os produtos formados causam dificuldades na fabricação de açúcar, de álcool e de aguardente.

No que se refere ao corte da cana, poder-se-ia levantar o problema do desponte, especialmente, no início da safra, quando ainda a cana-de-açúcar não alcançou um estágio avançado de maturação. A prática tem demonstrado que as canas verdes e mal despontadas provocam fermentações muito mais espumosas do que as bem despontadas.

O carregamento dos veículos de transporte da cana, principalmente entre os fornecedores de cana, é o manual, sendo executado por 2 a 4 operários, por veículo, que atiram os feixes para o seu interior.

O carregamento mecânico pode ser feito através de guindastes, guias, tralhas ou montacargas assentados sobre tratores de esteira ou de rodas pneumáticas. O maior inconveniente deste sistema é o transporte de grande quantidade de matéria estranha juntamente com a cana, como folhas, terra e pedras, o que é agravado após períodos chuvosos. Como consequência da adoção do carregamento mecânico, houve a necessidade de novos investimentos, como o da lavagem da cana.

O sistema de carregamento de cana deve ser tal que evite tanto quanto possível o transporte dessa matéria estranha, concorrendo para minimizar os inconvenientes do desgaste de equipamentos ocasionado pelas pedras e das contaminações pelos microorganismos do solo.

Finalmente, deve-se calcular a quantidade de cana a ser cortada em função da processada, não somente com o objetivo de suprir a destilaria, mas, principalmente para evitar a sua permanência no campo após o corte, ou mesmo no pátio, que são os principais fatores responsáveis pelos baixos rendimentos.

No Brasil, o transporte da cana depende das condições específicas de cada região açucareira. Em algumas regiões, o transporte é realizado no lombo de animais, bem como em veículos puxados pelos mesmos. Já em outras regiões, pode ser feito através de caminhões, carretas puxadas por tratores e por via férrea.

## **5.2. Armazenamento da cana**

Considerando a existência de destilarias que trabalham numa jornada diária de 24 horas e que o corte é realizado praticamente durante o dia, torna-se necessário a existência de um pátio de

armazenamento de cana para garantir o processamento noturno, como também o processamento do domingo, quando a maioria dos fornecedores paralisam suas atividades.

Sendo a cana-de-açúcar um produto perecível, aconselha-se que ela seja transportada e moída dentro do menor prazo possível, no máximo 36 horas após o corte. A distribuição desta cana no pátio deve ser bem controlada, de maneira a facilitar a moagem das canas que chegaram primeiro.

Porém, a moagem pode ser interrompida devido a causas acidentais (quebra da moenda) ou mesmo ambientais (excesso de chuva), provocando um acúmulo de cana cortada no campo e na usina. Tal fato pode provocar sua deterioração, ocasionando graves prejuízos, tanto sob o ponto de vista agrícola como industrial.

A primeira manifestação de deterioração da cana-de-açúcar é a inversão da sacarose. Este fenômeno, que poderia ser considerado benéfico ao processo fermentativo, provoca como consequência do desdobramento da sacarose e a formação de produtos prejudiciais à fermentação.

No colmo, mesmo após o corte, o processo de transpiração tem continuidade, ocasionando perda de água e, conseqüentemente, uma queda no peso e um aumento do teor de fibras, dificultando a moagem e a extração e aumentando a perda de sacarose no bagaço. A respiração, bastante acelerada nos períodos noturnos, também é realizada às custas de açúcares.

Os microorganismos presentes na cana, após o seu corte, multiplicam-se às custas dos açúcares, provocando ainda uma queda do pH e aumento da acidez volátil, bastante prejudicial ao desenvolvimento da fermentação. Fato bastante comum nos pátios de armazenamento de cana é a presença de canas “azedas” e com grande número de microorganismos em sua superfície, que durante o processamento provocam sérios problemas para a fermentação.

A cana picada colhida mecanicamente não deve ser armazenada, pelo fato de estar sujeita a uma deterioração mais rápida, enquanto que as canas inteiras permitem uma maior flexibilidade.

### 5.3 Preparo da cana

O preparo da cana para moagem consiste em um processo de desintegração, visando destruir a resistência da parede dura da cana (casca e nós), romper o maior número de células parenquimatosas que armazenam o caldo, bem como uniformizar o colchão de cana favorecendo a capacidade do aparelho de extração. Tais procedimentos facilitam o trabalho da moenda, reduzindo as perdas inevitáveis de sacarose no bagaço.

A quantidade de caldo extraído é função direta da intensidade desse preparo. Assim, os equipamentos preparadores operam com alta velocidade e baixa pressão, sem, no entanto, extrair o caldo. São constituídos pelas facas rotativas (picadores) e desfibradores.

Inicialmente, um jogo de facas niveladoras distribui a camada de cana na esteira, permitindo um melhor trabalho das facas cortadoras, situadas logo após àquelas. As facas cortadoras têm a função de retalhar, cortar e picar as canas, melhorando consideravelmente a alimentação da primeira unidade esmagadora. Essas facas são recobertas por um cofre metálico, munido de portas, o qual evita a projeção de pedaços de cana para fora da esteira. O acionamento das mesmas é feito por motor elétrico, por máquina a vapor de alta rotação ou por turbina a vapor.

Os desfibradores (moinhos de martelo) são aparelhos de construção mais sofisticada que os jogos de facas e consiste de martelos pesados com a função desfibrar a cana, aumentando a extração do caldo, porém mantendo uma estrutura fibrosa longa.

### 5.4 Extração do caldo por moagem

A moenda (Figura 6) é constituída de 3 cilindros ranhurados, os quais tendo os seus centros ligados, formam um triângulo isósceles. Dois destes cilindros encontram-se em um mesmo plano inferior ao do terceiro (superior). Os cilindros inferiores são rígidos, enquanto que o superior pode subir ou abaixar para manter uma pressão constante sobre a camada de cana ou bagaço, conseguida através de reguladores. Como acessórios principais, destacam-se os pentes ou raspadores e a bagaceira, cujas finalidades são de manter as ranhuras dos cilindros limpas e conduzir a cana parcialmente esmagada para um segundo esmagamento.

A operação de extração propriamente dita consiste em passar a cana preparada através da primeira unidade e encaminhar o bagaço resultante através de esteiras intermediárias para outras unidades, a fim de ser submetido a novas compressões. Durante a passagem de uma unidade para a outra, o bagaço em processo pode sofrer uma embebição.

A extração do caldo de cana é o fator mais importante quando se considera o rendimento de aguardente por tonelada de cana processada, estando este diretamente relacionado com o número e tipo de unidades esmagadoras.

A eficiência de uma moenda é medida em função da capacidade e da extração. Entende-se como capacidade a quantidade de cana moída na unidade de tempo, enquanto que por extração, a quantidade de sacarose extraída.

As destilarias de aguardente, dependendo da sua capacidade, utilizam diferentes números de ternos de moagem, podendo variar entre 1 e 5.

A extração do caldo de cana nas destilarias que trabalham com apenas um terno pode ser comprometida. Nas moendas desprovidas de reguladores de pressão (queixo duro), as extrações não ultrapassam 60%, enquanto que as dotadas destes dispositivos têm o valor aumentado para 70%. A baixa extração é conseqüência, principalmente, da regulagem da moenda, da ausência de preparo de cana e da alimentação irregular.

As destilarias com mais de um terno de moagem têm a capacidade de extração dependente do número de ternos, do tipo de equipamento, do preparo de cana, da embebição, etc. A extração nestas destilarias varia entre 75 a 92%.

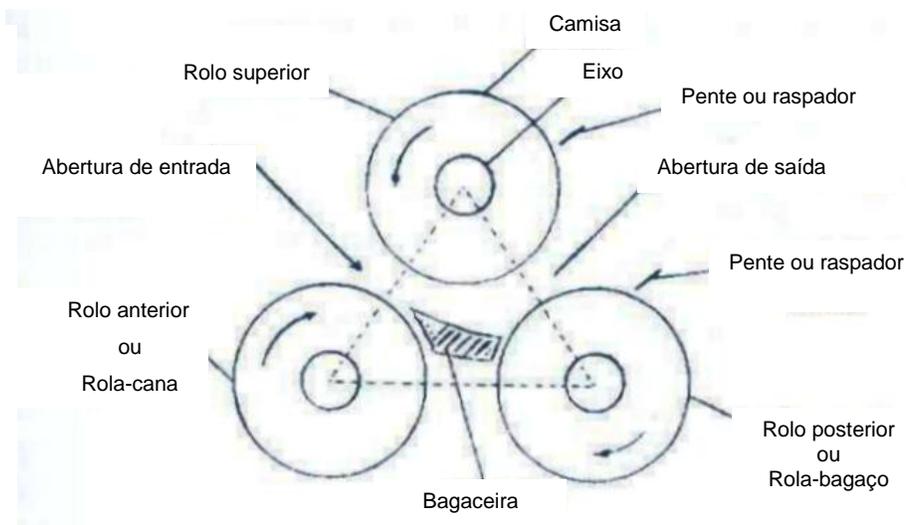


Figura 6. Constituição esquemática de uma moenda. Fonte: Oliveira (1978).

#### 5.4.1 Embebição

Ao passar através dos primeiros ternos de moenda, o teor de caldo residual decresce rapidamente, enquanto que o de fibra aumenta. Quando a umidade do bagaço atinge 50%, o caldo fica fortemente retido por capilaridade, tornando-se inútil continuar comprimindo o bagaço a seco.

A embebição é o artifício mais interessante para se extrair mais caldo residual, quando se atinge o limite da extração a seco. Esta operação consiste em se adicionar água, ou ainda água e caldo diluído, sobre o bagaço que sai das moendas com a finalidade de diluir a sacarose restante, aumentando sua extração.

A embebição é simples quando se emprega somente água, e será composta quando forem utilizados água e caldo. Ambas podem ser única, dupla ou tripla e assim por diante, dependendo do número de pontos de contato com o bagaço.

A embebição simples, no caso da aguardente, é mais empregada. Entretanto, nem sempre é a mais indicada, estando na dependência do número de unidades esmagadoras do tandem de moagem.

A aplicação da embebição pode ser feita através de canos perfurados, de bicos injetores e de calhas.

A eficiência da embebição pode ser seriamente comprometida pela dificuldade de se conseguir com que a água atinja uniformemente o colchão de bagaço. A prática tem revelado que um mau preparo da cana dispensa a embebição, pois a água adicionada não é absorvida pelo bagaço. A espessura deste também contribui para isto.

A qualidade da água de embebição em moendas de destilaria é da máxima importância, sendo requerida água com características de potável. A água de má qualidade pode ser um veículo de contaminações das fermentações.

#### **5.4.2 Coamento**

Durante esta operação, procura-se eliminar as impurezas grosseiras do caldo, como bagacilho e terra. O bagacilho, aumentado com o melhor preparo da cana para a moagem e com inadequado assentamento das bagaceiras, constitui-se num sério foco de infecção, provoca o entupimento das canalizações e dos bicos da turbina de separação de fermento nos processos em que é empregada. Quando na destilaria, provoca a formação do furfural, substância indesejável para a qualidade da aguardente. A terra é um sério veículo dos microorganismos do solo, sendo um constante inoculador de contaminantes.

A separação parcial dessas impurezas pode ser conseguida através de diversos tipos de coadores, tais como: fixos com raspadores de bagacilho (tipo *cush-cush*), fixos sem raspadores, rotativos e vibratórios, sendo estes dois últimos mais eficientes.

Nas destilarias de pequena capacidade, são empregados os coadores fixos, enquanto que, nas de maior capacidade, os vibratórios e os fixos com raspadores.

#### **5.5 Preparo do mosto**

Mosto é o termo empregado em tecnologia de bebidas alcoólicas para definir um líquido açucarado apto a fermentar. O caldo misto se enquadra dentro das características de mosto, enquanto que o melaço *in natura* requer uma preparação adequada para condicioná-lo às exigências do agente da fermentação alcoólica.

No preparo do mosto, alguns cuidados devem ser tomados quanto à concentração de sólidos solúveis, açúcares totais, acidez total e pH, garantindo uma fermentação pura, regular e com rendimentos satisfatórios. Em alguns casos torna-se necessário a suplementação de nutrientes, a adição de antissépticos e o controle da temperatura.

### 5.5.1 Brix e açúcares totais

O teor de açúcares de um mosto depende da natureza e da composição química da matéria-prima, devendo ser compatível com o tipo de levedura que será utilizada e com o processo empregado na fermentação alcoólica. Uma forma prática para se medir essa quantidade de açúcares, com uma aproximação admissível, em se tratando de uma destilaria, onde nem sempre é possível a instalação de um laboratório de análises químicas, é fazer o uso do areômetro ou sacarímetro de °Brix, que é um aparelho simples, de fácil manejo e de baixo custo.

Dependendo do processo de extração, o teor de sólidos solúveis do mosto para a fabricação de aguardente varia de 14 a 22 °Brix. Devido sua pureza elevada, estes valores correspondem a uma concentração de açúcares totais da ordem de 12,5 a 20%. Os melhores resultados fermentativos são obtidos com mostos de concentração variável de 14 a 16 °Brix.

Mostos diluídos facilitam a fermentação, tornando-a mais rápida e completa. Além disso, a multiplicação do fermento é favorecida, devido ao efeito *Crabtree* (inibição da respiração pelos açúcares do mosto – assim, quanto menor a concentração de açúcar, maior a respiração e conseqüentemente o crescimento celular). Além disso, diminuem as incrustações, facilitando a limpeza dos aparelhos. Em contraposição, é necessário um maior volume de dornas e de depósitos; as infecções são favorecidas, em virtude do baixo teor alcoólico do meio em fermentação; aumenta o consumo de água e de vapor, diminui o rendimento dos aparelhos de destilação e, conseqüentemente, haverá maior exigência em mão-de-obra.

Mostos concentrados acarretam fermentação mais lenta e, muitas vezes, incompletas, além de dificultarem a multiplicação do fermento, em função do efeito *Crabtree*. Os problemas relacionados às incrustações são mais freqüentes, além de ocorrer maior produção de furfural.

No início da safra, quando o fermento ainda não se encontra perfeitamente desenvolvido, devem ser utilizados mostos diluídos, com concentração de 12 °Brix. Ao atingir o desenvolvimento normal, o °Brix deverá ser gradativamente aumentado.

A diluição do caldo de cana visando sua transformação em mosto será função do tipo da destilaria. Assim, naquelas que possuem um único terno moagem, ela será realizada em caixas de recepção ou em tanques de diluição, ao passo que, existindo dois ou mais ternos de moagem, a diluição será controlada pela adição de maior ou menor quantidade de água de embebição, ocorrendo, neste particular, um aumento da extração.

### **5.5.2 Acidez total e pH**

A acidez do mosto tem influência no desenvolvimento da levedura e na fermentação. Embora a levedura prefira pH próximo de 4,5, observa-se que a acidez do caldo é praticamente suficiente para uma boa fermentação. A acidez titulável do caldo proveniente de uma cana-de-açúcar sadia e madura está em torno de 2,5 gramas de ácido sulfúrico por litro de mosto, enquanto que seu pH deve estar próximo de 5,5.

Entretanto, no caso em que o caldo já vem bastante contaminado do campo, como ocorre quando a cana está queimada há vários dias, em época de calor úmido, ou quando se tratam de variedades de difícil fermentação, ou ainda quando o fermento está infeccionado, é necessária uma pequena correção do pH e, para tal, é empregado ácido sulfúrico, o qual pode ter a dosagem fixada em 25 ml de ácido sulfúrico comercial (densidade = 1,84) para cada 100 litros de mosto.

Os fabricantes de aguardente, de um modo geral, têm receio realizar esta prática, julgando que o ácido sulfúrico irá matar o fermento, corroer as dornas de fermentação e os aparelhos de destilação, além de envenenar a aguardente produzida nestas condições. Porém, o ácido sulfúrico, quando utilizado na proporção mencionada acima, trará uma série de vantagens ao processo fermentativo, como o descolamento da acidez orgânica que, no mosto, pode existir sob a forma de sais alcalinos, principalmente cálcicos. Neste caso, a acidez volátil, que é prejudicial à levedura, como é o caso dos ácidos fórmico, acético, láctico, butírico, etc., será facilmente eliminada. Por outro lado, os ácidos fixos, como o tartárico, o cítrico, o málico, etc., ficarão à disposição da

levedura como nutrientes; haverá decomposição dos nitratos e sulfitos, que dificultam o desenvolvimento do levedo alcoólico, liberando os radicais voláteis  $\text{NO}_2$  e  $\text{SO}_2$ ; ocorrerá a estabilização da acidez inicial, sem aumento apreciável, principalmente da acidez volátil e; deverá facilitar a inversão da sacarose presente no mosto.

### 5.5.3 Temperatura

A temperatura é um dos fatores de grande importância ao bom desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pelo processo de fermentação. De fato, as leveduras utilizadas nas destilarias de aguardente, sendo um ser vivo possuem uma determinada faixa de temperatura na qual desempenham eficientemente suas atividades. Este ótimo de temperatura encontra-se entre 26 a 32°C. À medida que se afasta desta faixa, quer para mais ou para menos, suas condições de vida ficam prejudicadas, sendo que a sensibilidade é bem mais acentuada para as temperaturas elevadas. Ocorrendo queda de temperatura, a atividade da levedura apenas se reduz, enquanto que nas temperaturas superiores à faixa ótima, uma série de inconvenientes ocorre, como enfraquecimento das leveduras, ótimo de temperatura para outros microorganismos infecciosos e maior perda de álcool por evaporação.

Na maioria das destilarias, as quais iniciam a safra nos meses mais frios (maio – junho), a temperatura do mosto oscila em torno de 15°C. Nestas condições, o caldo necessita de um prévio aquecimento, que pode ser realizado por meio de vapor no tanque receptor de caldo. No decorrer do processo, a própria natureza da fermentação (exotérmica) se encarregará da manutenção e, mesmo, aumento da temperatura.

No decorrer da safra, quando a temperatura ambiente aumenta, não há necessidade do aquecimento do caldo, pelo contrário, o problema agora é a necessidade de seu resfriamento durante a fermentação. Assim, as dornas de fermentação deverão estar equipadas com canalizações em serpentina (internas) ou em coroa (externas), no interior das quais circulará a água de refrigeração.

#### 5.5.4 Nutrientes

A atividade da levedura depende de suas condições vitais que, por sua vez, estão estreitamente correlacionadas com sua nutrição. Determinados elementos, além de importantes ao desenvolvimento e manutenção das leveduras, favorecem certas reações enzimáticas que ocorrem durante a fermentação alcoólica.

A análise do caldo de cana revela que, embora rico em sais minerais, possui um desequilíbrio entre os mesmos, exigindo uma suplementação adequada de certos elementos, para que a fermentação se processe com maior vigor. Assim, além do carbono, oxigênio e hidrogênio, supridos pelos açúcares, outros elementos devem estar presentes, normalmente na forma de sais.

Um elemento importante para a qualidade do produto final é o nitrogênio amoniacal. Na ausência deste, a levedura irá metabolizar outros compostos, como os aminoácidos, cujo desdobramento resulta em substâncias indesejáveis, verificando um sensível aumento no teor de álcoois superiores.

O fósforo, na forma de fosfato ( $\text{PO}_4^{-3}$ ), é de extrema importância para que ocorra a formação de álcool durante a fermentação. Além de favorecer a ação das leveduras, o fósforo também aumenta o rendimento alcoólico da fermentação.

A adição de superfosfato triplo ao mosto, na base de 0,1 grama por litro, favorecerá a ação das leveduras e o rendimento alcoólico do processo. Para o caso do nitrogênio, a fonte mais indicada é o sulfato de amônio, também na dose de 0,1 grama por litro de mosto.

Tanto o caldo de cana como a própria levedura são fontes de vitaminas. Entretanto, a adição de certas vitaminas ao caldo propicia aceleração da ação enzimática de leveduras, influenciando na pureza e velocidade da fermentação. Recomenda-se a suplementação de vitaminas do complexo B, uma vez que sua deficiência poderá ocasionar dificuldades ao processo fermentativo. Assim, o emprega-se o farelo de arroz recém-preparado, na razão de 1,0 grama por litro de mosto, por ser um material rico em vitaminas B<sub>1</sub>, B<sub>6</sub> e ácido pantotênico.

### 5.5.5 Antissépticos

Na indústria de fermentações alcoólicas, os antissépticos são utilizados para contornar a inviabilidade técnica e econômica de trabalhar com mostos esterilizados. Estes, quando adicionados ao mosto ou ao levedo alcoólico, os transformam em meios desfavoráveis aos microorganismos indesejáveis, como as bactérias, sem, contudo, interferir nas atividades das leveduras. Alguns antissépticos possuem, aliada à ação antibacteriana, a propriedade de estimular a ação enzimática das leveduras, acelerando a fermentação e melhorando consideravelmente o seu rendimento.

Vários antissépticos podem ser empregados na indústria fermentativa, entretanto os mais utilizados para a produção de álcool e de aguardente de cana são o ácido sulfúrico e a penicilina.

Como já foi visto, o emprego do ácido sulfúrico pode ser feito na correção do pH do mosto. Entretanto, por questões econômicas, ele é utilizado apenas no tratamento do pé de cuba, com ótimos resultados, tanto nas destilarias que trabalham com o sistema de recuperação das leveduras por centrifugação (*Melle-Boinot*), como naquelas que empregam o sistema de decantação ou mesmo o de cortes.

O uso da penicilina está se generalizando entre os produtores de aguardente de cana, em virtude de sua elevada eficiência; além do mais, ela não exige uma prévia adaptação das leveduras, o que constitui uma vantagem. Sua aplicação requer certos cuidados, principalmente com relação ao pH e à temperatura do mosto em fermentação, pois se decompõe rapidamente em pH menor que 4,0, sendo esta a causa de seu insucesso em muitas destilarias.

### 5.6 Preparo do pé de cuba

O fermento ou pé de cuba é uma suspensão de células de leveduras em concentração suficiente para garantir a fermentação de um determinado volume de mosto. Esta concentração deve estar por volta de  $10^6$  a  $10^7$  células por mililitro no início da fermentação, e cerca de  $10^8$  células por mililitro no final.

O tipo de fermento adotado pela indústria de aguardentes é fator determinante no processo de preparo do mesmo, podendo ser utilizados diversos tipos de fermento, cada qual condicionado

às possibilidades técnicas da destilaria. Assim, podem ser encontrados os fermentos ditos caipira, prensado, misto e selecionado.

### **5.6.1 Fermento caipira**

São os fermentos preparados a partir de leveduras que naturalmente acompanham o mosto, oriundas da lavoura de cana, do ar e dos equipamentos de processo. Geralmente, são as denominadas *leveduras selvagens*, de pequena tolerância ao álcool.

Este tipo de fermento é comum nas pequenas destilarias de aguardente de cana, sem nenhuma evolução técnica e de instalações modestas. Ele possui uma receita variável de produtor para produtor. A maneira mais comum de se preparar o fermento caipira é colocar num saco de aniagem 2 a 3 quilos de farelo de arroz, 2 a 3 quilos de fubá, 0,5 a 1 quilo de bolacha e, caldo de limão ou de laranja em quantidade suficiente para formar uma pasta ao ser misturado com os demais ingredientes. Esta mistura deve ficar em repouso durante 12 a 24 horas, até que comece a formar trincas na superfície do preparado. Neste ponto, adiciona-se o caldo de cana diluído com água (1:1), até que fique completamente submerso. Após mais 24 horas, será possível observar que o caldo está em plena efervescência. Então, novas quantidades de caldo, também diluído, são adicionadas. Esta operação repete-se até quando tal preparado alcançar 20% do volume de mosto a ser fermentado na dorna.

### **5.6.2 Fermento misto**

O preparo e a utilização do fermento misto também é realizado por pequenos produtores de aguardente. Tal preparo assemelha-se ao preparo do fermento caipira, com a diferença de que o caldo diluído, inicialmente acrescentado à pasta de farelo e fubá, é completado com uma dose de fermento prensado de panificação, na razão de 10 a 20 gramas por litro. Assim, joga-se com a possibilidade da predominância daquele microorganismo que melhor se adaptou às condições do meio de fermentação.

### 5.6.3 Fermento prensado

O fermento prensado constitui-se em um aglomerado de células no estado sólido, sendo, sem dúvida, o processo mais simples e rápido na obtenção do pé de cuba, uma vez que é um produto pré-industrializado, facilitando sua multiplicação em qualquer tipo de destilaria.

A obtenção do levedo através do fermento prensado consta da adição direta na dorna, de uma quantidade de fermento equivalente a 20 gramas por litro de mosto. Entretanto, como esta maneira de proceder requer uma quantidade muito grande de fermento, por medida de economia, procede-se da seguinte maneira: efetua-se uma suspensão de 20 quilos de fermento em água morna e inocula-se em 1.000 litros de mosto com 10 °Brix, a mais ou menos 30 °C. No momento em que essa concentração cair à metade, junta-se em filete contínuo mais 1.000 litros de mosto a 12 °Brix, e assim por diante. A cada alimentação subsequente, procura-se dobrar o volume de mosto já adicionado, até que o volume útil da dorna seja alcançado.

Quando se inicia o processo de multiplicação de fermento, principalmente nas primeiras rodadas, deve-se trabalhar com mostos diluídos, cuja concentração não ultrapasse a 12 °Brix, para facilitar a adaptação do fermento e a sua multiplicação (metabolismo respiratório), evitando-se assim sua exaustão.

### 5.6.4 Fermento selecionado

Ele é obtido a partir de leveduras selvagens que foram isoladas por se destacarem por suas características excepcionais de trabalho, entre as quais a tolerância ao etanol e a elevada produtividade e eficiência de fermentação. Além disso, elas são gradualmente adaptadas a outras condições especiais, diferentes das naturais, tais como altas concentrações de açúcar e temperaturas elevadas. Estas características conduzem a fermentações puras (sem contaminações), regulares (com tempos de duração similares), rápidas (elevada produtividade) e de maior rendimento (alta conversão de açúcar para álcool).

A utilização deste tipo de fermento está limitada às condições técnicas desenvolvidas na destilaria, sendo recomendado tanto para as de pequena como para as de grande capacidade. O

fermento selecionado pode ser preparado através de dois sistemas clássicos: com aparelho de cultura pura e sem aparelho de cultura pura.

O preparo do fermento através do aparelho de cultura pura é um tanto quanto complexo, necessitando de mostos esterilizados. É um processo trabalhoso e caro, embora produza fermentações mais puras, porém, de menor rendimento, em virtude do consumo de grande quantidade de açúcar na multiplicação das células.

O preparo de fermento selecionado sem aparelho de cultura pura é, praticamente, o único utilizado nas destilarias que trabalham com cana-de-açúcar e melão. Ele consta de duas fases distintas, a de laboratório e a industrial.

A fase de laboratório compreende o preparo do meio esterilizado, inoculação da levedura de forma asséptica e incubação da cultura em condições de laboratório. Já a fase industrial é desenvolvida em condições normais de trabalho, isto é, dentro da rotina da destilaria (Figura 7).

Alguns cuidados devem ser tomados durante o processo de multiplicação do fermento. As transferências devem ser realizadas com as células ainda em atividade, isto é, não se deve esperar a fermentação morrer, caso contrário, haverá uma demora no processo de multiplicação. A suplementação com nutrientes (sulfato de amônio, principalmente) é imprescindível para que se tenha um crescimento rápido da população. O aquecimento do mosto (30 °C) é importante para que a velocidade do processo se mantenha em níveis aceitáveis. Por fim, deve-se trabalhar com mostos diluídos para favorecer a respiração e conseqüentemente o crescimento celular.

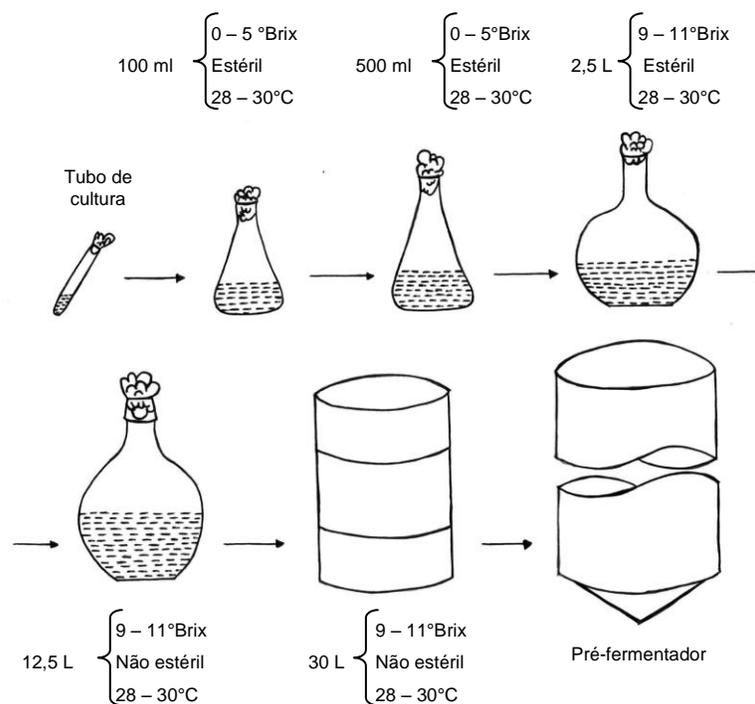


Figura 7. Preparo do fermento selecionado. Fonte: Oliveira (1978).

## 5.7 Fermentação

### 5.7.1 Sala e dornas de fermentação

Sala de fermentação é o local que abriga os recipientes de fermentação, de preparo do mosto e do fermento, construídas segundo registros técnicos recomendados pela literatura e pela prática.

A área de construção deve ser ampla para possibilitar um adequado espaçamento entre as dornas e possibilitar a circulação de pessoas. O piso deve ser cimentado liso, com declive e impermeável para facilitar a limpeza e sanitização. Se houver, as paredes laterais deverão ser revestidas com um acabamento liso, impermeável e resistente, de modo a suportar as lavagens periódicas, além disso, devem apresentar respiros em sua parte inferior para drenar o CO<sub>2</sub> formado na fermentação.

A sala de fermentação deve ser coberta, mas não forrada. O seu pé direito deve ser alto, de maneira que a distância entre as superfícies das dornas e a cobertura seja de pelo menos 5 metros; a fim de diminuir as perdas de álcool por evaporação.

Dornas, cubas ou fermentadores são recipientes onde os mostos são submetidos ao processo fermentativo, sendo transformados em vinho. Suas dimensões, formas, tipos e material de construção são os mais variados.

As dornas podem ser abertas ou fechadas. Na indústria de aguardente, a preferência é para as abertas, visto serem de menor custo, de fácil limpeza e por permitirem um controle visual da fermentação, contudo, favorecem as contaminações e as perdas de álcool por evaporação.

As dornas podem ser construídas de madeira, alvenaria, ferro, plástico, fibra de vidro, aço inoxidável, entre outros materiais. O ferro deve ser o preferido em função de sua baixa porosidade e resistência física, favorecendo a limpeza do equipamento, bem como seu tempo de vida útil. Elas são assentadas em base de alvenaria e distribuídas em duas linhas paralelas ao longo da sala de fermentação. Possuem forma cilíndrica e fundo cônico, facilitando o escoamento do vinho e do fermento. A relação entre altura e diâmetro é aproximadamente 2:1.

A necessidade de refrigerar as dornas é devido ao próprio processo fermentativo que, sendo exotérmico, libera calor e eleva a temperatura do mosto em fermentação. A refrigeração pode ser realizada através de um sistema externo ou interno, ou então, pela associação de ambos.

A refrigeração externa é obtida através da instalação de uma canalização perfurada, em forma de coroa, colocada logo abaixo da borda da dorna. Essa canalização tem um diâmetro variável com capacidade da dorna e possui furos voltados para a parede desta. A água, saindo sob pressão pelos furos, escorre pela parede da dorna refrigerando-a, sendo recolhida em uma calha colocada em sua parte inferior.

Em fábricas de grande capacidade e bom nível tecnológico, a refrigeração externa pode ser feita através de um trocador de calor de placas, localizado do lado externo das dornas. Neste caso, o mosto quente em fermentação é bombeado para o trocador de calor, resfriado mediante contato indireto com água fria, seguindo de volta para a dorna, onde entra tangencialmente à sua parede, para aumentar o nível de agitação do mosto.

A refrigeração interna é feita através de uma serpentina, normalmente de cobre, cujo diâmetro varia com o volume da dorna. A serpentina, que fica imersa no mosto em fermentação, retira calor do sistema através de água fria que circula em seu interior.

### 5.7.2 Inoculação

O mosto convenientemente preparado deverá ser acrescentado ao levedo alcoólico, para que se inicie o processo de fermentação.

A adição de mosto ao pé de cuba, até completar o volume útil da dorna, pode ser feita de três maneiras diferentes:

- adição de uma só vez;
- adições parceladas de pequenos volumes a determinados intervalos de tempo, até totalizar o volume de mosto;
- adição do mosto em filete contínuo.

O primeiro tipo de alimentação deve ser evitado, uma vez que o fermento é submetido ao processo de plasmólise, devido à elevação brusca da concentração de sólidos solúveis do meio. Na prática, este fenômeno é conhecido como *abafamento do fermento*.

Pelo sistema de adições parceladas, atenua-se o fenômeno da plasmólise, desde que o fracionamento do volume de mosto seja proporcional ao volume de fermento existente.

No caso da adição do mosto em filete contínuo, não haverá o fenômeno de plasmólise. No início da adição, o filete de mosto deve ser o mínimo possível; à medida que se intensificar a atividade da levedura, ele poderá ser aumentado gradativamente. A maneira prática para o controle desse aumento consiste na verificação do °Brix do mosto em fermentação, que deverá ser igual à metade do °Brix do mosto de alimentação.

### 5.7.3 Processos de fermentação

Diversos são os processos empregados na condução da fermentação alcoólica, que dependem da natureza do mosto e dos recursos técnicos da destilaria. Esses podem ser realizados através de processos descontínuos, semicontínuos ou contínuos.

Os processos de fermentação mais empregados na indústria de aguardente de cana são descontínuos (cortes, Melle-Boinot e Melle-Boinot-Almeida) e semicontínuos (decantação).

### **Processo de cortes**

É um processo descontínuo de fermentação empregado em destilarias, especialmente no início da safra, visando a multiplicação do fermento; entretanto, algumas utilizam este sistema como rotina, ou seja, realizam cortes em dornas, durante todo o transcorrer da safra.

A maneira mais simples de conduzir a fermentação por este processo é o chamado *corte a duas dornas*, no qual a dorna recebe o pé de cuba preparado como já descrito, e correspondendo a 20% de seu volume útil. A seguir, haverá alimentação em filete contínuo até o enchimento da dorna, quando então deverá ser feita a leitura de seu °Brix. No momento em que este cair à metade, com a fermentação ainda em pleno vigor, divide-se o volume da dorna para uma segunda, em seguida, procede-se a alimentação de ambas com mosto em filete contínuo até que sejam completados seus volumes. O mosto contido na dorna 1 será deixado a fermentar até o final, quando então será integralmente enviado à destilação. Nesse ínterim, o mosto em fermentação na dorna 2, ao atingir um °Brix igual à metade daquele que apresentava por ocasião do seu enchimento, será cortado para a dorna 3 e assim sucessivamente. Cada dorna da bateria recebe um corte da precedente e fornece um corte à seguinte: isso, na primeira rodada, pois, a partir desta, os cortes serão realizados das que estiverem em plena fermentação, para aquelas que forem descarregadas, procurando obedecer a uma determinada combinação entre elas. Caso ocorra alguma infecção ou se verifica atraso na fermentação em virtude de outro motivo (enfraquecimento do fermento, por exemplo, devido aos sucessivos cortes), inicia-se o processo novamente, partindo de um novo pé de cuba.

Outra maneira de se conduzir este processo é o chamado *corte a n dornas* que, em linhas gerais, obedece ao seguinte princípio:  $n-1$  dornas em fermentação, sofrerão cortes para a dorna seguinte, até a inoculação da enésima dorna da bateria, que contém  $n$  dornas.

### **Processo de decantação**

Este processo semicontínuo está baseado na reutilização do fermento, separado de uma fermentação anterior, por decantação. É um processo aplicável quando se trabalha com mostos de caldo de cana, não dando resultados satisfatórios quando usado para melaço ou outras matérias-

primas de valor econômico, provavelmente devido à diferença de densidade entre o vinho e o levedo alcoólico. É o sistema mais empregado nas destilarias de aguardente.

Parte-se de um levedo alcoólico tecnicamente preparado, o qual será enviado à dorna principal de fermentação e alimentado com mosto em filete contínuo. Completa-se o volume útil da dorna e deixa-se que a fermentação se processe normalmente. Uma vez terminada a fermentação, aguarda-se um tempo suficiente (3 a 6 horas) para a decantação do fermento no fundo da dorna. Após este período de repouso, o vinho é retirado por uma canalização situada a uma certa altura do fundo da dorna e enviado à destilaria, permanecendo nesta um volume mínimo de 20% do seu volume útil. O fermento que fica sedimentado no fundo da dorna deve ser diluído com água na proporção de 1:1 para a redução de seu teor alcoólico e tratado com ácido sulfúrico visando a redução de seu pH (2,5 – 3,0). Ele permanece sob o tratamento ácido por aproximadamente uma hora, tempo suficiente para destruição de parte da população bacteriana que contamina o mosto.

### **Processo de Melle-Boinot**

É um processo descontínuo bastante utilizado para a produção de álcool, sendo empregado em menor escala para a produção de aguardente.

Está baseado no reaproveitamento das células de levedura de uma fermentação anterior (Figura 8). A separação das leveduras do mosto fermentado é feita em centrífugas através da diferença de densidades. Assim, durante a centrifugação, a quase totalidade das bactérias presente no mosto é arrastada com o vinho, conferindo, desse modo, uma elevada pureza ao leite de levedura resultante. Ao deixar a centrífuga, o fermento sofre um tratamento seletivo com ácido sulfúrico em recipiente adequado, denominado *cuba de tratamento*. Nesta, o leite de levedura é convenientemente diluído com água, na proporção de 1:1 até 1:1,5. A seguir, recebe ácido sulfúrico (pH 2,5 - 3,0) e permanece em repouso por cerca de 4 horas. As bactérias remanescentes não conseguem sobreviver em pH tão baixo, ocorrendo o mesmo com as células velhas de leveduras, enquanto que as células jovens resistem muito bem à esta faixa de pH. Após o tratamento ácido, o fermento retorna ao processo de fermentação na forma de um pé de cuba.

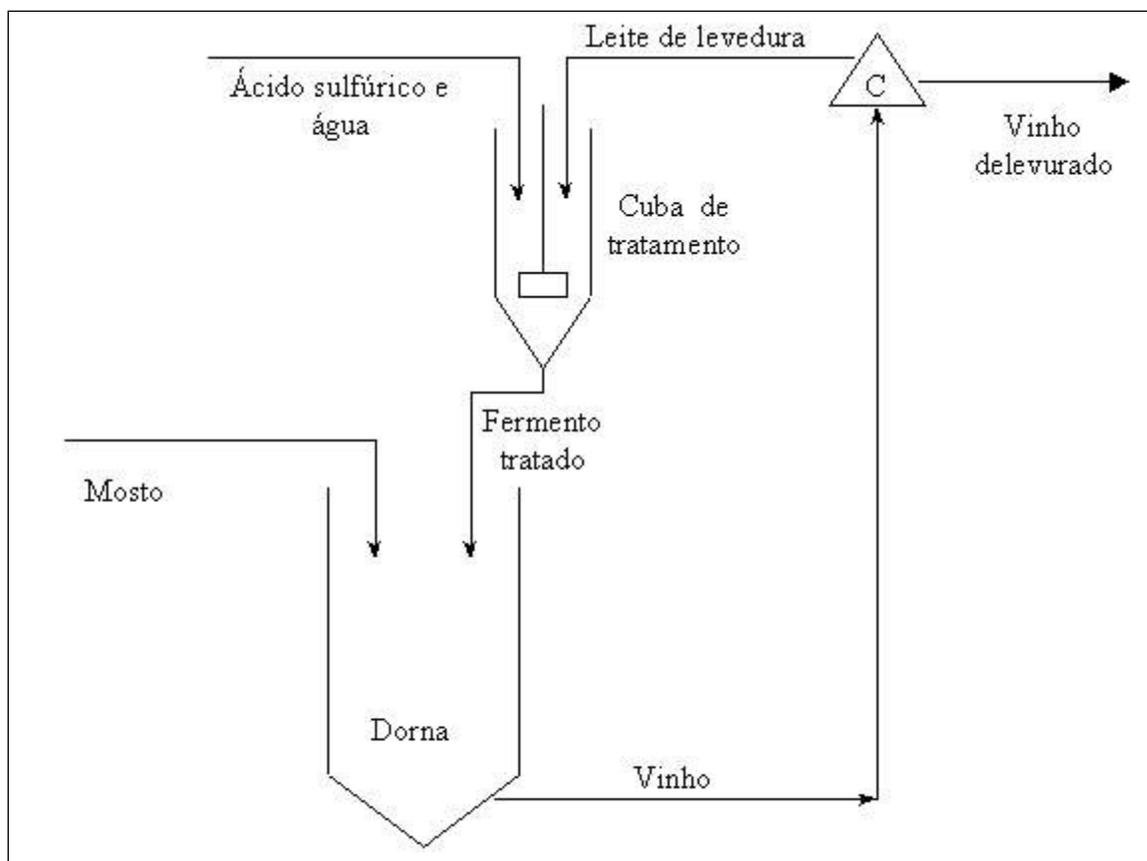


Figura 8. Processo de Melle-Boinot. Fonte: Venturini Filho e Mendes (2003).

### Processo Melle-Boinot-Almeida

Este processo consiste em uma modificação do anterior, sendo, entretanto, recomendado apenas para fermentações de caldo de cana. Suas vantagens têm sido aproveitadas, aliadas àquelas do processo de decantação.

Em linhas gerais, o processo consiste em aguardar a decantação da maior parte das células de leveduras no fundo da dorna, após o término da fermentação, enviando o vinho sobrenadante à centrífuga. O vinho delevurado, resultante da centrifugação, é enviado ao aparelho de destilação, sendo que o leite de levedura é encaminhado para uma cuba, onde será alimentado com mosto corrigido quanto à acidez, colocando as leveduras em atividade.

O pé ou lodo residual contendo as leveduras decantadas, em volume da ordem de 10% da dorna de fermentação, recebe uma suplementação em nutrientes e, em seguida, o conteúdo da

cuba com as leveduras em plena atividade. O processo, para ter uma marcha regular, não deve dispensar o uso de antissépticos, como é o caso do ácido sulfúrico.

As principais vantagens que este processo apresenta sobre o processo original de Melle-Boinot são as seguintes:

- Maior produtividade, pois dispensa a espera de 4 horas do tratamento ácido;
- economia de mão-de-obra;
- economia de ácido sulfúrico, desde que não ocorra o tratamento do leite de levedura nas cubas;
- menor desgaste das instalações;
- a aguardente resultante apresentará um melhor *bouquet*.

#### **5.7.4 Controle da fermentação alcoólica**

O controle da fermentação alcoólica deve ser feito por meio de análises químicas e físicas, complementadas por observações microscópicas do mosto em fermentação. Conforme a maior ou menor precisão exigida, o número de dados necessários para o controle das fermentações pode variar. Entretanto, observações de caráter prático de diversos fatores inerentes à fermentação poderão auxiliar em muito o controle do processo fermentativo, porém, deverão funcionar apenas como complemento daquelas análises.

#### **Atenuação do Brix**

A maneira mais simples de se analisar o andamento de uma fermentação é pela comprovação da queda do °Brix ou da densidade do mosto em fermentação. Esta variação do °Brix, na unidade de tempo, é chamada de *atenuação*.

A verificação horária ou em intervalos regulares do °Brix deve mostrar uma atenuação contínua, a qual será função da natureza da matéria-prima. Nas fermentações normais, regulares e puras, a densidade ou o °Brix cai continuamente. A paralização prematura ou queda lenta denuncia alguma anomalia, que poderá ser causada por infecção, pela queda brusca de temperatura (excesso de refrigeração), levedura inadequada, etc.

O °Brix final dependerá da natureza da matéria-prima empregada, como também das características do mosto preparado. No caso de caldo de cana ou xarope, o °Brix final deverá ser negativo, isto é, o areômetro indicará um valor menor do que zero, devido à transformação do açúcar em álcool que diminui a densidade do líquido (densidade menor que a unidade). Quando o melão é a matéria-prima, a fermentação termina com °Brix positivo em função da sua riqueza em sais minerais (densidade maior que a unidade).

### **Acidez e pH**

Durante a fermentação, a acidez total aumenta, enquanto que o pH decresce, motivado pela produção de ácidos orgânicos pelas leveduras. As variações anormais da acidez total e do pH são devidas à presença de contaminantes.

Considera-se como boa fermentação, quando o aumento da acidez é da ordem de 30 a 50% da acidez inicial. Quando a acidez final acusar um valor maior do que o dobro da inicial, é uma prova irrefutável de infecção, podendo ser constatado pelo pH que decresce de maneira anormal.

### **Açúcares residuais**

Desde que o levedo alcoólico e o mosto tenham sido devidamente preparados e a fermentação tenha transcorrido normalmente, o vinho não deverá apresentar açúcares residuais. Entretanto, quando dosados os açúcares redutores no vinho, é normal encontrar sempre um certo teor desses açúcares devido à presença de substâncias redutoras infermentescíveis. As substâncias redutoras infermentescíveis variam de acordo com a natureza da matéria-prima. O melão apresenta valores oscilando entre 1,0 e 5,0%, enquanto que o caldo de cana apresenta um teor bem menor que o limite inferior do melão.

Para que se possa julgar o comportamento da fermentação através dos açúcares residuais é necessário que se conheça o teor de substâncias redutoras infermentescíveis na matéria-prima que se está utilizando para, então, poder-se estimar o valor a ser encontrado no vinho (de acordo com a diluição no preparo do mosto). Quando valores maiores que os esperados são encontrados,

pode-se atribuir esse fato ao preparo de um mosto com muito açúcar, à presença de infecção, levedura imprópria, contaminantes químicos do mosto (compostos fenólicos), entre outros.

### **Observação microscópica**

Sabe-se que as células de levedura são normalmente ovais ou arredondas, imóveis, e de dimensões bem maiores do que as bactérias contaminantes. Estas, por sua vez, apresentam-se como bastonetes, isolados ou em cadeia, móveis ou não, ou ainda, *coccus* isolados ou em cadeia, como as bactérias acéticas, lácticas e butíricas. Quanto às produtoras de dextrênio, são arredondas, ocorrem aos pares ou em cadeia, formando aglomerados gelatinosos, conhecidos por *canjica*. Estas são visíveis e aparecem flutuando na superfície do vinho.

Ao se fazer uma observação microscópica, torna-se bastante fácil distinguir as leveduras das bactérias, através de suas formas bem distintas. Entretanto, mesmo em uma fermentação normal e sadia, podem ser observadas ao microscópio, células bacterianas ao lado das leveduras, porém em proporções bem menores. Tal fato ocorre devido a fermentação alcoólica não ser um processo asséptico.

### **Temperatura de fermentação**

O mosto é colocado na dorna com uma temperatura que corresponde à ambiente. No início da safra, que coincide com o inverno, sua temperatura é baixa, requerendo o aquecimento para atingir a temperatura de 28 – 30 °C, favorável à atividade da levedura alcoólica. No decorrer da safra, com o aumento da temperatura ambiente, esta medida se faz desnecessária.

Como a fermentação alcoólica é um processo exotérmico, a temperatura do mosto pode ultrapassar os limites admitidos para uma fermentação normal. A elevação da temperatura acima de 32 °C traz muitas desvantagens, pois diminui a atividade da levedura, favorecendo a multiplicação de microorganismos indesejáveis, ocasiona elevadas perdas de álcool por evaporação, diminuindo com isto o rendimento industrial, além de piorar a qualidade do produto final. Estes inconvenientes são evitados pela utilização adequada da refrigeração das dornas.

O comportamento anormal da temperatura durante a fermentação é indício seguro de alguma irregularidade. Assim, uma elevação lenta pode ser consequência de um pé de cuba deficiente sob vários aspectos, enquanto que uma rápida pode ser atribuída a mostos muito ricos em açúcares, muito aquecidos ou ainda, à falta de refrigeração da dorna.

### **Tempo de fermentação**

A duração da fermentação depende de vários fatores, tais como, processo de fermentação, características do mosto e do fermento, temperatura da fermentação, etc. Desde que se tenha controle de todas estas variáveis, é possível fixar o tempo de fermentação, guardando uma tolerância de mais de menos 2 horas.

Assim, a dilatação exagerada, bem como a redução demasiado tempo de fermentação, constituem irregularidades do processo fermentativo. Uma dilatação exagerada do tempo pode indicar um mosto excessivamente rico em açúcares, uma deficiência quantitativa e qualitativa do fermento, baixa temperatura do mosto, infecção generalizada, falta de nutrientes, etc. A redução demasiada, por sua vez, pode significar uma fermentação incompleta, um mosto muito pobre em açúcares, temperatura muito elevada do mosto, excesso de fermento, etc.

### **Cheiro**

A fermentação normal apresenta um cheiro agradável, característico para cada matéria-prima. Odores desagradáveis indicam possíveis infecções. Assim, o cheiro de vinagre é indício seguro da presença de fermentação acética, caracterizada também pela presença da mosca de vinagre, a drosófila. A intensidade com que se apresenta o cheiro depende da natureza, do grau de infecção e da sua causa. À percepção desses cheiros desagradáveis, devem ser tomadas medidas drásticas para sanar o problema.

### **Aspecto da espuma**

O aspecto da espuma do mosto em fermentação pode ser um bom indício de normalidade ou anormalidade da fermentação. As espumas são características das matérias-primas, da raça da

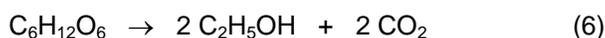
levedura, do preparo do mosto, do processo de condução da fermentação, entre outros. Para que o observador possa notar qualquer anormalidade através da espuma formada, é necessário que esteja familiarizado com o aspecto típico de uma fermentação normal, em função dos fatores citados anteriormente. Apenas para efeito de informação, a espuma de uma fermentação de melaço tem aspecto diferente daquela de caldo de cana. As fermentações anormais produzem bolhas persistentes, de movimentação irregular.

### 5.7.5 Rendimento e eficiência da fermentação alcoólica

O rendimento da fermentação alcoólica expressa a quantidade de álcool produzido pelas leveduras, durante o processo fermentativo, a partir de uma determinada quantidade de açúcar. Para proceder este cálculo, é necessário conhecer os teores dos açúcares redutores totais (glicose) contidos no mosto e do teor alcoólico do vinho. Já a eficiência da fermentação deve ser o quociente entre o rendimento prático e o rendimento teórico, portanto um valor adimensional.

#### Rendimento teórico (Gay-Lussac)

Através da equação de Gay-Lussac, pode-se calcular o rendimento teórico da fermentação dos açúcares redutores totais (ART) do mosto, expressos em glicose:



180 gramas de glicose → 92 gramas de etanol

100 gramas de glicose → X gramas de etanol

X = 51,11 gramas ou 64,79 mililitros de etanol a 20 °C

Densidade do álcool etílico a 20 °C = 0,789 g / cm<sup>3</sup>

Assim, o rendimento teórico da glicose é:

- RT = 51,11 g de etanol / 100 g de glicose;
- RT = 64,79 mL de etanol / 100 g de glicose.

### Rendimento prático

O rendimento prático é calculado a partir do teor alcoólico do vinho, através da fórmula que define a concentração alcoólica expressa em percentagem por volume (% v/v):

$$TA = \frac{V_{etoh}}{V_{vinho}} \quad (7)$$

TA → teor alcoólico do vinho (% v/v)

Vetoh → volume de etanol no vinho;

Vvinho → volume do vinho;

### Cálculo da eficiência da fermentação

A eficiência da fermentação alcoólica pode ser expressa pelas Equações 8 e 9:

$$E = \frac{R_{prático}}{R_{teórico}} \quad (8)$$

$$R = \frac{V_{prático}}{V_{teórico}} \quad (9)$$

E = eficiência da fermentação alcoólica (%);

Rprático = rendimento prático da fermentação alcoólica;

Rteórico = rendimento teórico da fermentação alcoólica;

Vprático = volume de etanol prático formado na fermentação alcoólica;

Vteórico = volume de etanol teórico que deveria ter sido formado na fermentação alcoólica.

Por exemplo, qual seria a eficiência quando se fermenta 200 litros de mosto contendo 15% m/v de ART e se obtém volume equivalente de vinho a 8 % v/v?

#### **Cálculo do etanol prático:**

$$V_{etho} = \frac{TA * V_{vinho}}{100} = \frac{8 * 200}{100} = 16 L$$

#### **Cálculo do etanol teórico:**

100 kg de glicose → 64,79 litros de etanol

200\*0,15 kg de glicose → 19,44 litros de etanol

#### **Cálculo da eficiência da fermentação:**

$$E = \frac{V_{prático}}{V_{teórico}} * 100 = \frac{16}{19,44} = 82,30\%$$

### **5.8 Destilação**

O vinho, produto resultante da fermentação do mosto, contém um grande número de componentes de natureza distinta, podendo ser gasosos, líquidos e sólidos. Dos componentes de natureza gasosa, o gás carbônico é o principal representante, uma vez que o mesmo se forma em grande quantidade no decorrer do processo fermentativo. Entretanto, como este gás é fracamente solúvel no vinho, encontra-se em proporção mínima, pelo fato de desprender-se na atmosfera.

O principal representante das substâncias líquidas é a água com proporções variando entre 89 a 94% em volume. Em segundo lugar está o álcool etílico que aparece numa proporção de 5 a 10% em volume, de acordo com a natureza e a composição do mosto que lhe deu origem. Além desses dois componentes, outras substâncias líquidas secundárias estão presentes em menor proporção (1 a 3%), como consequência direta da própria fermentação, tais como os ácidos

succínico e acético, glicerina, furfural, álcoois homólogos superiores (amílico, isoamílico, propílico, isopropílico, butílico, isobutílico), aldeído acético, etc. Muitas dessas substâncias, mesmo em proporções mínimas, conferem ou alteram as características de sabor e aroma, portanto, extremamente importantes do ponto de vista de qualidade sensorial da aguardente.

As substâncias sólidas encontram-se em suspensão e em solução no vinho. Os sólidos em suspensão são constituídos pelo bagacilho, células de leveduras e bactérias, além de outras substâncias não solúveis que acompanham o mosto. Já os sólidos em solução são compostos pelos açúcares não fermentados, matérias albuminoides, sais minerais, etc.

Sob o ponto de vista da volatilidade, as substâncias constituintes de um vinho podem ser divididas em substâncias voláteis e substâncias fixas. As voláteis são representadas pela água, álcool etílico, aldeídos, ácido acético, álcoois homólogos superiores, gás carbônico, etc., enquanto que as fixas são os sólidos solúveis do mosto, as células de levedura e de bactérias.

Sendo as substâncias voláteis de propriedades físicas e químicas diferentes, é possível sua separação e identificação através da diferença do ponto de ebulição. Portanto, pode-se definir a destilação como um processo físico no qual os componentes de uma mistura de duas ou mais substâncias miscíveis são separados mediante evaporação de uma parte da mistura e sucessiva condensação do vapor obtido.

Quando uma mistura é submetida ao processo de destilação, pelo seu aquecimento, dá-se a emissão de vapores, cuja composição difere daquela da mistura. Pela evaporação de uma parte da mistura, o vapor resultante conterá os líquidos em proporções diversas, mas, em maior proporção o líquido mais volátil, isto é, aquele cuja tensão de vapor é superior àquela dos outros componentes.

A concentração da mistura durante o processo de destilação não se mantém constante, como conseqüência do arraste do composto mais volátil através dos vapores e, como cada concentração corresponde a uma temperatura de ebulição, esta aumenta durante a evaporação.

Pelo continuar do processo, a quantidade do mais volátil diminui gradativamente no líquido sob destilação, até desaparecer por completo. Nessas condições, a mistura encontra-se esgotada, passando a atuar a temperatura do componente menos volátil.

Finalmente, durante a destilação de uma mistura de líquidos miscíveis, com o aumento crescente da temperatura, pode-se dividi-la em diferentes frações, mas, como o intervalo de temperatura em que se obtêm determinadas frações é muito amplo não se consegue acumular um só componente, mas sim, uma mistura de dois ou mais componentes, na qual prevalece o componente de tensão de vapor mais alto, ou seja, o mais volátil.

Quando o vinho é submetido ao processo de destilação, resultam duas frações denominadas de flegma e vinhaça. A primeira, que é o produto principal da destilação do vinho, sendo constituída por uma mistura hidroalcoólica impura, cuja graduação depende do tipo de aparelho utilizado na destilação. A vinhaça, que recebe diversas denominações regionais, tais como: vinhoto, garapão, restilo, etc., é o resíduo da destilação. Sua riqueza alcoólica deve ser nula, porém, nela se acumulam todas as substâncias fixas do vinho, bem como uma parte das voláteis.

### **5.8.1 Processos de destilação**

Na prática, a destilação do vinho para obtenção da aguardente pode ser efetuada de duas maneiras: destilação simples ou descontínua e destilação sistemática ou contínua. O desempenho desses processos depende principalmente do desenho e da construção dos destiladores (com ou sem eliminação de produtos de cabeça e cauda) e das condições operacionais (vazões de vinho e de vapor, grau alcoólico do destilado e pressão de trabalho).

#### **Destilação descontínua**

É utilizada nas destilarias de aguardente de pequena capacidade, resultando um flegma impuro, cuja riqueza alcoólica varia de 45 a 55 % v/v.

Os aparelhos empregados nestas indústrias são o alambique simples e o alambique de três corpos.

### ✓ **Alambique simples**

Esse aparelho (Figura 9) pode ser fixo ou móvel, metálico (chapa de cobre ou aço inoxidável), de barro ou de madeira, tendo como fonte de aquecimento o fogo direto ou o vapor.

Consta de uma caldeira de forma variável denominada cucúbita (1) onde se introduz o vinho a ser destilado. Esta caldeira, quando fixa, como acontece na maioria das instalações, é assentada em uma base de alvenaria. Em sua parte superior, há uma abertura ligada ao capitel, domo ou elmo (2), também de forma variável. Em continuação a este, tem-se o tubo de condensação ou alonga (3), o qual se prolonga em uma serpentina imersa em um tanque de água fria e corrente, denominado refrigerante (4).

**Funcionamento:** o trabalho com um alambique simples é extremamente fácil. Exige do operador apenas o cuidado de destilar o vinho o mais lentamente possível. Em resumo, a operação do aparelho é realizada do seguinte modo:

- Com a válvula igualadora das pressões aberta, admite-se uma carga de vinho no aparelho, até que o volume alcance cerca de dois terços do volume da caldeira, quando então é fechada a válvula e a abertura de introdução de vinho.
- Em seguida, deixa-se correr água fria pelo condensador.
- Abre-se lentamente o registro de vapor, a fim de evitar o aquecimento brusco do vinho, o qual poderá fazer com que o aparelho vomite.
- Pelo aumento gradativo da temperatura, há produção de vapores que, alcançando o capitel, tem uma parcela condensada, retornando a cucúbita. A parcela de vapores não condensada alcança a alonga e, encontrando uma superfície mais fria condensa-se parcialmente, atingindo neste estado a superfície do condensador onde se completa a sua condensação.

No início, o destilado que flui do alambique possui uma graduação alcoólica elevada, porém, à medida que o líquido gerador vai se esgotando em álcool, o destilado torna-se mais pobre.

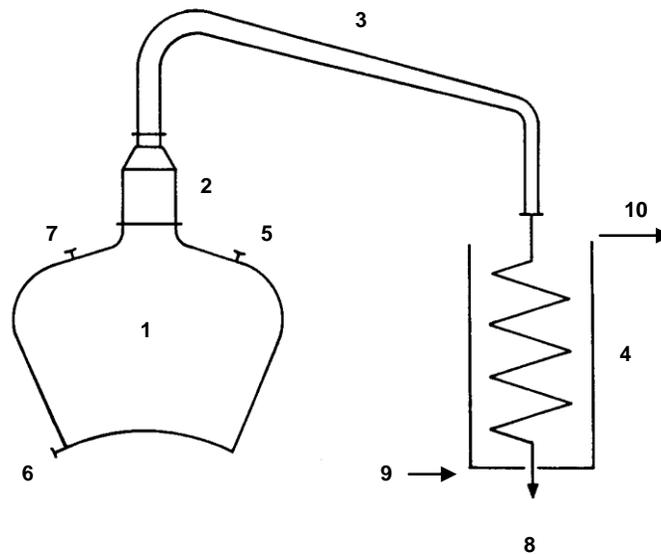
O primeiro destilado é uma mistura de água, etanol, aldeído acético, acetato de etila, alcoóis superiores e metanol sendo chamado de *destilado de cabeça*. Depois de sua separação, os vapores do vinho são mais ricos em etanol, com menor quantidade de impurezas voláteis,

sendo denominado *destilado de coração*. Costuma-se controlar a graduação do flegma em torno de 50 % v/v na caixa de recepção, quando então se efetua o corte. Esta fração deve ser usada para constituir a aguardente.

A fração de destilado recolhida após o corte, de riqueza alcoólica mais baixa, é denominada de *água-fraca* ou *destilado de cauda*. Esta fração é rica em ácido acético, furfural e contém também alcoóis superiores. Ela, posteriormente, poderá ser adicionada ao vinho a ser destilado, aumentando o seu rendimento, ou será armazenada, à parte, para posterior destilação. Todavia, na prática, tal operação não é interessante do ponto de vista econômico, em virtude do maior gasto de combustível (vapor), água de refrigeração, tempo e mão-de-obra.

Uma variação do alambique simples clássico é a adaptação, após a alonga, de um aquecedor de vinho. Esta medida propicia uma economia de vapor, água e tempo de destilação, em virtude do vinho colocado no aquecedor trocar calor com os vapores alcoólicos provenientes da caldeira de destilação, entrando na caldeira previamente aquecido.

**Considerações sobre o alambique simples:** este tipo de aparelho deve ser empregado somente nas destilarias de pequena capacidade (menos que 2.400 litros por dia). Não permite um bom esgotamento do vinho e, em condições normais de operação, podem fornecer uma aguardente rica de componentes não alcoóis, devido a um excesso de retrogradação, determinado pelo desenho e dimensões do capitel, ou então, pela redestilação da fração de água fraca (cauda). Entretanto, pode-se obter uma aguardente de boa qualidade com a separação das frações de cabeça, coração e cauda, utilizando-se apenas o coração para elaborar a bebida.



- |                                  |                                    |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1. Cucurbita ou caldeira         | 6. Descarga de vinhaça             |
| 2. Capitel, domo ou elmo         | 7. Válvula igualadora das pressões |
| 3. Alonga ou tubo de condensação | 8. Saída de destilado              |
| 4. Condensador                   | 9. Entrada de água                 |
| 5. Entrada de vinho              | 10. Saída de água                  |

Figura 9. Esquema de um alambique simples. Fonte: Oliveira (1978).

#### ✓ Alambique de três corpos

Este tipo de alambique (Figura 10) representa um estágio de transição entre os alambiques descontínuos e os aparelhos contínuos, pois apesar de trabalhar por cargas intermitentes, seu funcionamento é praticamente contínuo.

A caldeira instalada no plano inferior recebe a denominação de *caldeira de esgotamento* (1), sendo aquecida por uma serpentina, contida em seu interior, ligada a uma tubulação de vapor. Em sua parte superior, situa-se um capitel (2) do qual parte uma alonga (3) que termina em uma serpentina perfurada, no interior da caldeira seguinte. Esta, colocada em plano superior, recebe a denominação de *caldeira de destilação* (4), que também possui um capitel e uma alonga. Deste segundo corpo, a canalização em continuação a alonga é constituída por uma serpentina não

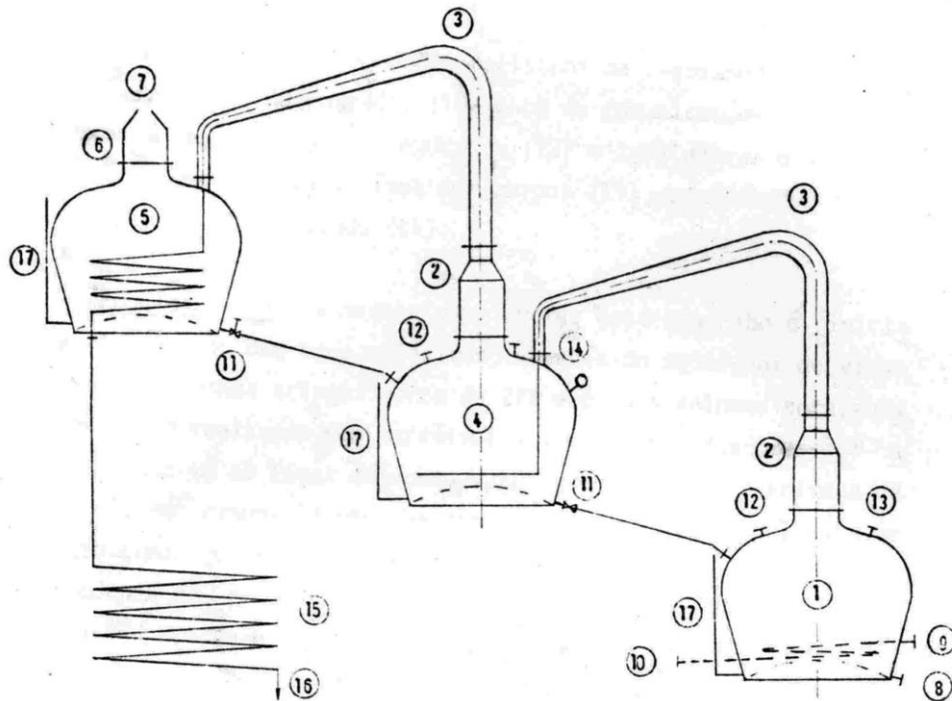
perfurada, situada no interior da caldeira seguinte. Esta terceira, que se encontra em plano superior em relação à segunda, recebe a denominação de *aquecedor de vinho* (5), possuindo em sua parte superior um capitel de parede dupla que funciona como condensador (6) que impede perda dos vapores alcoólicos oriundos do aquecimento do vinho. A alimentação é feita pela parte central desse capitel de refrigeração (7).

**Funcionamento:** para este tipo de aparelho, a rapidez durante o processo de destilação será inversamente proporcional à quantidade e qualidade de aguardente. A marcha para operar este aparelho, em síntese, apresenta-se a seguir:

- Inicia-se com a alimentação das três caldeiras, através do aquecedor de vinho, até a carga das mesmas atingir cerca de 2/3 dos seus volumes totais.
- A água deve circular no condensador.
- Em seguida, é iniciado o aquecimento da caldeira mais inferior através da entrada lenta de vapor na serpentina. O vinho, quando recebe calor vagarosamente, começa a emitir vapores na caldeira de esgotamento sendo que parte deles, encontrando uma região mais fria (capitel), condensa-se e retorna à caldeira. As frações de vapores constituídas pelos compostos mais voláteis conseguem alcançar a alonga e a serpentina perfurada, indo borbulhar no vinho contido na segunda caldeira, ou seja, a caldeira de destilação. Desta maneira, o vinho da primeira vai se esgotando, enquanto que o da segunda, pelo borbulhamento de vapores, se enriquece em compostos mais voláteis e se aquece. Ao aquecer-se, essa caldeira inicia a produção de vapores, cuja composição em produtos mais voláteis é mais rica do que os provenientes da caldeira de esgotamento. Esses vapores, ao alcançarem o capitel e a alonga, chegam até a serpentina não perfurada do aquecedor de vinho, trocam calor com o vinho aí contido e condensam-se. O condensado e os vapores alcoólicos que não foram condensados no aquecedor são encaminhados ao condensador, que neste caso usa água fria como meio para a troca de calor.
- Quando o teor alcoólico do destilado que flui do aquecedor de vinho cair para 50% v/v, a destilação é considerada terminada. Deve-se cessar a fonte de aquecimento, abrir as válvulas igualadoras das pressões e o registro de descarga de vinhaça, na caldeira de esgotamento.

- A fase seguinte consiste em enviar o conteúdo da caldeira de destilação à de esgotamento e, posteriormente, o do aquecedor de vinho à caldeira de destilação, permitindo nova carga de vinho no aquecedor de vinho, iniciando um novo ciclo de destilação.

**Considerações sobre o alambique de três corpos:** este tipo de equipamento pode ser utilizado pelas destilarias de média capacidade, com uma produção diária de 2.400 a 5.000 litros. A exemplo da destilação no alambique simples, no de três corpos também se deve proceder a separação das frações de cabeça, coração e cauda para se obter uma aguardente de boa qualidade sensorial. Neste aparelho, elimina-se totalmente a necessidade de destilar água-fracas, o que propicia uma redução no gasto de vapor, de água e de mão-de-obra, como também aumenta o rendimento da destilação.



- |                                  |                                     |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Caldeira de esgotamento       | 9. Entrada de vapor                 |
| 2. Capitel, domo ou elmo         | 10. Purgador                        |
| 3. Alonga ou tubo de condensação | 11. Registro de comunicação         |
| 4. Caldeira de destilação        | 12. Válvula de segurança            |
| 5. Aquecedor de vinho            | 13. Válvula igualadora das pressões |
| 6. Câmara de refrigeração        | 14. Termômetro                      |
| 7. Alimentação de vinho          | 15. Condensador ou refrigerante     |
| 8. Esgotamento da vinhaça        | 16. Tubulação de flegma             |
|                                  | 17. Nível de corpos                 |

Figura 10. Esquema de um alambique três corpos. Fonte: Novaes et al. (1974).

### Destilação contínua

É o processo de destilação empregado nas destilarias de média e de grande capacidade. Com ela, é possível obter-se flegmas de alto (90 – 96 % v/v) e de baixo grau (35 – 65 % v/v), de acordo com o tipo de aparelho empregado e com a finalidade a que se destina. Atualmente, justifica-se para este tipo de destilação somente o emprego das colunas de destilação contínua, a qual é alimentada por um filete contínuo de vinho, obtendo-se, como conseqüência, um fluxo

contínuo de aguardente e outro de vinhaça. Assim, não serão abordados outros tipos atualmente em desuso.

✓ **Colunas de destilação**

As colunas de destilação são constituídas por uma série de caldeiras de destilação superpostas, as quais recebem a denominação de *pratos* ou *bandejas* (Figura 11). Cada bandeja constitui-se em uma unidade de destilação. Estas bandejas se superpõem, sendo envoltas por uma chapa periférica que dá ao conjunto o aspecto de uma coluna vertical que recebe o nome de tronco de destilação. As bandejas possuem orifícios periféricos, dentro dos quais, passam tubos abertos nas duas extremidades, denominados tubos de comunicação ou sifões de destilação, com a finalidade de manter um equilíbrio de líquido em cada um dos pratos. Para isto, tais tubos, em sua parte superior, sobressaem alguns centímetros, determinando assim o nível da bandeja superior, enquanto que, em sua extremidade inferior, ficam mergulhados no líquido aí contido.

Além disso, cada bandeja possui uma série de aberturas contendo tubos denominados chaminés. Estes são munidos lateralmente de janelas (fenestras), sobre as quais se assentam as calotas ou chapéus construídos sob formas variadas (circular, retangular, liso ou ondulado, de bordos lisos ou serrilhados, etc.) que ficam com seus bordos mergulhados no líquido, oferecendo uma resistência à passagem dos vapores, provenientes da bandeja inferior, formando verdadeira junta hidráulica. Quando isto acontece, o vinho, ao mesmo tempo em que se enriquece de álcool, também tem sua temperatura aumentada.

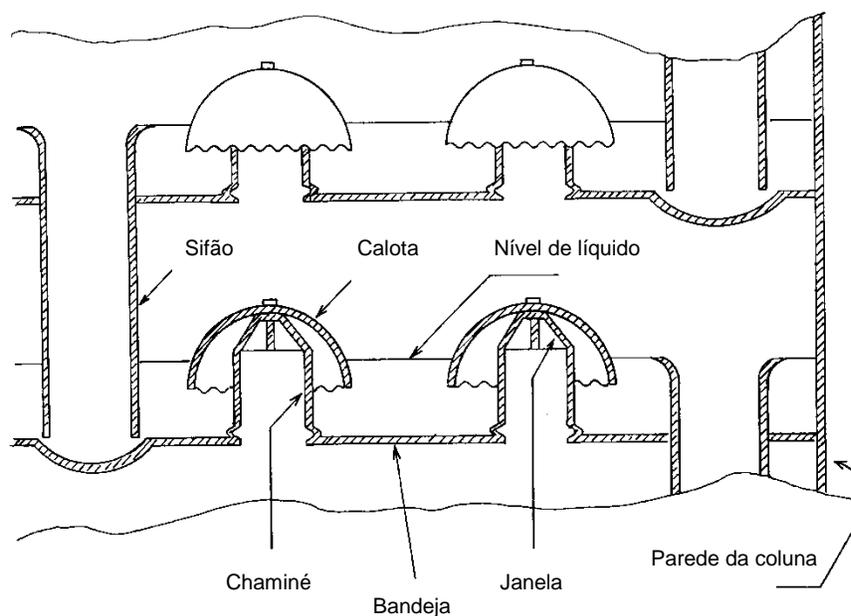


Figura 11. Esquema de uma bandeja de destilação. Fonte: Oliveira (1978).

#### ✓ Tipos de colunas

As colunas de pratos podem ser classificadas de acordo com a riqueza alcoólica do destilado obtido em colunas de baixo grau e colunas de alto grau. As colunas de baixo grau são aquelas que produzem destilados de baixa graduação alcoólica, variando entre 35 e 65 % v/v. Nesta coluna, o número de pratos varia de 15 a 20.

As colunas de alto grau são as que produzem destilados com teores alcoólicos elevados, variando de 90 a 96 % v/v. A diferença fundamental entre estes tipos de colunas diz respeito a sua constituição. As colunas de alto grau possuem duas zonas: uma inferior à alimentação do vinho, denominada de tronco de esgotamento, constituída de cerca de 12 a 16 pratos e uma superior à alimentação do vinho, denominada de tronco de concentração, variando o número de pratos de 18 a 22. Este tipo de coluna, através de uma retrogradação, permite a retirada de um destilado de maior concentração.

Na indústria moderna, as colunas de alto grau são as mais recomendadas, mesmo quando o produto desejado seja um flegma de baixa graduação, como a aguardente. Isso pode ser explicado pelo fato de uma coluna de alto grau, além de ter um funcionamento extremamente fácil,

em consequência de sua estabilidade (aqui, entende-se por estabilidade o fluxo de aguardente de igual graduação), possibilita a produção de um destilado de boa qualidade no que diz respeito à sua composição de compostos voláteis não álcool.

✓ **Funcionamento da coluna de baixo grau**

Uma vez conhecidos os principais componentes de uma coluna de destilação, é possível compreender com mais clareza seu funcionamento.

O vinho a ser destilado, por meio de uma bomba de recalque, é enviado para a parte superior da coluna, desce por ela de bandeja em bandeja através dos sifões, até atingir a caldeira de aquecimento. Pelo aquecimento, o vinho contido na caldeira inicia a emissão de vapores, que alcançam as chaminés da bandeja imediatamente superior, e passando pelas janelas acumulam-se nas calotas, onde encontram uma resistência oferecida pela junta hidráulica, formada pelo nível do líquido e a calota. Mas, à medida que o vinho aumenta de temperatura, a tensão ou força expansiva dos seus vapores aumenta até que, vencida a resistência imposta pela junta hidráulica, borbulham no vinho contido na bandeja.

Como consequência deste borbulhamento, haverá um aquecimento e um enriquecimento em álcool do vinho contido na bandeja, que por sua vez, emitirá vapores de teor alcoólico maior do que o emitido na caldeira. Isto se repete nas bandejas seguintes, de maneira que as temperaturas são decrescentes, da base ao topo da coluna.

A pressão da garrafa manométrica da base da coluna é de 2,5 a 3,0 m e a temperatura é de 103 a 105 °C, enquanto que, no topo da coluna estes valores são de 1,8 m e 94 °C, respectivamente.

Quando a coluna está em pleno funcionamento, o vinho entra na coluna em fluxo contínuo e vai se desalcoholizando na medida em que desce de bandeja em bandeja, sendo retirado da caldeira da coluna na forma de vinhaça (vinho esgotado).

Os vapores alcoólicos oriundos da coluna são encaminhados ao aquecedor de vinho (condensador), onde trocam calor com o vinho, e daí ao condensador auxiliar, ocorrendo em ambos retrogradações ao topo da coluna, pela condensação dos vapores menos voláteis. A parte

restante é encaminhada ao refrigerante para diminuir a temperatura do destilado e daí, para a proveta que mede a vazão e, portanto, a produtividade da coluna. Tanto no aquecedor de vinho como no condensador ocorrem degasagem, saindo os gases incondensáveis através da trombeta.

A estabilização do grau do flegma e a perda de álcool na vinhaça são controladas pela entrada de vapor, pelo fluxo de vinho e pela retirada de vinhaça.

### **5.8.2 Bidestilação**

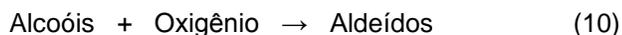
A bidestilação, como o próprio nome diz, consiste em realizar duas destilações sucessivas, podendo esta ser efetuada tanto em alambiques como em colunas. Este processo permite a obtenção de uma aguardente de qualidade superior em relação a qualquer outra proveniente de uma única destilação, apresentando baixa acidez, sabor e aroma agradáveis. Esta melhoria na qualidade da aguardente bidestilada é possível pela separação ou mesmo o bloqueio de certas frações indesejáveis, ricas em compostos de maior toxicidade, como é o caso dos aldeídos, metanol, ácido acético e carbamato de etila (uretana), entre outros compostos voláteis prejudiciais ao organismo humano. Atualmente, podem-se encontrar várias marcas comerciais de aguardente bidestilada no mercado. Porém, de maneira geral, esta prática não é adotada na maioria das destilarias brasileiras, sendo a aguardente obtida através de uma única destilação preponderante no mercado nacional.

### **5.9 Envelhecimento**

Os cuidados com a aguardente de cana devem iniciar com a colheita da cana e prosseguir até a destilação do vinho. Tendo sido bem conduzidas todas as etapas do processamento, a aguardente apresentará suas características químicas dentro das especificações legais. Porém, sensorialmente, pode não corresponder às expectativas dos consumidores mais exigentes, em razão da presença de substâncias de odor e sabor desagradáveis, devido à falta de tempo necessário para o descanso. Deste modo, o contato da aguardente com madeira e o envelhecimento são práticas extremamente importantes, pois a aguardente envelhecida apresentará melhor aroma e sabor. Tal fato pode ser justificado por uma série de reações químicas

que ocorrem durante o envelhecimento e que acarretam o surgimento de aroma, sabor e cor, característicos, além de um pequeno decréscimo no teor alcoólico.

Basicamente, as alterações químicas que ocorrem durante o envelhecimento consistem em reações de esterificação e oxidação, conforme mostrado nas Equações 10, 11 e 12.



Embora os alcoóis sejam relativamente estáveis à oxidação, na presença de fenóis e água, formam-se quantidades significativas de aldeídos. Estes são altamente reativos, podendo oxidar formando os ácidos orgânicos correspondentes. Através de reações de esterificação, os ácidos reagem com os alcoóis formando ésteres, que suavizam o odor pungente dos aldeídos, conferindo à aguardente odor agradável. Além dos aldeídos, alguns compostos sulfurados também diminuem durante a maturação, tais como sulfetos e dissulfetos.

Quando a aguardente é envelhecida em tonéis de madeira, o álcool e a água, através da penetração capilar e osmose, passam pelos interstícios e células da parede interna da madeira, iniciando a hidrólise da hemicelulose e da lignina. Os produtos da hidrólise são extraídos, enriquecendo o destilado. Assim, a madeira dos tonéis contribui qualitativamente e quantitativamente com os congêneres (impurezas voláteis – ácidos, aldeídos, alcoóis, ésteres) presentes na bebida, variando de acordo com a composição química da madeira, o tempo de envelhecimento, a capacidade do barril, a porosidade e a espessura da madeira.

Alguns estudos mostraram que o envelhecimento da aguardente por mistura, isto é, envelhecer um certo volume e corta-lo com aguardente comum, é viável e racional, uma vez que o produto final apresenta boas características organolépticas e comerciais.

Associando o envelhecimento e uma técnica apurada de fabricação, o produtor assegura a qualidade necessária para o mercado interno e externo. Sem esse aprimoramento, é difícil alinhar a aguardente típica do país com outras bebidas destiladas, como o conhaque, uísque e rum.

Entretanto, no Brasil não há costume de envelhecer a aguardente. Os grandes engarrafadores, que acondicionam milhões de litros anualmente para o mercado, armazenam grandes volumes em tanques de aço-carbono, protegidos internamente contra corrosão, por um tempo suficiente para aguardar o engarrafamento. No momento de engarrafar, é feita uma mistura do conteúdo de diversos continentes para homogeneizar um grande lote de aguardente, ao mesmo tempo em que é feito um corte com água e adição de açúcar ou caramelo, de acordo com o permitido pela legislação.

## 6 BIBLIOGRAFIA

ABRABE – Associação Brasileira de Bebidas. **A cachaça**. Disponível em: <<http://www.abrabe.org.br/cachaca.php>>. Acesso em: 13 ago. 2013.

ALTERTHUMM, F. Elementos de microbiologia. In: BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A. L.; AQUARONE, E. **Biotecnologia industrial**: fundamentos. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. cap. 1, p. 1-31.

ANGELIS, D. F. Agentes físicos, químicos e microbiológicos que afetam a fermentação etanólica. In: MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. **Aguardente de cana**: produção e qualidade. Jaboticabal: Funep, 1992. cap. 5, p. 49 - 65.

ANGELIS, D. F. Leveduras. In: **Microbiologia da fermentação etanólica**. Rio Claro: Instituto de Biociências - UNESP, 1987. cap. 5, p. 41 - 62.

BORGES, J. M. **Práticas de tecnologia de alimentos**. Viçosa: Imprensa universitária, 1978. p. 61 – 68.

BOZA, Y.; HORII, J. A destilação na obtenção de aguardente de cana-de-açúcar. **Boletim da SBCTA**, Campinas, v. 33, n.1. p. 98 – 105, 1999.

BOZA, Y.; OETTERER, M. Envelhecimento de aguardente de cana. **Boletim da SBCTA**, Campinas, v. 33, n. 1. p. 8 – 15, 1999.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Cachaça**: Agenda 2010-2015. Disponível em: [http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/file/camaras\\_setoriais/AGES/cachaca.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/AGES/cachaca.pdf). Acesso em: 14 ago. 2013.

BRASIL. Ministério da Fazenda. Receita Federal. **Simples Nacional**. Disponível em: <http://www8.receita.fazenda.gov.br/SimplesNacional/SobreSimples.aspx>. Acesso em: 14 ago. 2013.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. **Decreto 6.871** de 4 de junho de 2009. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6871.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Decreto/D6871.htm). Acesso em: 14 ago. 2013.

CAMPOS, J. O. S. e CASIMIRO, A. R. S. Importância dos barris de madeira no envelhecimento da cachaça. **Engarrafador Moderno**, n. 72, p. 50 - 52, 2000.

CARDELLO, H. M. A. B. e FARIA, J. B. Análise tempo-intensidade de características sensoriais de aguardente de cana durante o envelhecimento em tonel de carvalho (*Quercus sp*). **Boletim da SBCTA**, Campinas, v. 33, n. 1. p. 27 – 34, 1999.

CARVALHO, G. G. P.; PIRES, A. J. V.; VELOSO, C. M. et al. Valor nutritivo do bagaço de cana-de-açúcar amonizado com quatro doses de ureia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 1, p. 125-132, 2006.

CESAR, M. A. A. Extração do caldo de cana por moagem. In: MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. **Aguardente de cana**: produção e qualidade. Jaboticabal: Funep, 1992. cap. 3, p. 23 - 35.

CHAVES, J.B.P. **Cachaça**: produção artesanal de qualidade. Viçosa: Imprensa universitária, 1998. Manual, 115 p.

FARIA, J. A. F.; CORRÊA, C. P. A. Influência da embalagem sobre a qualidade de aguardente de cana. **Engarrafador Moderno**, n. 92, p. 38 - 45, 2001.

FERNANDES, A. J. **Manual da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livroceres, 1984. 194 p.

FERNANDES, H. **Açúcar e álcool**: ontem e hoje. Rio de Janeiro: [s.n.], 1971. p. 115 – 147. Coleção canavieira, 4.

FERNANDEZ, E. H. Rum. In: VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas**: ciência e tecnologia. São Paulo: Blucher, 2010. cap. 17, p. 317-330.

FURLETTI, M. E. M. Fatores físicos e químicos que interferem na fermentação etanólica. In: **Microbiologia da fermentação etanólica**. Rio Claro: Instituto de Biociências - UNESP, 1987. cap. 7, p. 72 - 79.

KOCKOVÁ-KRATOCHVÍLOVÁ, A. Yeast metabolism. In: \_\_\_\_\_. **Yeast and yeast-like organisms**. Weinheim: VCH, 1990. cap. 5, p. 304-390.

LEHNINGER, A. L. **Princípios de bioquímica**. São Paulo: Sarvier, 1988. 725p.

LIMA, U. A. Aguardentes. In: AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A. **Biotechnologia Industrial: biotecnologia na produção de alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. v. 4. cap. 5, p. 145 - 180.

LOPES, C.H. **Glossário de termos técnicos para a indústria sucroalcooleira**. Piracicaba: IAA/PLANALSUCAR, 1986. 32 p.

MARQUES, M. O.; MARQUES, T. A.; TASSO JÚNIOR, L. C. **Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 2001. 170 p.

MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. Aguardente de cana. In: VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. São Paulo: Blucher, 2010. cap. 12, p. 237-266.

NOVAES, F. V. Como controlar a qualidade da cachaça. **Engarrafador Moderno**, n. 85, p. 24 - 29, 2001.

NOVAES, F. V. Controle operacional da destilaria de aguardente. In: MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. **Aguardente de cana: produção e qualidade**. Jaboticabal: Funep, 1992. cap. 7, p. 79 - 91.

NOVAES, F. V. Processos fermentativos. In: MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. **Aguardente de cana: produção e qualidade**. Jaboticabal: Funep, 1992. cap. 4, p. 37 - 48.

NOVAES, F.V. et al. **I curso de extensão em tecnologia de aguardente de cana**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1974. 104 p.

OLIVEIRA, E.R. (Coord.). **Tecnologia dos produtos agropecuários I: tecnologia do açúcar e das fermentações industriais**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1978. 209 p.

PALMA, M. S. A.; CARVALHO, L. F. C. P.; GAVÓGLIO, L. C. Vinagres. In: AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. A. **Biotechnologia industrial: biotecnologia na produção de alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. cap. 6, p. 183-208.

PAYNE, J.H. **Operações unitárias na produção de açúcar**. São Paulo: Nobel, 1989. 233 p.

ROSALES, Z. Y. R.; FURLETTI, M. E. M. Bactérias contaminantes da fermentação alcoólica. In: **Microbiologia da fermentação etanólica**. Rio Claro: Instituto de Biociências - UNESP, 1987. cap. 8, p. 80 - 91.

SANT'ANA, L. S.; Souza, M. C. M. Qualidade no setor de bebidas. In: VENTURINI FILHO, W. G. **Indústria de bebidas: inovação, gestão e produção**. São Paulo: Blucher, 2011. cap. 16, p. 337-349.

SILVA, A. A.; GALINARO, C. A.; CARDOSO, D. R.; LIMA NETO, B. S.; FRANCO, D. W. A qualidade de destilados de cana-de-açúcar. In: VENTURINI FILHO, W. G. **Indústria de bebidas: inovação, gestão e produção**. São Paulo: Blucher, 2011. cap. 17, p. 351-370.

STUPIELLO, J. P. A cana como matéria-prima. In: PARANHOS, S. P. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 2. cap. 7, p. 761 - 804.

STUPIELLO, J. P. Destilação do vinho. In: MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. **Aguardente de cana: produção e qualidade**. Jaboticabal: Funep, 1992. cap. 6, p. 67 - 78.

STUPIELLO, J. P. Produção de aguardente: qualidade da matéria-prima. In: MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. **Aguardente de cana: produção e qualidade**. Jaboticabal: Funep, 1992. cap. 2, p. 9 - 22.

VALES, R. M. S. et al. Efeito dos extratos aromáticos de madeiras sobre cachaças. **Engarrafador Moderno**, n. 84, p. 40 - 47, 2001.

VALSECHI, O. **Aguardente de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livrocere, 1960. 116 p.

VENTURINI FILHO, W. G.; MENDES, B. P. Fermentação alcoólica de raízes tropicais. In: CEREDA, M. P.; VILPOUX, O. F. **Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2003. v. 3. cap. 19, p. 530 - 575.

VETTORAZZI, G.; MACDONALD, I. **Sacarose: aspectos nutricionais e de segurança no uso do açúcar**. São Paulo: Editora Hucitec, 1989. 226 p.