

# FABRICAÇÃO DE ÁLCOOL ATRAVÉS DE UMA TORRE DE DESTILAÇÃO DE USO DIDÁTICO

**Eugênio Naegele**

*Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos e  
Mestrando em Automação na UFES - enaegele@cefetcampos.br*

**Leandro Souza Crespo**

*Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos e  
Mestrando em Automação na UFES - leandro@cefetcampos.br*

**José Denti Filho, D. Sc.**

*Professor do Departamento de Engenharia Elétrica da UFES - j.denti@ele.ufes.br*

## Resumo

Este artigo apresenta o processo da produção de álcool de cana-de-açúcar normalmente utilizado em destilarias, a sua obtenção através de uma torre de destilação de uso didático, a instrumentação utilizada para medição e controle do processo, os resultados obtidos em aplicações de forma empírica e os passos necessários para a modelagem dinâmica da torre, de forma que estudos posteriores possam dar subsídios para o desenvolvimento de técnicas de controle moderno, usando a torre como laboratório de aplicação.

## 1 Introdução

O processo de separação de diversos líquidos componentes de uma certa mistura, nos reporta ao século II da nossa era quando ZOSIME E HERMES, no Egito, foram considerados os mestres na arte de Destilação. Mais tarde, no século IV, apareceu o alambique construído por SYNÉSIUS, que se baseava no aquecimento em “banho-maria”. Até o século XVI o alambique foi se aperfeiçoando e daí em diante o avanço foi galopante, tendo havido muitos interessados no assunto, e que, afinal conseguiram, no século passado, levar o alambique ao estado atual que permitiu o seu emprego mais amplo, como em certos casos é utilizado ainda hoje. Foi o ponto de partida para o processo contínuo.

## 2 Processo de Produção do Álcool

Apresentamos, a seguir, a terminologia e a composição química do álcool retificado, geralmente utilizadas nos meios científicos e produtivos.

### 2.1 Terminologia

- **Brix** - relação de sólidos solúveis em suspensão, dado em gramas, em relação a 100g de solução.
- **Melaço** - resíduo da fabricação de açúcar, com média 85°BX.
- **Caldo** - caldo de cana proveniente diretamente do esmagamento da cana na moenda, com cerca de 16 °BX.

- **Mosto** - Mistura de melão ou caldo com água para acerto do brix, destinado à fermentação.
- **Vinho ou Garapa** - mosto fermentado com aproximadamente 7 a 8 % de álcool.
- **Vinhoto** - resíduo da destilação do vinho na coluna de destilação, também chamado restilo, vinhaça ou caldas.

## 2.2 Composição do Álcool

- a) **Ácidos**: orgânicos, especialmente o ácido acético, às vezes ácidos minerais, como sulfúrico e sulfídrico.
- b) **Aldeídos**: além dos aldeídos etílicos encontram-se os da série graxos e furfurol.
- c) **Ésteres**: resultado da combinação de álcoois com diversos ácidos, especialmente acetato de etila.
- d) **Álcoois superiores**: que atingem de 0,2 a 0,5% constantes de álcoois amílicos, propílicos, butílicos e traços de metanol.
- e) **Substâncias**: constituídas de amoníaco e aminas, combinados com ácidos sob diversas formas, que se liberam no ambiente alcoólico.

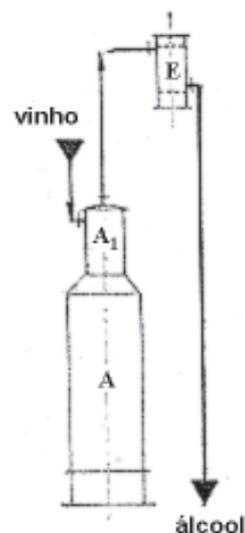
Todos estes componentes que formam as impurezas do álcool não passam de 1% do mesmo. Entretanto, a sua presença caracteriza-o, como por exemplo, no caso da aguardente, a que dá gosto característico e, às vezes, ajuda na desnaturação, quando é o caso.

## 2.3 Processo de Obtenção do Álcool

O processo de produção do álcool, segundo as suas classes, pode ser dividido em até três partes distintas, conforme o tipo de produto que se procura obter. Assim, considerando separadamente cada tipo ou classe de álcool, as diversas fases de produção são as seguintes:

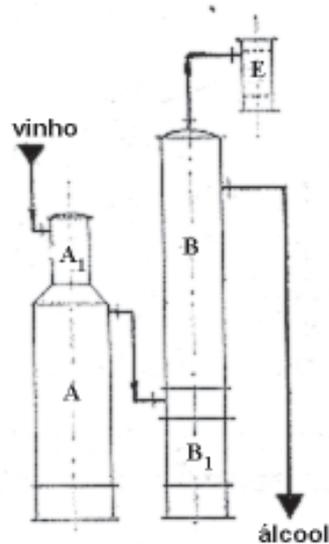
- **Álcool Bruto** - processo de destilação: cuja finalidade é extrair do vinho - mosto fermentado - todo o álcool nele contido, junto com as suas impurezas voláteis, produzindo o “álcool fraco”, “bruto” ou “flegma” - com graduação alcoólica de 52 a 94 °GL. É retirado na coluna “A” conforme mostra a figura 1.

FIGURA 1: PROCESSO DE DESTILAÇÃO – COLUNA “A”



- **Álcool Retificado** - processo de retificação: que tem a função de eliminar do álcool fraco ou flegma todas as impurezas e concentrar o álcool assim purificado, chamado retificado ou hidratado, com graduação até 97 °GL. Sua retirada processa-se na parte superior da coluna de retificação “B” conforme mostra a figura 2.

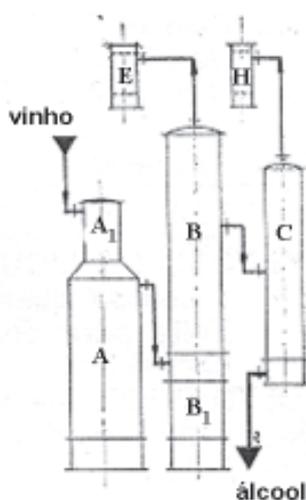
FIGURA 2: PROCESSO DE RETIFICAÇÃO – COLUNAS “A” E “B”



- **Álcool Absoluto** - processo de desidratação: que por meio do terceiro agente chamado

arrastador ou outro elemento apropriado, elimina do álcool retificado a parcela d'água nele contida que não se consegue separar mais pelo fracionamento. Produz-se, assim, um álcool desidratado que também é chamado de absoluto ou anidro, apropriado para a mistura com carburantes, tendo graduação mínima de 99,95 °GL. Sua saída se faz na base da coluna de desidratação "C" conforme mostra a figura 3.

FIGURA 3: PROCESSO DE DESIDRATAÇÃO – COLUNAS "A", "B" E "C"

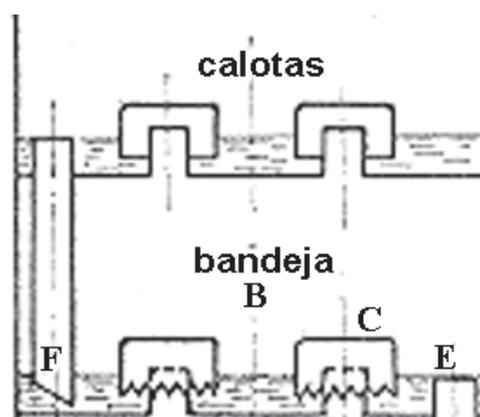


O princípio da destilação consta do fenômeno de fracionamento dos líquidos, onde os mais voláteis, com pontos de ebulição mais baixos, separam-se em primeiro lugar, seguidos pelos outros componentes em seqüência correspondente às suas respectivas volatilidades. O mosto, depois da sua fermentação terminada, transformando-se em vinho, contém diversas substâncias que, pela fermentação, dividem-se em duas partes:

- Substâncias voláteis* - que contêm além da água diversos álcoois, aldeídos, ésteres e ácidos que, obedecendo ao fenômeno acima mencionado, começam a separar-se conforme os seus pontos de ebulição, começando pelos mais voláteis como o álcool de cabeça, seguindo-se o álcool etílico, o de mau gosto (calda) e finalmente o óleo fúsel.
- Substâncias fixas* – constituídas pelos resíduos da destilação que são separadas do processo e saem principalmente sob a forma de vinhoto da base da coluna de destilação "A".

A separação de diversos álcoois tem início na coluna de destilação "A", sendo o vinho introduzido na parte superior da mesma. Antes da sua entrada, para diminuir ao máximo o consumo de energia, o vinho é pré-aquecido, primeiramente no pré-aquecedor chamado deflegmador pelos vapores alcoólicos saídos da própria coluna e, em segundo lugar, pelo pré-aquecedor do vinho, onde entra em contra corrente com o vinhoto que já saiu da base da coluna de destilação "A". Uma vez atingido o ponto de ebulição do líquido na base da coluna de destilação, obedecendo ao princípio da evaporação, os componentes mais voláteis separam-se do líquido, deixando-o carregado de substâncias fixas, arrastadas continuamente junto com o mesmo para fora da coluna, em forma de vinhoto. O calor necessário para a evaporação acima é transmitido ao líquido pelo vapor gerado pela troca térmica existente no interior da base da coluna "A", por meio de tubos perfurados – borbotagem - tipo de aquecimento da maior eficiência e maior economia do vapor. O controle do vapor que entra para esse aquecimento na base da coluna "A" é automático e controlado por meio de uma malha de controle que tem a função de manter permanentemente uma pressão constante dentro da coluna de destilação, condição primordial para um bom funcionamento da mesma, independentemente de eventuais variações de pressão na rede de vapor. Os vapores liberados pela evaporação vão subindo, encontrando no seu caminho as bandejas providas de calotas, cuja função é obrigar os vapores em ascensão a entrar em contato mais ativo com as camadas sobre cada bandeja, conforme mostra a figura 4.

FIGURA 4: EXEMPLOS DE CALOTAS E BANDEJA



A finalidade é proporcionar maior contato dos vapores, por meio de borbotagem, com o líquido quente que desce do topo da coluna pelos tubos sifonados chamados “ladrões”, cujas alturas mantêm o nível determinado e necessário dos líquidos sobre as bandejas.

Pelo forte contato provocado pela borbotagem, os vapores em ascensão cedem a sua parte de vapor de água ao líquido na bandeja, passando esse, em compensação, aos vapores da parte do álcool que ainda contém. Acontece que os vapores, no espaço acima de cada bandeja, enriquecidos assim com álcool, vão diminuindo o ponto de ebulição, continuando o fenômeno na proporção das suas subidas de bandeja para bandeja. Assim torna-se claro o funcionamento da coluna que consiste em dois fluxos distintos:

- Um, partindo da base da coluna em forma de vapores que se enriquecem na sua subida e,
- Outro, em forma de líquido que, entrando no topo da coluna, desce, tornando-se cada vez mais pobre em álcool e aumentando o ponto de ebulição, até que chega na base, praticamente isento de álcool, porém carregado de substâncias fixas, que leva consigo em forma de vinhoto para fora do processo.

Os vapores alcoólicos que chegam ao topo da coluna de destilação “A”, chamados também de flegma, com o teor alcoólico de 48 a 52°GL, são levados para o condensador, chamado também de deflegmador. A partir daí, o processo se repete na coluna B, com a finalidade de aumentar a graduação do álcool.

### 3 Torre de Destilação de uso Didático

Em 1989, como resultado de um intercâmbio entre a Refinaria Nacional de Sal - Sal Cisne - localizada em Cabo Frio - RJ e a então Escola Técnica Federal de Campos, hoje Centro Federal de Educação Tecnológica de Campos - RJ, o curso técnico de Instrumentação recebeu como doação uma torre de destilação para fins didáticos, montada em aço inoxidável. Projetada pelo professor Luiz Paulo Miranda Vaillant do curso

de Química da Escola - hoje não mais pertencente ao quadro docente - e construída pela empresa, esta torre é completa, tendo como característica principal de construção, a conjugação sobre uma única coluna, das colunas “A”(responsável pelo processo de destilação) e “B”(responsável pelo processo de retificação) com a finalidade de produzir álcool hidratado. Desta forma, o projeto foi desenvolvido para obter a menor perda possível de energia e um melhor rendimento, visto que em torres muito altas, o controle de temperatura torna-se dificultoso. Ao analisarmos as colunas tradicionais para a produção do álcool hidratado, verificamos que o projeto foi elaborado de forma a “juntar” as colunas “A”(destilação) e “B”(retificação) numa coluna única, de tal maneira que numa só unidade são aplicados os controles necessários para a produção. Para fins didáticos é uma configuração ideal, devido a simplicidade de manutenção e as possibilidades de aplicação de sistemas diferentes de controle do processo. Apesar de projetada por um docente da Escola, não há registro de material técnico do projeto, até porque foi desenvolvido, de certa forma, empiricamente, considerando a grande experiência do professor neste tipo de indústria e a sua formação de graduação (Engenharia Química).

A pequena dimensão da torre e o resultado obtido na produção de etanol sem nenhum compromisso com a qualidade e otimização tanto do processo quanto do controle aplicado, fazem da mesma um objeto de pesquisa para identificação dos parâmetros de produção, permitindo estudos para encontrar o prato ideal para a alimentação, considerando alguns pontos de entrada da matéria-prima. A finalidade da parametrização da torre é devida a necessidade do levantamento das características de produção da mesma, objetivando chegar numa condição de processamento em que se tenha uma maior concentração de álcool hidratado na saída e uma concentração insignificante de álcool no resíduo (vinhoto).

#### 3.1 Características Construtivas e Dimensionais da Torre

A torre conforme mostra a figura 5 foi construída com as seguintes características:

FIGURA 5: TORRE DE DESTILAÇÃO



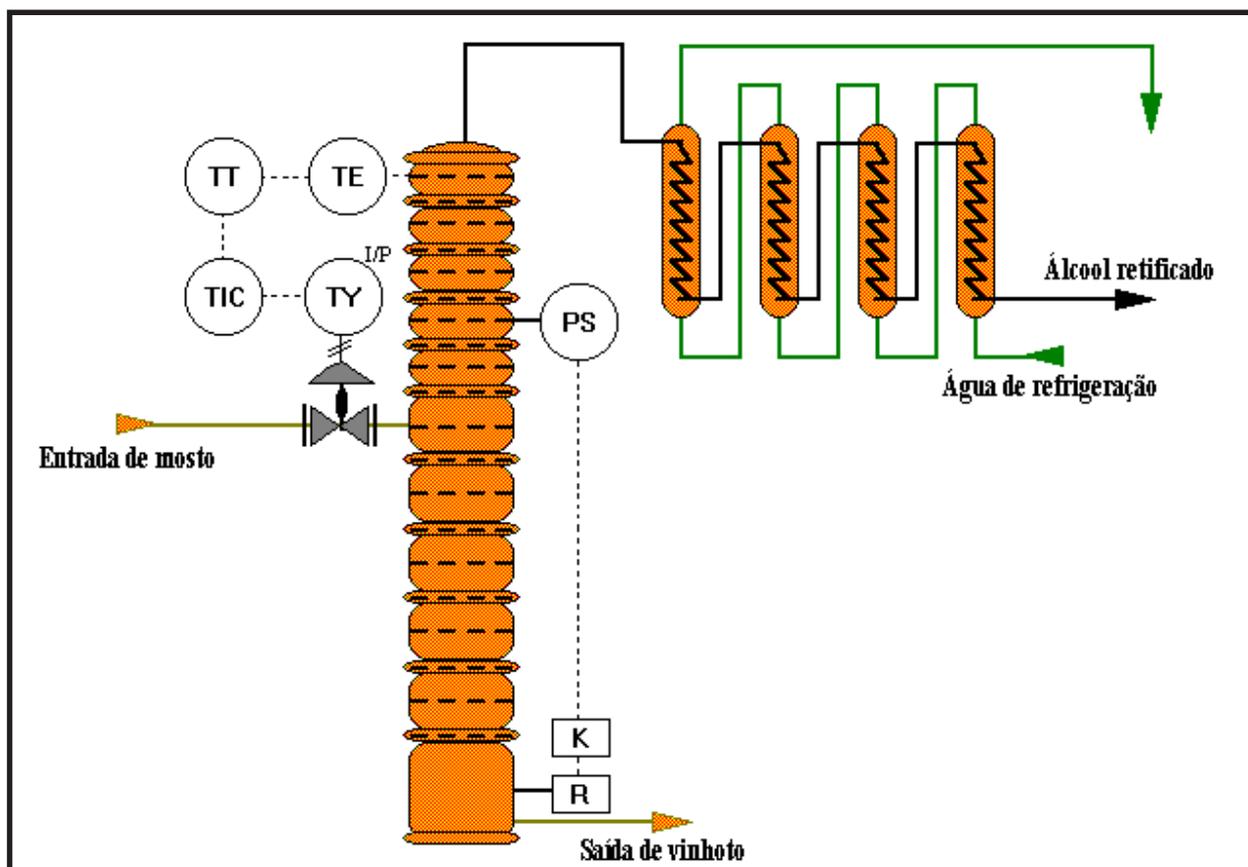
- Material de construção em aço inoxidável.

- Colunas “A” e “B” construídas sobre uma única estrutura.
- Resistência de aquecimento direto de 1000 W.
- Produção de aproximadamente 2 litros de etanol/hora.
- 5 gomos de 15cm de diâmetro por 15cm de altura, funcionando como coluna “A”.
- 5 gomos de 15cm de diâmetro por 08cm de altura, funcionando como coluna “B”.
- 1 gomo de 15cm de diâmetro por 20cm de altura, funcionando como base da coluna (panela).
- Pratos perfurados com 32 furos de 1,5mm de diâmetro cada, num total de 20 pratos.
- Altura total de 137cm, com 20 pratos sem calotas.

### 3.2 Fluxograma de Processo

O fluxograma utilizado nos testes iniciais é o mostrado na figura 6

FIGURA 6: FLUXOGRAMA DA TORRE



#### LEGENDA:

R ∅ Resistência elétrica.	TT ∅ Transmissor de temperatura.	K ∅ Chave magnética.
TIC ∅ Controlador de temperatura.	PS ∅ Pressostato.	TY ∅ Conversor I/P.
TE ∅ RTD tipo Pt100.		

### 3.3 Resultados Obtidos

Os testes realizados anteriormente à aplicação da atual instrumentação (com tecnologia digital) e conforme as malhas de medição e controle aplicadas, apresentaram os seguintes resultados:

- a) A temperatura é medida no topo através de um termômetro de resistência tipo Pt100, com um setpoint de 80°C, controlada através da manipulação da válvula de controle de entrada de vinho.
- b) A pressão é medida no prato número 14, através de um transmissor eletrônico de pressão diferencial e um pressostato com um setpoint de 400mmH<sub>2</sub>O, controlada através de um sistema on-off que atua na resistência elétrica.
- c) O nível é apenas monitorado entre a base da panela e o prato número 02.
- d) O vinho é injetado por gravidade, à temperatura ambiente e com uma concentração de álcool entre 7,5% a 8,2%.
- e) A produção, após o equilíbrio térmico interno, é de aproximadamente 01 litro de álcool por hora.
- f) As análises químicas indicam uma graduação alcoólica em torno de 80°GL.

Após a instalação da nova instrumentação, que será de forma permanente e baseada em instrumentos de tecnologia digital, o revestimento térmico e a mudança da estratégia de controle das variáveis de processo, novos testes serão realizados para otimizar o controle e a produção.

### 4 Modelagem Dinâmica do Processo - Passos Iniciais

As formas mais eficientes de controle desenvolvidas para realizar a automação da produção se utilizam de modelamentos matemáticos dos processos. A quase totalidade dos processos é dinâmica, variando seu comportamento com o tempo. Para que se possa projetar uma malha de controle adequada para aplicação em processos, é necessário o conhecimento do comportamento dinâmico do processo. É nesta etapa que a modelagem e a simulação real do processo tornam-se valiosas.

A estratégia a ser utilizada na torre de destilação de uso didático é a modelagem

dinâmica, a qual leva em consideração o regime permanente de produção, os dados levantados da instrumentação utilizada, os registros dos ensaios (corridas) com misturas hidroalcoólicas com concentrações (°GL) de álcool diferentes, os resultados obtidos e, finalmente, o equacionamento do modelo na forma de função de transferência relacionando entrada e saída. Após a obtenção da função de transferência, compara-se os resultados experimentais com os resultados analíticos obtidos através das soluções matemáticas, chegando-se ao modelo final que melhor representa o processo real e as condições de massa/energia aplicadas.

A aplicação das ferramentas - modelagem e simulação – certamente darão novas condições, agora técnicas e não mais empíricas, para a obtenção de outras formas de aplicação da instrumentação e a possibilidade de mudanças nas estratégias e técnicas de controle, permitindo o uso contínuo da coluna como laboratório.

### 5 Referências Bibliográficas

- [1]BELKIS, V. Curso de simulação e controle de processos, Rio de Janeiro: IBP, 1988. 114p.
- [2]RASOVSKY, E.M. Álcool, destilarias. Rio de Janeiro: MIC/IAA, 1973. 384p. Coleção Canavieira, n° 12