

**MARIA CÉLIA REIS DOS SANTOS**

**QUANTIFICAÇÃO E REMOÇÃO DE ÍONS DE COBRE EM  
AGUARDENTE DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**SÃO CAETANO DO SUL**

**2009**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**MARIA CÉLIA REIS DOS SANTOS**

**QUANTIFICAÇÃO E REMOÇÃO DE ÍONS DE COBRE EM  
AGUARDENTE DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos.

Linha de Pesquisa: Análise e otimização de processos industriais

Orientador: Prof. Dr. Leo Kunigk

**SÃO CAETANO DO SUL**

**2009**

Santos, Maria Célia Reis dos

Quantificação e remoção de íons de cobre em aguardente  
de cana-de-açúcar Maria Célia Reis dos Santos. São Caetano  
do Sul, SP: IMT-CEUN,2009.

65 p. : Il. ; 30 cm.

Tese para obtenção do título de mestrado – Escola de Engenharia  
Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São  
Caetano do Sul, SP, 2009

Orientador: Prof. Dr. Leo Kunigh

1. Cobre. 2. Aguardente 3. Remoção I. Santos, Maria Célia Reis  
Dos. II. Instituto Mauá de Tecnologia. Centro Universitário.  
Escola de Engenharia Mauá. III. Título

## DEDICATÓRIA

A DEUS por mais uma etapa vencida da minha vida.

Aos meus pais (*in memoriam*) por todo o seu amor e sabedoria.

A minha irmã, Vera que sempre esteve presente em minha vida dando-me carinho, amor e amizade.

Ao meu filho, Caio, pelo amor, compreensão, força e carinho.

Ao meu marido, Wagner, por seu otimismo, tranquilidade, apoio, companheirismo, carinho e força em todos os momentos dessa jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, prof. Dr. Leo Kunigh, pela amizade, paciência, incentivo e orientação.

Ao prof. Dr. Péricles Brasiliense Fusco pelo incentivo e apoio na realização deste trabalho.

A professora, mestre Alessandra de Paula Noronha pela amizade e incentivo.

A Termomecânica São Paulo S/A por ter gentilmente permitido o uso do Espectrofotômetro de Plasma, para a análise do teor de cobre.

Ao prof. Valcir Shigueru Omori pelo apoio à pesquisa.

A todos que de alguma maneira colaboraram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

A produção de aguardente de cana-de-açúcar, em algumas regiões do país, é ainda rudimentar, com a forte presença de pequenos fabricantes que utilizam alambiques de cobre, comprometendo a qualidade desta bebida. A falta de uso desses alambiques no período da entressafra leva a formação de azinhavre que se não for devidamente removido antes da destilação da aguardente, provoca a contaminação por cobre para o produto final. O cobre é um componente indesejável para a saúde humana, a legislação brasileira permite 5,0 mg/L de aguardente índice significativamente superior ao de alguns países que toleram no máximo 2,0 mg/L. Neste contexto, este trabalho visa mensurar a remoção dos íons cobre presentes na aguardente utilizando carvão ativo e resinas de troca iônica e a quantidade de vezes que uma mesma carga de resina podem ser utilizadas para atingir os limites legais de  $\text{Cu}^{2+}$  na aguardente. Assim como verificar a influência do tempo de contato durante a utilização do carvão ativo e das resinas de troca iônica no processo de remoção deste íon metálico. A remoção dos íons de cobre foi realizada com resina de troca iônica com estrutura gel Amberlite 120 Na ou com estrutura macroporosa Amberlite 252 Na e com carvão ativo vegetal em pó P.A. Os teores de cobre foram avaliados por meio de espectrofotometria de plasma. Os resultados apontam que o carvão ativo e as resinas Amberlite 120Na e 252Na podem ser utilizados pois removem os íons de cobre em concentração igual ou inferior a 5,0 mg/L desde que o carvão ativo não seja utilizado mais do que 5 vezes e as resinas mais do que 6 vezes, isso se a concentração inicial de cobre na aguardente não for superior ao valor máximo de 5,0 mg/L fixado pela legislação brasileira. As resinas mostraram-se mais eficientes do que o carvão ativo na remoção dos íons de cobre, e destas a resina Amberlite 252 Na é a que possui maior eficiência na remoção destes íons.

Palavras chave: Aguardente. Cobre. Carvão Ativo. Resinas de Troca Iônica.

## ABSTRACT

The production of spirits distilled from sugar cane, in some regions of the country, is still rudimentary, with the strong presence of small manufacturers who use copper stills, compromising the quality of this drink. The lack of use during the season leads to formation of azinhavre that if not properly removed before distillation of spirits, causing the contamination by copper for the final product. Copper is an undesirable component for human health, the Brazilian legislation allows 5,0 mg/L of spirits index significantly higher than in some countries which tolerate a maximum of 2.0 mg/L. In this context, this work aims to measure the removal of copper ions present in spirit using activated carbon and ion exchange resins and the influence of time of contact during the use of ion exchange resins in the removal of this metal ion. Removal of copper ions was performed with ion exchange resin with Amberlite 120 in gel structure or structure with macroreticular Amberlite 252 Na and with activated carbon powder plant PA. The levels of copper were evaluated by means of spectrophotometry of plasma. The results indicate that the activated carbon and Amberlite resin 120Na and can be used as 252Na remove the copper ions less than or equal to 5.0 mg/L since the activated charcoal is not used more than 5 times more and the resins 6 times of that, this is the initial concentration of copper in the spirit does not exceed the maximum value of 5.0 mg/L established by Brazilian legislation. The resins were more efficient than activated carbon in the removal of copper ions, and such a resin is Amberlite 252 Na, is that it has increased efficiency in the removal of these ions.

Keywords: spirit, Copper, activated charcoal, ion exchange resins.

## SUMÁRIO

<b>MARIA CÉLIA REIS DOS SANTOS .....</b>	<b>1</b>
<b>    QUANTIFICAÇÃO E REMOÇÃO DE ÍONS DE COBRE EM AGUARDENTE DE CANA-DE-AÇÚCAR .....</b>	<b>1</b>
<b>    SÃO CAETANO DO SUL.....</b>	<b>1</b>
<b>    2009 .....</b>	<b>1</b>
<b>MARIA CÉLIA REIS DOS SANTOS .....</b>	<b>2</b>
<b>    QUANTIFICAÇÃO E REMOÇÃO DE ÍONS DE COBRE EM AGUARDENTE DE CANA-DE-AÇÚCAR .....</b>	<b>2</b>
<b>    DISSERTAÇÃO APRESENTADA À ESCOLA DE ENGENHARIA MAUÁ DO CENTRO UNIVERSITÁRIO DO INSTITUTO MAUÁ DE TECNOLOGIA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS QUÍMICOS E BIOQUÍMICOS. ....</b>	<b>2</b>
<b>    LINHA DE PESQUISA: ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS.....</b>	<b>2</b>
<b>    ORIENTADOR: PROF. DR. LEO KUNIGK.....</b>	<b>2</b>
<b>    SÃO CAETANO DO SUL.....</b>	<b>2</b>
<b>    2009 .....</b>	<b>2</b>

<b>DEDICATÓRIA .....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>19</b>
2.1 CANA DE AÇÚCAR .....	19
1.1 HISTÓRICO.....	20
1.2 PRODUÇÃO .....	21
1.2.1 Colheita.....	21
1.2.2 Carregamento, Recepção e Descarregamento.....	22
1.2.3 Moagem da Cana .....	23
1.2.4 Filtração e Decantação .....	23
1.2.5 Preparação do Mosto.....	24
1.2.6 Correção do Mosto .....	24
1.2.7 Fermentação.....	25
1.2.8 Destilação .....	27
1.5 COBRE NO ORGANISMO HUMANO .....	32
1.6 CARVÃO ATIVO.....	33
1.7 RESINAS TROCADORAS DE ÍONS .....	36
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>39</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>41</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>62</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>63</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	CANA DE AÇÚCAR .....	19
FIGURA 2	FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE AGUARDENTE DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	30
FIGURA 3	CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA DETERMINAÇÃO DE ÍONS COBRE UTILIZANDO ESPECTROFOTÔMETRO DE PLASMA COM CHAMA DE ARGÔNIO.....	41
FIGURA 4	CONCENTRAÇÃO DE COBRE PRESENTE EM AGUARDENTE APÓS O TRATAMENTO COM CARVÃO ATIVO EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE VEZES QUE O CARVÃO É UTILIZADO QUANDO A CONCENTRAÇÃO INICIAL DE COBRE ERA DE 4,0 mg/L .....	42
FIGURA 5	CONCENTRAÇÃO DE COBRE PRESENTE EM AGUARDENTE APÓS O TRATAMENTO COM CARVÃO ATIVO EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE VEZES QUE O CARVÃO É UTILIZADO QUANDO A CONCENTRAÇÃO INICIAL DE COBRE ERA DE 7,0 mg/L .....	42
FIGURA 6	CONCENTRAÇÃO DE COBRE PRESENTE EM AGUARDENTE APÓS O TRATAMENTO COM CARVÃO ATIVO EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE VEZES QUE O CARVÃO É UTILIZADO QUANDO A CONCENTRAÇÃO INICIAL DE COBRE ERA DE 9,0 mg/L .....	43
FIGURA 7	CONCENTRAÇÃO DE COBRE PRESENTE EM AGUARDENTE APÓS O TRATAMENTO COM CARVÃO ATIVO EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE VEZES QUE O CARVÃO É UTILIZADO QUANDO AS CONCENTRAÇÕES INICIAIS DE COBRE ERA DE 4,0, 7,0 E 9,0 mg/L .....	43
FIGURA 8	DETERMINAÇÃO DAS MASSAS DE COBRE APÓS A UTILIZAÇÃO DO CARVÃO ATIVO POR TRÊS VEZES.....	44
FIGURA 9	RELAÇÃO ENTRE OS COEFICIENTES ANGULARES DAS EQUAÇÕES APRESENTADAS NA TABELA 2 E A CONCENTRAÇÃO INICIAL DE COBRE PRESENTE NAS AGUARDENTES.....	45

FIGURA 10	CONCENTRAÇÃO DE COBRE PRESENTE EM AGUARDENTE APÓS O TRATAMENTO COM RESINAS DE TROCA IÔNICA EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE VEZES QUE O CARVÃO É UTILIZADO QUANDO AS CONCENTRAÇÕES INICIAL DE COBRE ERA DE 4,0, 7,0 E 9,0 mg/L .....	46
FIGURA 11	PRODUTO DOS PARÂMETROS $\alpha$ E $\beta$ EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO INICIAL DE COBRE EM AGUARDENTE.	47
FIGURA 12	CONCENTRAÇÃO DE ÍONS $\text{Cu}^{2+}$ PRESENTE EM AGUARDENTE APÓS O TRATAMENTO COM RESINA AMBERLITE 120 Na EM FUNÇÃO DO TEMPO DE RESIDÊNCIA E DO NÚMERO DE UTILIZAÇÕES DA RESINA QUANDO A CONCENTRAÇÃO INICIAL DE COBRE ERA IGUAL A 4,0 mg/L .....	49
FIGURA 13	CONCENTRAÇÃO DE ÍONS $\text{Cu}^{2+}$ PRESENTE EM AGUARDENTE APÓS O TRATAMENTO COM RESINA AMBERLITE 120 Na EM FUNÇÃO DO TEMPO DE RESIDÊNCIA E DO NÚMERO DE UTILIZAÇÕES DA RESINA QUANDO A CONCENTRAÇÃO INICIAL DE COBRE ERA IGUAL A 7,0 mg/L .....	50
FIGURA 14	CONCENTRAÇÃO DE ÍONS $\text{Cu}^{2+}$ PRESENTE EM AGUARDENTE APÓS O TRATAMENTO COM RESINA AMBERLITE 120 Na EM FUNÇÃO DO TEMPO DE RESIDÊNCIA E DO NÚMERO DE UTILIZAÇÕES DA RESINA QUANDO A CONCENTRAÇÃO INICIAL DE COBRE ERA IGUAL A 9,0 mg/L .....	50
FIGURA 15	CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+}$ NA AGUARDENTE NAS CONCENTRAÇÕES INICIAIS DE 4,0, 7,0 E 9,0 mg/L APÓS TRATAMENTO COM RESINA AMBERLITE 120 Na COM O TEMPO DE RESIDÊNCIA DE 30 SEGUNDOS .....	52
FIGURA 16	CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+}$ NA AGUARDENTE NAS CONCENTRAÇÕES INICIAIS DE 4,0, 7,0 E 9,0 mg/L APÓS TRATAMENTO COM RESINA AMBERLITE 120 Na COM O TEMPO DE RESIDÊNCIA DE 60 SEGUNDOS .....	52

FIGURA 17	CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+}$ NA AGUARDENTE NAS CONCENTRAÇÕES INICIAIS DE 4,0, 7,0 E 9,0 mg/L APÓS TRATAMENTO COM RESINA AMBERLITE 120 Na COM O TEMPO DE RESIDÊNCIA DE 90 SEGUNDOS .....	53
FIGURA 18	CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+}$ NA AGUARDENTE NAS CONCENTRAÇÕES INICIAIS DE 4,0, 7,0 E 9,0 mg/L APÓS TRATAMENTO COM RESINA AMBERLITE 120 Na COM O TEMPO DE RESIDÊNCIA DE 120 SEGUNDOS .....	53
FIGURA 19	CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+}$ NA AGUARDENTE PRESENTE EM AGUARDENTE APÓS TRATAMENTO COM RESINA AMBERLITE 252 Na COM O TEMPO DE RESIDÊNCIA E DO NÚMERO DE UTILIZAÇÕES DA RESINA QUANDO A CONCENTRAÇÃO INICIAL DE COBRE ERA IGUAL A 4,0 mg/L .....	55
FIGURA 20	CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+}$ NA AGUARDENTE PRESENTE EM AGUARDENTE APÓS TRATAMENTO COM RESINA AMBERLITE 252 Na COM O TEMPO DE RESIDÊNCIA E DO NÚMERO DE UTILIZAÇÕES DA RESINA QUANDO A CONCENTRAÇÃO INICIAL DE COBRE ERA IGUAL A 7,0 mg/L .....	55
FIGURA 21	CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+}$ NA AGUARDENTE PRESENTE EM AGUARDENTE APÓS TRATAMENTO COM RESINA AMBERLITE 252 Na COM O TEMPO DE RESIDÊNCIA E DO NÚMERO DE UTILIZAÇÕES DA RESINA QUANDO A CONCENTRAÇÃO INICIAL DE COBRE ERA IGUAL A 9,0 mg/L .....	56
FIGURA 22	CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+}$ PRESENTE NA AGUARDENTE NAS CONCENTRAÇÕES INICIAIS DE 4,0, 7,0 E 9,0 mg/L APÓS TRATAMENTO COM RESINA AMBERLITE 252 Na COM O TEMPO DE RESIDÊNCIA DE 30 SEGUNDOS E O NÚMERO DE UTILIZAÇÕES DA RESINA.....	57
FIGURA 23	CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+}$ PRESENTE NA AGUARDENTE NAS CONCENTRAÇÕES INICIAIS DE 4,0, 7,0 E 9,0 mg/L	

	APÓS TRATAMENTO COM RESINA AMBERLITE 252 Na COM O TEMPO DE RESIDÊNCIA DE 60 SEGUNDOS E O NÚMERO DE UTILIZAÇÕES DA RESINA.....	58
FIGURA 24	CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+}$ PRESENTE NA AGUARDENTE NAS CONCENTRAÇÕES INICIAIS DE 4,0, 7,0 E 9,0 mg/L APÓS TRATAMENTO COM RESINA AMBERLITE 252 Na COM O TEMPO DE RESIDÊNCIA DE 90 SEGUNDOS E O NÚMERO DE UTILIZAÇÕES DA RESINA.....	58
FIGURA 25	CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+}$ PRESENTE NA AGUARDENTE NAS CONCENTRAÇÕES INICIAIS DE 4,0, 7,0 E 9,0 mg/L APÓS TRATAMENTO COM RESINA AMBERLITE 252 Na COM O TEMPO DE RESIDÊNCIA DE 120 SEGUNDOS E O NÚMERO DE UTILIZAÇÕES DA RESINA.....	59

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	PADRÃO DE IDENTIDADE QUALIDADE DA AGUARDENTE DA CANA-SE-AÇÚCAR .....	31
TABELA 2	COEFICIENTES ANGULARES E LINEARES DAS EQUAÇÕES QUE REPRESENTAM A CONCENTRAÇÃO DE COBRE NA AGUARDENTE APÓS TRATAMENTO COM CARVÃO ATIVO E O NÚMERO DE UTILIZAÇÕES.....	43
TABELA 3	CÁLCULO DOS ÍONS DE COBRE REMOVIDOS EM 25,0 ml DE AGUARDENTE APÓS TRÊS UTILIZAÇÕES DO CARVÃO ATIVO.....	44
TABELA 4	PARÂMETROS DA EQUAÇÃO QUE REPRESENTA A SATURAÇÃO DAS RESINAS AMBERLITE 120 Na E AMBERLITE 252 Na QUANDO UTILIZADAS PARA REMOVER ÍONS DE COBRE EM AGUARDENTE.....	46
TABELA 5	PRODUTO DOS PARÂMETROS $\alpha$ E $\beta$ EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO INICIAL DE COBRE EM AGUARDENTE.....	47
TABELA 6	CÁLCULO DOS ÍONS DE COBRE REMOVIDO DE 300,0 ml DE AGUARDENTE APÓS TRÊS UTILIZAÇÕES DA RESINA AMBERLITE 120 Na E A RESINA AMBERLITE 252 Na.....	48
TABELA 7	COMPARAÇÃO ENTRE A REMOÇÃO DE ÍONS DE COBRE UTILIZANDO CARVÃO ATIVO E RESINA DE TROCA IÔNICA.AMBERLITE 120Na.....	48
TABELA 8	COMPARAÇÃO ENTRE A REMOÇÃO DE ÍONS DE COBRE UTILIZANDO CARVÃO ATIVO E RESINA DE TROCA IÔNICA.AMBERLITE 120 Na.....	49
TABELA 9	EQUAÇÕES DAS REGRESSÕES LINEARES PARA CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+} = 4,0 \text{ mg/L}$ .....	51
TABELA 10	EQUAÇÕES DAS REGRESSÕES LINEARES PARA CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+} = 7,0 \text{ mg/L}$ .....	51

TABELA 11	EQUAÇÕES DAS REGRESSÕES LINEARES PARA CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+} = 9,0 \text{ mg/L}$ .....	51
TABELA 12	EQUAÇÕES DAS REGRESSÕES LINEARES PARA CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+} = 4,0 \text{ mg/L}$ .....	56
TABELA 13	EQUAÇÕES DAS REGRESSÕES LINEARES PARA CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+} = 7,0 \text{ mg/L}$ .....	56
TABELA 14	EQUAÇÕES DAS REGRESSÕES LINEARES PARA CONCENTRAÇÃO DE $\text{Cu}^{2+} = 9,0 \text{ mg/L}$ .....	57
TABELA 15	CÁLCULO DOS ÍONS DE COBRE REMOVIDO DE 300,0 ml DE AGUARDENTE COM CONCENTRAÇÃO INICIAL DE 4,0 mg/L APÓS SETE UTILIZAÇÕES DA RESINA AMBERLITE 120 Na OU A RESINA AMBERLITE 252 Na..	60

## 1. INTRODUÇÃO

A aguardente de cana vem ganhando espaço nas mais diversas classes sociais, sendo responsável por uma grande geração de renda e emprego, entretanto, o regionalismo e a existência de pequenos fabricantes ainda são as principais características do mercado de aguardente e possuem vínculos com tradições da região e, geralmente, reproduzem práticas ultrapassadas, comprometendo a qualidade da aguardente e grande parte destes pequenos alambiques não possui marca registrada. Estes produtos artesanais estão se tornando cada vez mais procurados por consumidores que buscam produtos naturais e de qualidade

A aguardente é definida como bebida tipicamente brasileira sendo obtida do caldo destilado da cana-de-açúcar com graduação alcoólica de 38 a 54% em volume de álcool. Segundo Faria (1989) fermentação do caldo de cana não é exclusivamente alcoólica, ocorrendo normalmente outras fermentações que geram os produtos chamados secundários e que são constituídos principalmente por ésteres, aldeídos, ácidos carboxílicos e álcoois superiores.

São estes produtos que tornam a aguardente de cana diferente de uma simples solução alcoólica, sendo os responsáveis pelo seu odor e sabor típicos. Após a fermentação o caldo, que então recebe o nome de “vinho”, é destilado em alambiques.

Os aspectos gerais de qualidade da aguardente de cana e de seu controle exigem a realização de uma série de análises físico-químicas para designação de sua boa qualidade. Uma dessas análises é a que caracteriza a existência de sais de cobre, que assume grande importância na qualidade final do produto. No Brasil a quantidade máxima de  $\text{Cu}^{2+}$  permitida é de 5 mg por litro de aguardente (BRASIL, 1997). A legislação de alguns países do hemisfério norte estabelece um limite inferior a 2,0 mg/L de íons cobre nos destilados alcoólicos (MIRANDA, et al, 2007).

O cobre é um dos principais elementos traços presentes no corpo humano. Encontra-se distribuído por todo o organismo, mas em diferentes concentrações, o que indica a sua importância. Embora um organismo adulto necessite da ingestão diária de 2 a 5 mg de cobre, associa-se a algumas enzimas e proteínas e são essenciais para a absorção de ferro para a biossíntese de hemoglobina (BOZZA,2000; AZEVEDO et al.,2003).

Entretanto uma ingestão em excesso desse metal pode provocar lesões em vasos capilares, no fígado e nos rins, além da chamada “doença de Wilson”, que é causada pelo acúmulo de cobre nos tecidos. (SARGENTELLI et al., 1996). Assim sendo, os produtores

devem ficar atentos com relação aos teores de cobre presentes em suas aguardentes para evitar a ingestão excessiva desse metal.

Segundo BOZZA (2000), a presença de cobre nas bebidas destiladas tem sido um dos problemas à sua produção, pois desde o início da produção de bebidas fermento-destiladas, o cobre é o material mais utilizado nas construções de alambiques devido a inúmeras vantagens que apresenta, como: resistência à corrosão, boa condução de calor, durabilidade, entre outras. Além disso, quando a aguardente é fermentada e destilada em recipientes constituídos por outros materiais como o aço inoxidável, alumínio e porcelana, verificou-se que o produto obtido contém compostos sulfurados, sendo a bebida resultante de baixa qualidade organoléptica.

A aguardente pode ser contaminada por sais de cobre que provêm da ação corrosiva da bebida junto às paredes metálicas dos destiladores e, especialmente, às dos tubos dos sistemas de condensação e de refrigeração dos vapores produzidos na destilação (FARIAS, et al, 1998).

O metal constituinte do equipamento, quando exposto ao ar úmido contendo gás carbônico, se oxida lentamente, ficando coberto por uma camada esverdeada de azinhavre [ $\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2$ ], carbonato básico de cobre. Esta camada é então dissolvida pelos vapores alcoólicos contaminados com ácidos carboxílicos, gerados durante o processo de destilação da aguardente, o que acaba contaminando o produto (GARBI, BOGUSZ, MONTANO,2003).

Para evitar a contaminação da bebida por este metal CANTÃO (2006) recomenda que antes da primeira destilação, deve-se limpar o sistema com suco de limão à água (ácido cítrico), à base de 5 litros para cada 100 litros de água. Assim, essa solução removerá o azinhavre do alambique, principalmente aquele existente no interior da serpentina de condensação dos vapores hidroalcoólicos.

O cobre pode ser retirado da aguardente por meio de diversos adsorventes, entre eles destacam-se o carvão ativo e as resinas de troca iônica. O Carvão ativo é um material poroso de origem natural. Sua principal característica, e que o define, é a grande área superficial interna desenvolvida durante a ativação, formada por milhares de poros (CARBOMAFRA,2007). Esta característica confere a este material uma elevada capacidade na remoção de íons metálicos, devido à ocorrência significativa de grupos funcionais superficiais com afinidade para esses adsorvatos (PERUZZO,2003).

Os carvões ativos pulverizados, devido à sua versatilidade, podem ser usados na maioria das aplicações em fase líquida ou então quando existem dificuldades operacionais para a utilização em colunas e necessitam de equipamentos simples (MARTON, 2005).

Outra alternativa para remoção dos íons de cobre é a utilização de resinas de troca iônica. Segundo MARTON (2005), as resinas de troca iônica são polímeros sintéticos de natureza complexa, que permitem remover íons não desejáveis de uma solução problema por aqueles que se encontram saturando os grupos funcionais da resina. As reações de troca iônica são estequiométricas, reversíveis e possíveis de fabricação com qualquer composto ionizável. A natureza reversível da reação permite o repetido uso de resinas desde que estas não sofram mudanças substanciais da estrutura.

De acordo com LIMA (2005), resinas seletivas e de alta pureza estão sendo usadas para a remoção de metais, considerados contaminantes em certos alimentos, bem como no tratamento da água potável.

O objetivo deste trabalho é quantificar a remoção dos íons cobre presentes na aguardente utilizando carvão ativo e resinas iônicas e a quantidade de vezes que uma mesma carga de resina e carvão ativo podem ser utilizados para atingir os limites legais de  $\text{Cu}^{2+}$  na aguardente. Assim como verificar a influência do tempo de contato durante a utilização das resinas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 CANA DE AÇÚCAR

Vários vegetais produzem açúcar, mas de todos o que apresenta melhor percentagem industrial de extração é a cana-de-açúcar representada na figura 1. Esse vegetal pertence à classe das Monocotiledôneas, ordem: *Cyperales*, família: *Poaceae* e gênero: *Saccharum* (CASAGRANDE, 1991).



FIGURA 1 - Cana de Açúcar

A cana de açúcar é uma planta ereta, perene, rizomatosa, formando touceiras. O colmo é cilíndrico, de coloração variável, internamente primário e amplamente disperso. Os entrenós são retos ou em zigue-zague. Possui espessura e formas muito variadas, podendo estar ou não revestida<sup>1</sup> com camada cerosa (CASAGRANDE,1991).

As folhas são simples, alternadas, estreito-lanceoladas com o ápice alongado nas flores, praticamente destituídas de perianto e protegidas de brácteas e bractéolas secas, reunidas em típicas inflorescências. O fruto é seco do tipo cariopse e com semente de endosperma abundante (MARAFANTE,1993).

Os açúcares são produzidos nas folhas, durante processo de fotossíntese, através da utilização dos nutrientes absorvidos pelas raízes conduzidos até o colmo (MARAFANTE,1993).

Segundo Ribeiro e Prado (1997), a composição química da cana-de-açúcar é variável, já que fatores como condições climáticas, propriedades físicas, químicas e microbiológicas do solo, tipo de cultivo, variedade, idade, estágio de maturação, entre outros fatores, atuam nessa composição.

<sup>1</sup> Bráctea: folha modificada que apresenta uma flor ou inflorescência na região axilar.

Cariopse: fruto simples, seco, de semente única, cujo o segmento está fundido ao pericárpio, típico das gramíneas.

Perianto: conjunto de envoltórios florais.

A cana-de-açúcar é composta pelos elementos: hidrogênio, oxigênio e carbono (99%). A distribuição no colmo, em média é de: 74,5% em água, 25% em matéria orgânica e 0,5% de matéria mineral.

O caldo, solução impura e diluída de sacarose, glicose e frutose, é constituído de água e sólidos solúveis (açúcares, não açúcares e compostos inorgânicos). A sacarose tem valor médio de 14%, enquanto os demais, dependendo do estágio de maturação, 0,2 % (frutose) e 0,4%(glicose). Esses carboidratos que constituem o açúcar total, quando expressos em glicose, apresentam teores de 15 a 16%.

Os compostos orgânicos não-açúcares são constituídos de substâncias nitrogenadas (proteínas, aminoácidos, etc.), gorduras, ceras, pectinas, ácidos (málico, succínico, aconítico, etc.) e de matérias corantes (clorofila, sacaretina e antocianina).

As substâncias inorgânicas, representadas pelas cinzas, têm como componentes principais: sílica, potássio, fósforo, cálcio, sódio, magnésio, enxofre, ferro e alumínio (RIBEIRO e PRADO, 1997).

Essas características da matéria-prima exigem um perfeito entrosamento e harmonia nas diversas etapas, do processo: do corte nos campos à moagem na fábrica. É necessário observar a maturação da planta para que o corte seja feito no período certo, bem como o transporte adequado em tempo hábil para que a moagem da matéria-prima não exceda o prazo previsto, visto que o não atendimento desse “prazo” acarreta a inversão da sacarose reduzindo o rendimento industrial à moagem na fábrica (SANTOS, 2004).

Conclui-se que, na preparação da safra, devem ser planejados e calculados todos os fatores, tais como: tempo, distâncias, meios e vias de transportes, a fim de que haja solução de continuidade na moagem e que o produto obtido atinja as características desejáveis que são, teor alcoólico e baixa produção de metanol.

## 1.1 HISTÓRICO

A cana-de-açúcar foi trazida ao Brasil em 1532 por Martim Afonso de Souza que a introduziu, na Capitânia de São Vicente (MUTTON, 1992). Entretanto deve-se aos escravos a descoberta de um produto derivado da cana-de-açúcar. Nos engenhos, os escravos observavam que o caldo que ficava no moinho fermentava e tornava-se um líquido diferente, de gosto agradável, e cuja ingestão causava embriaguez, ajudando-os a esquecer temporariamente as amarguras da escravidão (CARDOSO,2001).

Os senhores de engenho perceberam que esse líquido, quando consumido pelos escravos, era capaz de eliminar a sensação de fome, além de provocar animação, resultando em maior produtividade, por isso, inicialmente a aguardente era reservada aos escravos, como meio de estimulá-los ao trabalho e como paliativo para a fome .

Com o tempo e com o aprimoramento da produção da aguardente, o produto passa a ter mercado consumidor, ganhando importância econômica para o Brasil colônia (CARDOSO, 2001).

A produção e o consumo da aguardente era, porém, uma ameaça aos interesses portugueses já que preferiam importar a bebida Bagaceira. Quando a metrópole percebeu que o consumo da bagaceira diminuía e da aguardente aumentava, ocorreu a proibição da venda (1635) e, em 1639, tentaram impedir sua fabricação.

A aguardente, evoluiu posteriormente como produto tradicional do meio rural e de cidades do interior e até há pouco tempo não era consumida pelas classes sociais mais abastadas.

A divulgação da bebida, até há mesmo pelo êxodo rural levou para a cidade o gosto interiorano da bebida dos escravos. Assim, de bebida consumida pelos habitantes de renda mais baixa, a aguardente de cana passou a ser procurada pelas classes de renda mais elevadas e nos grandes centros, o que vem contribuindo para a demanda cada vez maior do produto, em quantidade e qualidade (RIBEIRO, PRADO, 1997).

## 1.2 PRODUÇÃO

A produção de aguardente abrange as seguintes etapas: colheita, carregamento, recepção e descarregamento, moagem, filtração e decantação, preparação do mosto, correção do mosto, fermentação e destilação, que serão analisadas a seguir.

### 1.2.1 Colheita

O produtor deve escolher as variedades que melhor se adaptem ao solo ( SP 79-1011, SP-80-1842, RB-72-454 maturação média, alto teor de sacarose, média exigência em fertilidade do solo), período de safra e clima de sua região, levando-se em conta as características de produtividade, riqueza em açúcar e facilidade de fermentação. A cana-de-açúcar deve ser colhida madura, com teor de açúcar superior ou igual a 16° Brix, podendo ser cortada manual ou mecanicamente.

Apesar de ter como objetivo facilitar a colheita aumentando o rendimento do cortador, a prática de queimar os canaviais é prejudicial à qualidade da aguardente, pois tal conduta acelera a deterioração da cana-de-açúcar, ainda no campo, pela inversão mais rápida da sacarose em glicose e frutose. Além disso, acarreta o acúmulo de cinzas nas dornas de fermentação, interferindo negativamente no processo fermentativo (LIMA, 1975).

O corte manual é realizado com o auxílio do podão de cana (facão especial) e deve ser bem rente ao solo, propiciando um melhor aproveitamento da cana e, principalmente, uma melhor brotação da soqueira, além da prevenção ao ataque de pragas e moléstias. A parte superior do colmo deve ser eliminada devido à baixa riqueza de sacarose.

O corte mecânico está substituindo o manual em função das vantagens econômicas e ambientais. É feito por máquinas cortadoras (colheitadeiras), as quais cortam e despontam a cana.

A cana, cortada mecanicamente em toletes, deve ser processada imediatamente após o corte (NOGUEIRA e VENTURINI, 2005). Processo de natureza enzimática, química ou microbiológica, que resulta na redução gradativa da qualidade da matéria-prima e dos teores de sacarose, propiciando a formação de compostos indesejáveis, como por exemplo a inversão da sacarose (MUTTON, 1992).

### **1.2.2 Carregamento, Recepção e Descarregamento**

Para o carregamento da cana-de-açúcar, são utilizadas as colhedadeiras mecânicas, elas cortam, picam, limpam sopram para longe as palhas, poeiras e outras impurezas, possuem comandos hidráulicos que permitem regular a altura das lâminas de corte tanto em cima como embaixo com a finalidade de aproveitar o pedaço de melhor teor de sacarose, o objetivo está em deixar o menor tronco de cana onde a concentração de sacarose é mais elevada (NOGUEIRA e VENTURINI, 2005)

O carregamento da cana-de-açúcar cortada manualmente é feito por meio de guindastes assentados sobre tratores (carregadeiras). O maior inconveniente desse sistema é o transporte de grande quantidade de matéria estranha juntamente com a cana, como folhas, terra e pedras.

O transporte da cana-de-açúcar para processamento, deve ser realizado, o mais rápido possível ou logo após o corte. O transporte é realizado por caminhões.

O corte e o transporte têm que funcionar absolutamente entrosados não só por causa da possibilidade da redução de açúcares, como também pelo fato de não haver soluções de

continuidade no abastecimento das moendas, evitando paradas desnecessárias, prejudiciais e antieconômicas. É extremamente necessário um absoluto planejamento nessa operação inicial que abrange campo, plantio, corte e transporte.

Outro cuidado a ser observado está relacionado ao armazenamento da cana-de-açúcar, que não poderá ficar mais de 24 horas e em locais inadequados, pois ocasionam perdas do teor de açúcar por respiração e transpiração.

No colmo, mesmo após o corte, o processo de respiração tem continuidade, ocasionando perda de água e, conseqüentemente, uma queda no peso e um aumento no 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 à custa dos açúcares.

Os microorganismos presentes na cana, após o corte, multiplicam-se, provocando a queda do pH e o aumento da acidez volátil, sendo prejudicial no desenvolvimento da fermentação.

A cana picada (colhida mecanicamente) não deve ser armazenada, por estar sujeita a uma deterioração mais rápida, em relação as canas inteiras (MUTTON, 1992).

### **1.2.3 Moagem da Cana**

A cana deverá ser moída num prazo de 24 a 36 horas após o corte, evitando assim a deterioração do caldo, devido à inversão da sacarose.

O preparo da cana para a moagem consiste em picar e desintegrar a cana, rompendo as células que contém o caldo rico em açúcares.

Essa operação facilita a extração do caldo pela moagem, aumenta a capacidade das moendas e produz um bagaço de melhor aceitação a embebição (adição de água ao bagaço para melhor extração da sacarose).

Por meio das moendas (constituídas de 3 cilindros ranhurados, cujos centros ligados, formam um triângulo isósceles), separa-se o caldo do bagaço da cana. A extração consiste em passar a cana por meio dos cilindros (LIMA,2001).

### **1.2.4 Filtração e Decantação**

Na saída da moenda, o caldo deverá passar por uma peneira, para retirada de impurezas, em especial os bagacilhos e terra originados na moagem. Os bagacilhos favorecem as infecções durante a fermentação e também a formação do furfural, substância indesejável para a qualidade da aguardente.

A terra é veículo dos microorganismos do solo, sendo um constante inoculador de contaminantes. A seguir, o caldo é decantado o que possibilita a remoção das impurezas mais finas, como os resíduos de terra (CABRAL, KREMER, TROSSINI,2006).

### 1.2.5 Preparação do Mosto

Denomina-se mosto, todo líquido açucarado apto a sofrer fermentação (LIMA,2001). Assim, depois de decantada, a garapa,(caldo da cana-de açúcar) é transferida para o tanque de preparação do mosto, onde ocorre a padronização do caldo por meio da determinação do Brix. Uma boa fermentação ocorre com o caldo de cana numa concentração de açúcares entre 14 e 16° Brix e numa temperatura de 30°C. Normalmente, o caldo da cana moída apresenta uma concentração entre 15 e 22° Brix, devendo o produto ser diluído (LIMA,1975).

Um caldo rico em açúcares, acima de 15 a 16° Brix, dificulta o processo e está sujeito a uma fermentação lenta e incompleta pois o fermento, que transforma os açúcares do caldo em etanol, têm certa tolerância ao álcool no mosto mas, acima de certo grau as leveduras são inibidas e parte do açúcar não é fermentado. Por outro lado, se a concentração de açúcar for muito baixa, inferior a 10° Brix, tem-se um volume demasiado de mosto exigindo maior número de dornas para fermentação. Além disso, a destilação também será prejudicada, torna-se mais lenta, com produção de maior quantidade de vinhaça (vinhoto)<sup>2</sup>, acarretando o aumento no consumo de energia e por extensão a elevação dos custos de produção (MUTTON, 1992).

### 1.2.6 Correção do Mosto

O caldo de cana é um meio propício para o desenvolvimento das leveduras da fermentação alcoólica (*Saccharomices cerevisiae*), que crescem melhor em meio ácido com um pH em torno de 4,5. De modo geral a acidez elevada do fermento (pé-de-cuba) pode ser suficiente para correção do meio (LIMA, AQUARONI e BORZANI,2001).

Quando se trabalha diretamente com caldo de cana, faz-se uma correção para oferecer a levedura condições de nutrição que normalmente não se encontram no caldo. Juntam-se fosfatos, sais de amônio e vitaminas. Além dos nutrientes, adicionam-se anti-sépticos e ajusta-se a temperatura.

A temperatura é um dos fatores de grande importância para bom desenvolvimento dos microorganismos responsáveis pelo processo de fermentação e deve estar em torno de 30°C.

---

<sup>2</sup> Vinhaça: resíduo proveniente da destilação do álcool.

À medida que se afasta dessa temperatura, quer para mais ou para menos, as condições de vida das leveduras ficam prejudicadas. Ocorrendo queda de temperatura a atividade da levedura apenas se reduz, enquanto que nas temperaturas superiores, as leveduras enfraquecem, favorecendo o desenvolvimento de microorganismos que causam infecções e maior perda de álcool por evaporação (LIMA, BORZANI,2001).

Na maioria das destilarias, que iniciam a safra nos meses mais frios (maio-junho), a temperatura do mosto oscila em torno de 15°C. Nessas condições, o caldo necessita de um prévio aquecimento, que pode ser realizado por meio de vapor na dorna. No decorrer do processo, a própria fermentação (exotérmica) encarrega-se da manutenção e, mesmo, aumento da temperatura.

No decorrer da safra, quando a temperatura do ambiente aumenta não há necessidade do aquecimento do caldo, pelo contrário, há a necessidade de resfriamento durante a fermentação. Assim, as dornas de fermentação possuem canalizações em serpentinas, onde circula a água de refrigeração (NOGUEIRA E VENTURINI, 2005).

### **1.2.7 Fermentação**

A fermentação é o processo em que as leveduras transformam os açúcares do mosto em etanol e gás carbônico. Entretanto, dependendo de como essa transformação é realizada, pode-se obter maior ou menor quantidade de aguardente e produto de melhor ou pior qualidade.

A fermentação é iniciada pela adição da levedura (pé de cuba<sup>3</sup>) ao caldo de cana, na dorna de fermentação.

Segundo MUTTON (1992), a fermentação é dividida em três fases: fermentação preliminar, fermentação principal e fermentação complementar.

#### **a) Fermentação Preliminar (Pré -Fermentação)**

Nessa fase, observa-se que o consumo de açúcares resulta em predominante multiplicação das leveduras, devido à grande quantidade de oxigênio. Não há produção de álcool, sendo o início do desprendimento de CO<sub>2</sub> e a elevação da temperatura é muito pequena.

#### **b) Fermentação Principal (Tumultuosa)**

---

<sup>3</sup> Para que se tenha uma fermentação sadia, regular e de alto rendimento, torna-se necessário introduzir no mosto uma quantidade grande de fermentos de boa qualidade. Essa inicial de levedura chama-se de inóculo, pé de cuba, pé de fermentação ou lêvedo.

A fermentação principal é iniciada quando o oxigênio do mosto termina. Ocorre um desprendimento intenso de CO<sub>2</sub> e formação rápida de etanol, uma elevação rápida da temperatura e dos teores de ácidos, formação de espumas e redução significativa da densidade do mosto em fermentação, pela transformação dos açúcares em álcool e outros compostos líquidos. Observa-se um aroma característico, semelhante ao de maçãs maduras.

#### c) Fermentação Complementar (Pós-fermentação)

Finalmente na fermentação complementar verifica-se aumento da acidez, redução da temperatura e do desprendimento de CO<sub>2</sub>, em virtude de menor formação de etanol e devido ao esgotamento do meio. O mosto, agora é denominado vinho, cuja superfície fica tranqüila e limpa de espumas.

Essa fase termina quando ocorre uma paralisação total do desprendimento de gás carbônico e a volta da temperatura normal.

Durante a fermentação alcoólica, ocorre também a formação de produtos secundários, tais como: glicerol, ácido acético, ácido succínico, acetoína, 2,3 butanodiol e acetaldeído. esses produtos contribuem para o sabor e aroma final da aguardente (LIMA, 1975).

Segundo Cardoso (2001), as quantidades de produtos secundários formados podem influenciar na qualidade do produto final, conforme descrito abaixo:

- **Ácido Acético:** A alta acidez presente em aguardentes pode ser atribuída à contaminação da cana ou do próprio mosto por bactérias acéticas, seja na estocagem da cana ou na garapa. Essa contaminação faz com que parte do substrato sofra fermentação acética, assim, a acidez, diminui o rendimento da produção do etanol, além do aparecimento de turvação e aromas desagradáveis na bebida.
- **Aldeídos:** São originados da ação das leveduras durante estágios preliminares do processo de fermentação, principalmente o acetaldeído, que se transforma por oxidação a ácido acético. São compostos muito voláteis, de odor penetrante, que afetam o aroma das bebidas alcoólicas.
- **Ésteres:** Responsável pelo aroma típico, agradável, pungente e suave que a aguardente adquire com o envelhecimento, por isso contribuem para a formação do buquê. O principal éster encontrado na aguardente é o acetato de etila que, em pequenas quantidades, incorpora um aroma agradável de frutas; no entanto, em grandes quantidades, confere a aguardente um sabor indesejável e enjoativo.

- Alcoóis Superiores: São alcoóis com mais de dois átomos de carbono formados durante o processo oxidativo. São provenientes, em grande parte, das transformações dos aminoácidos durante o processo de fermentação. Os alcoóis com até cinco átomos de carbono apresentam odores característicos (buquê) tradicionalmente associados a bebidas destiladas. São responsáveis diretos pelo odor da bebida, possuindo aromas característicos. Com o aumento do número de carbonos, o aroma modifica-se e os alcoóis tornam-se oleosos; alguns lembram fortemente o aroma de flores. Esse excesso origina o óleo fúsel, o que diminui o valor comercial e a qualidade da aguardente (VILELA, et al, 2007).
- Metanol: É um álcool indesejável na aguardente, originado da degradação da pectina. A molécula de pectina é um composto formado por centenas de moléculas de ácido galacturônico, que possuem fragmentos de moléculas de metanol, as quais são liberadas durante o processo de fermentação.

Geralmente o processo fermentativo tem duração média de 12 a 24 horas e o acompanhamento da fermentação é feito por meio de medições no teor °Brix, da temperatura, do tempo da fermentação, do odor característico, da acidez e do pH.

Cessada a fermentação, deixa-se o vinho em repouso por duas ou três horas para a sedimentação da levedura. Em seguida, retiram-se quatro quintos do vinho, que vai para o alambique e o quinto restante na dorna funciona como pé-de-cuba na operação seguinte.

### 1.2.8 Destilação

É um processo físico. Consiste da passagem da fase líquida de uma substância ou mistura, sob aquecimento, ao estado gasoso, que em seguida, retorna ao líquido por meio de resfriamento (LIMA et al., 2001).

Os aparelhos de destilação usados na obtenção de bebidas destiladas são, na maioria, construídos de cobre, metal bem maleável, bom condutor de calor, resistente ao desgaste físico, apresentando grande influência na formação de sabor e aroma do produto.

As reações entre o produto e as superfícies de cobre do destilador são especialmente importantes, pois são capazes de remover muitos produtos desagradáveis presentes, pois o metal atua como catalisador de reações de

oxirredução, nas quais compostos sulfurados voláteis transformam-se em compostos insolúveis, enquanto a crosta cúprica formada na superfície da chapa, exposta aos vapores do destilado, catalisa a esterificação dos ácidos orgânicos pelo álcool bem como a redução e a conseqüente remoção de sulfetos orgânicos e mercaptanas (CANTÃO, 2006).

O vinho possui composição complexa, apresentando componentes sólidos (açúcares não fermentados, sais minerais, substâncias nitrogenadas, pectina, células de levedura e bactéria, bagacilho, argila), líquidos (água, etanol, representando 99% do total de líquidos) e gasosos (principalmente gás carbônico) submetido ao processo de destilação, resultam duas frações denominadas de flegma e vinhaça ou vinhoto (MUTTON, 1992).

Segundo Nogueira E Venturini (2005), o vinho destilado em alambiques é separado pelo processo de “cortes”, e o critério para os cortes são a temperatura dos vapores no domo do alambique (para o destilado de cabeça) e o teor alcoólico do destilado (para encerrar a retirada do destilado de coração). Durante a destilação, os compostos são separados de acordo com o ponto de ebulição característico de cada um.

Conforme CANTÃO (2006) O destilado é recolhido em três frações:

- Cabeça : obtém-se o primeiro destilado que é uma mistura de água, metanol, acetaldeído, acetato de etila, etanol, sendo chamado de “destilado de cabeça”. Corresponde a 8% - 10% do destilado e possui teor alcoólico acima de 65%, devendo ser desprezada.
- Coração: é a segunda fração, corresponde a 80% do destilado. 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°GL na caixa de recepção, quando então se efetua o “corte”.
- Cauda: é a terceira fração; corresponde de 8% a 10% do total do destilado. A fração do destilado recolhida após o corte, de riqueza alcoólica mais baixa é denominada de “água fraca” ou “destilado de cauda”, o qual posteriormente, poderá ser adicionado ao vinho a ser destilado, para aumentar o seu rendimento, ou armazenar à parte, para posterior destilação.

O resíduo remanescente no alambique é chamado de vinhaça ou vinhoto, sua riqueza alcoólica deve ser nula, porém, nela acumulam-se todas as substâncias fixas do vinho, sendo utilizada na lavoura como fertilizante (SANTOS, 2004).

Logo após a destilação, a aguardente não deverá ainda ser comercializada, pois apresenta um buquê irregular. Há necessidade de um período de descanso de dois a três meses para completar sua qualidade, sendo guardada em recipientes apropriados, em local fresco e protegida, evitando altas temperaturas (CARDOSO et al, 1998).

O fluxograma do processo de produção de aguardente da cana-de-açúcar está representado na figura 2.

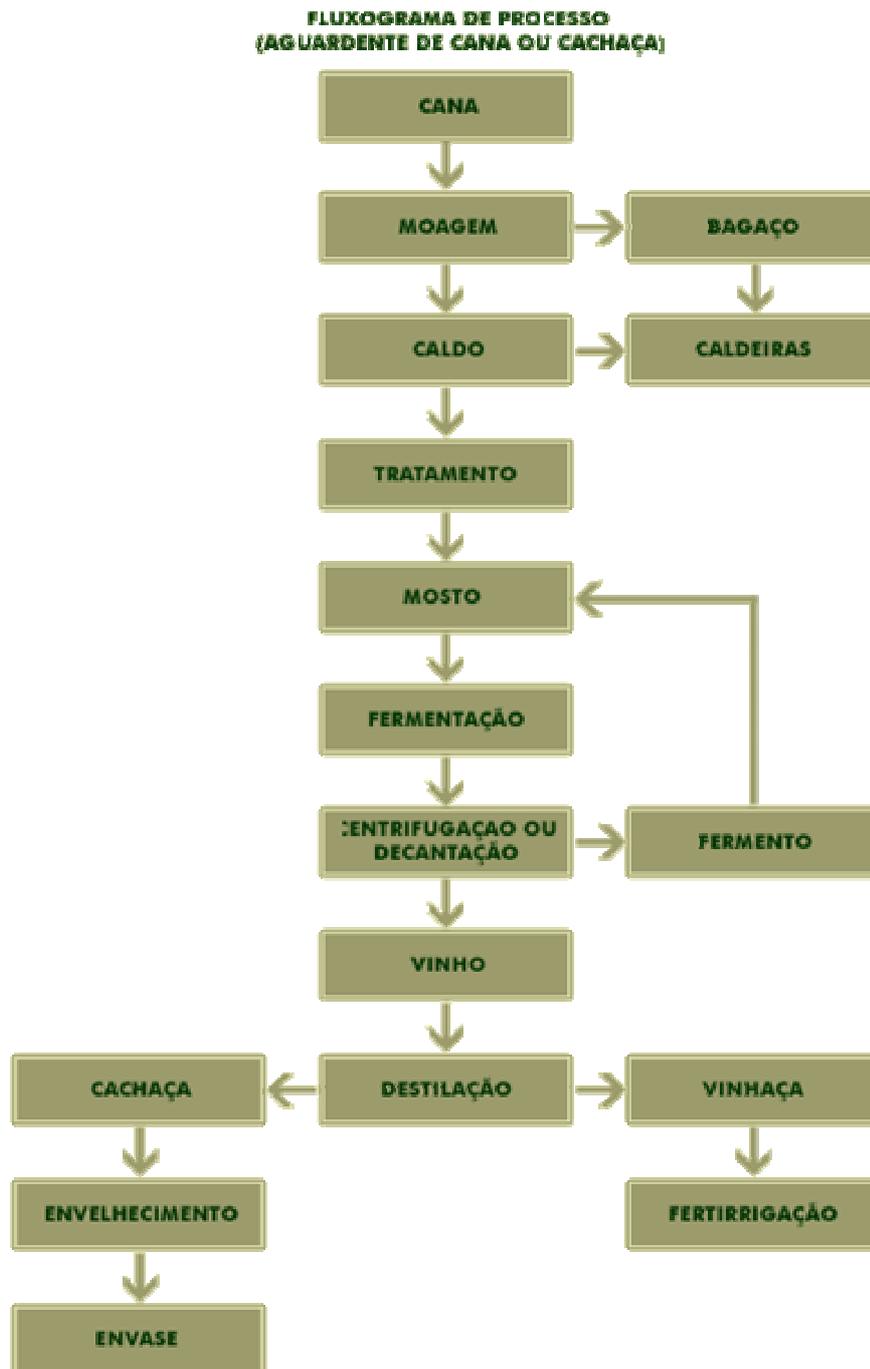


FIGURA 2 – Fluxograma do processo de produção de aguardente de cana-de-açúcar (Carvalheira, 2009).

## 2.4 PADRÃO DE IDENTIDADE E QUALIDADE DA AGUARDENTE

A aguardente de cana-de-açúcar tem sua composição normatizada pela Instrução Normativa nº13 de 30 de junho de 2005 (BRASIL, 2005), como sendo uma bebida com graduação alcoólica de 38% a 54% em volume, a 20°C, obtida do destilado alcoólico simples de cana-de-açúcar ou pela dissolução do mosto fermentado de cana-de-açúcar, podendo ser adicionada de açúcares até 6 gramas/litro, expresso em sacarose.

A aguardente de cana deve se enquadrar no Padrão de Identidade e Qualidade, com base na legislação brasileira, de responsabilidade do MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), foram definidos como descritos na tabela 1.

Tabela 1 – Padrão de Identidade e Qualidade da Aguardente de Cana-de-Açúcar.

Componente	Unidades	Limite	
		Mín.	Max.
Graduação alcoólica de aguardente	% em volume de álcool etílico a 20°C	38	54
Acidez volátil em ácido acético	Mg/100 ml álcool anidro	-	150
Ésteres em acetato de etila	Mg/100 ml álcool anidro	-	200
Aldeídos em aldeído acético	Mg/100 ml álcool anidro	-	30
Furfural	Mg/100 ml álcool anidro	-	5
Alcoóis superiores	Mg/100 ml álcool anidro	-	360
Metanol	Mg/100 ml álcool anidro	-	20
Cobre	Mg/L	-	5

Fonte: BRASIL, 2005.

Foram também definidas quantidades máximas permitidas de alguns contaminantes não mencionados na tabela acima, como carbamato de etila (150 µg/L), acroleína (5 mg/100 ml de álcool anidro), álcool sec-butílico (10mg/100ml de álcool anidro), álcool butílico (3 mg/100 ml de álcool anidro), chumbo ( 200 µg/L ) e arsênio ( 100 µg/L ).

## 1.5 COBRE NO ORGANISMO HUMANO

O cobre é um metal essencial para plantas e animais, porém pode se transformar em um problema em função da sua bioacumulação. É considerado um metal pesado justamente por essa característica: a de se acumular no organismo e gerar possíveis reações tóxicas (COZZOLINO, 2007).

O cobre é um metal de transição com três estados de oxidação:  $\text{Cu}^0$  (metal),  $\text{Cu}^{1+}$  (íon cuproso) e  $\text{Cu}^{2+}$  (íon cúprico). O íon cúprico é o que ocorre mais frequentemente nos compostos de cobre. Este íon prevalece no meio ambiente e é o mais tóxico dentre os três para o organismos vivos.

A toxicidade do cobre para os organismos vivos está diretamente relacionada com a capacidade que esse metal possui de adicionar-se às enzimas, em especial, aquelas enzimas cuja atividade depende de grupamentos amina e sulfidrilas, uma vez que o cobre, assim como os outros metais tóxicos, tem uma afinidade grande por ligantes doadores de elétrons, contendo oxigênio e enxofre. Além disso, os ácidos nucleicos podem ser alvos da ação tóxica do cobre (VIEIRA; MENDONÇA, 2005).

O cobre apresenta um papel funcional nos seres humanos, e encontra-se distribuído em praticamente todo o organismo em diferentes concentrações, sendo que uma das principais atividades biológicas do cobre é a sua participação como co-fator ou por formar parte da estrutura de múltiplos sistemas enzimáticos como cupro-enzimas.

A maior parte dessas enzimas catalisam a transferência de elétrons e são denominadas oxiredutases, o cobre atua como elemento intermediário nas chamadas reações de redox. (COZZOLINO, 2007).

O cobre atua também como elemento importante nos mecanismos que regulam a expressão genética, pois a entrada do cobre no núcleo celular permite sua ligação a algumas proteínas modificando a estrutura da proteína que então interage com os genes reguladores.

O conteúdo total do elemento no organismo de um adulto saudável varia 100 a 150 mg, a maior parte encontram-se no fígado, que junto com os músculos e ossos contém de 50 a 75% do total do cobre corpóreo.

O cobre é um micronutriente necessário para o crescimento, mecanismos imunológicos de defesa, resistência óssea, maturação das células vermelhas e brancas, transporte de ferro, metabolismo da glicose e colesterol, contratilidade miocárdica e desenvolvimento cerebral (COZZOLINO, 2007).

Apesar da grande importância do cobre no corpo humano, seu excesso no organismo é nocivo, pela interferência nas atividades catalíticas normais de algumas enzimas.

O metal é encontrado em carnes, frutos do mar, em muitos vegetais, cereais e nozes. Estima-se que, na dieta, são necessários de 2 a 5 mg de cobre por dia (SARGENTELLI et al., 1996)

O cobre assimilado no organismo é, então, distribuído para os tecidos, soro, glóbulos e fígado. Esse processo é chamado de fluxo normal de cobre. Pequenas mudanças podem ser desprezíveis e não levam a maiores complicações. Todavia, grandes distúrbios e até doenças podem ser decorrentes tanto do excesso como também da falta de cobre (hiper e hipocupremia, respectivamente).

A mais conhecida enfermidade decorrente dos distúrbios do metabolismo do cobre é a degeneração hepatolenticular ou doença de Wilson que, a primeira vista, parece tratar-se de um caso de hipercupremia. Os sintomas apresentados pelo paciente são: peso do lado direito do corpo (dilatação da cápsula do fígado), dores ao correr e andar (alterações musculares), mudança da cor da pele para amarelo (alteração da função bioquímica do fígado), e tremores fortes nos dedos (alterações nervosas), precipitação do metal nas córneas e pela destruição do fígado e tecido nervoso(VIEIRA E MENDONÇA, 2005).

Casos de hipocupremias podem ocorrer na infância. Crianças pequenas que param de crescer, apresentando sintomas neurológicos e de hemoglobina baixa, são exemplos. Não se trata de uma enfermidade grave e sim de uma síndrome decorrente da falta de cobre não assimilado pelo organismo em crescimento, isto é, o organismo não assimila o cobre proveniente dos alimentos, excretando-o diretamente (SARGENTELLI et al., 1996).

O excesso de ingestão de íons de cobre pode ser considerado como um fator de risco na epilepsia, no melanoma e na artrite reumatóide. Essas três enfermidades apresentam em comum o fato de provocarem alterações generalizadas e aumentarem a concentração de cobre no plasma sanguíneo, podendo ser consideradas, portanto, como caso de hipercupremia (SARGENTELLI et al, 1996).

## 1.6 CARVÃO ATIVO

O carvão ativo é sintetizado a partir da madeira e vegetais sendo uma forma quase gráfica de carbono, de partículas de tamanho pequeno; apresenta diversas funções tais como: clareador, desodorizador, descolorizador e filtrador.

Como filtro é amplamente utilizado na separação de alguns metais pesados, eficiente na adsorção de muitos pesticidas, e desempenha papel importante no tratamento de água. Fisiologicamente o carvão ativo é recomendado para descontaminação gastro-intestinal de venenos, pois diminui os efeitos de drogas no tratamento de overdose, bem como inibe a ação de alguns fármacos no tratamento digestório. Sua inalação clínica, aumenta a permeabilidade microvascular do pulmão (PAIVA e MENEZES, 2003).

Pode-se produzir carvão ativo a partir de diversos materiais como: madeira, sementes, carvão mineral, coque do petróleo, ossos, cascas de frutas (coco), chifres de animais, entre outros materiais (ALUYOR e BADMUS, 2008).

O carvão ativo pode ser utilizado para remover o excesso de íons cobre na aguardente (CARDOSO, 2001).

É um produto quimicamente inerte e normalmente 100 vezes mais poroso do que o carvão comum, essa porosidade está diretamente ligada à extração que o material sofre na ativação, que consiste em remover as substâncias contidas nos poros obstruídos do carvão comum. Esse processo é realizado em fornos ativadores a uma temperatura de 800°C, utilizando gás carbônico e vapor ou fluído de gás; deixando pontes de ligações abertas no interior dos poros (ACTIVBRAS,2008).

Esse processo de ativação é utilizado para adquirir a melhoria da propriedade de adsorção, causada pelo enorme aumento da área superficial de suas partículas, que pode chegar a 600 a 1200 m<sup>2</sup>/g, que é desenvolvida durante o processo de produção pela oxidação de matérias voláteis, gerando vazios, formando uma rede porosa, que auxiliará na retenção da substância a ser adsorvida.

Uma característica do carvão ativado é que sua superfície é considerada não polar ou ligeiramente polar, resultado da presença de grupos óxidos e impurezas inorgânicas. Devido a essa propriedade apresenta a vantagem de atuar como adsorvente; as cargas elétricas no carvão ativo são muito fracas comparadas a outros adsorventes, ou as cargas positivas e negativas estão muito próximas para exercer um significativo campo elétrico na superfície. Conseqüentemente, a retirada de moléculas adsorvidas é relativamente fácil, requerendo baixa energia para a regeneração do adsorvente (CARDOSO, 2006).

Os carvões ativos pulverizados, devido à sua versatilidade, podem ser usados na maioria das aplicações em fase líquida e necessitam de equipamentos simples (CARBOMAFRA, 2007).

De acordo com a *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC), adsorção pode ser definida como o enriquecimento de um ou mais componentes numa camada

interfacial, ou seja, é um processo de transferência de um ou mais constituintes de uma fase fluida ou gasosa para a superfície de uma fase sólida. É um fenômeno essencialmente de superfície (ANTONIO, 2003). Interações fluído-sólido que envolvem contato entre adsorvente e adsorbato, podem ser físicos ou químicos.

Na adsorção física há uma interação de van der Waals entre o adsorbato e o adsorvente. As interações de van der Waals são de longo alcance mais fracas, e a energia liberada quando uma partícula é adsorvida fisicamente é da mesma ordem de grandeza que a entalpia de condensação. Uma molécula que se desloque sobre a superfície perde gradualmente energia e termina por ser adsorvida (processo de acomodação). A energia liberada é insuficiente para romper as ligações químicas, e por isso uma molécula fisicamente adsorvida retém a sua identidade (ATKINS, 1999). É um processo reversível.

Segundo Luz (2006), atualmente existem inúmeras aplicações envolvendo adsorção tanto física como química. A adsorção física é utilizada quando se deseja separar misturas contendo substâncias de volatilidade relativamente próximas à unidade, substâncias que formam azeótropo e substâncias termolábeis. Alguns exemplos são: a separação de hidrocarbonetos, açúcares, íons metálicos e aminoácidos, isolamento de proteínas, purificação da água, entre tantos outros.

Na adsorção química, as forças são mais intensas, capazes de alterar a estrutura química. Essa forma de adsorção pode ser lenta e irreversível, quando ocorre em temperaturas mais altas, liberando quantidades elevadas de energia (ATKINS, 1999). Uma vez que o adsorbato tenha ultrapassado a camada limite que circunda o adsorvente, o seu transporte passa a ocorrer em seu interior. Este transporte intrapartículas pode se dar por meio da difusão molecular, ao longo dos vazios internos da partícula, como também, por difusão através da superfície interna do adsorvente (CPL-CARBON LINK, 2006).

Segundo Marton (2005), diversos fatores determinam a ocorrência e extensão da adsorção: a área superficial do adsorvente, a temperatura e a pressão no ambiente da reação ou a concentração do adsorbato. A área é um fator determinante da extensão da adsorção. Mantendo-se constante os demais fatores, a quantidade de uma substância adsorvida por outra é diretamente proporcional à área livre do adsorvente, por isso, os adsorventes na forma de pó, são amplamente usados em soluções aquosas.

De acordo com Lima (2005), em função do poder adsorvente do carvão, este pode remover da aguardente, além do cobre, substâncias importantes que são necessárias para dar o sabor e o aroma à aguardente de boa qualidade.

## 1.7 RESINAS TROCADORAS DE ÍONS

As primeiras resinas trocadoras de íons foram desenvolvidas por volta de 1935, apresentando propriedades trocadoras e sendo bastante insolúveis. Essas resinas foram obtidas por condensação de fenóis poliídricos com formaldeídos. A partir de então se deu início a uma nova fase tecnológica de grande amplitude, possibilitando a produção de matrizes de vários graus de porosidade, trocadoras de cátions e ânions.

A filtração em resinas trocadoras de íons é uma outra forma de remoção de cobre contaminante de bebidas alcoólicas.

Segundo Oliveira (1970) experimentos empregando resinas trocadoras de íons foram iniciados com vinhos, no entanto grande parte dos íons é tecnicamente indesejável, como os íons de ferro e cobre causadores da casse<sup>4</sup> Pelo uso de trocadores de íons, conseguiu-se controlar a acidez, assim como a remoção de cobre, ferro, cálcio e anidrido sulfuroso de vinhos. Foi possível, ainda, remover cobre, ferro e acidez volátil de “brandy<sup>5</sup>” utilizando tais resinas colocando-os dentro dos limites legais sem a necessidade de redestilá-las (RIBEIRO; PRADO, 1997).

Algumas controvérsias foram restabelecidas no que se refere à natureza das resinas. Em trabalho comparativo de remoção de cobre de “brandies” com diferentes tempos de envelhecimento pelo tratamento com diferentes resinas trocadoras de íons, a resina catiônica removeu eficientemente o cobre do “brandy” novo nas formas sódica e hidroxilica, entretanto não se obteve o mesmo resultado quando resinas aniônicas foram utilizadas para essa finalidade com esse produto (RIBEIRO e PRADO, 1997).

Observa-se ainda que, embora os tratamentos com resinas trocadoras de íons sejam eficientes na remoção de cobre das bebidas alcoólicas, removem também compostos secundários, contribuindo para a descaracterização das bebidas (OLIVEIRA, 1970; RIBEIRO e PRADO, 1997).

Entende-se, em geral, por troca iônica, a troca de íons de mesmo sinal entre uma solução e um corpo sólido muito insolúvel, em contato com ela. O sólido (trocador de íons) deve conter seus próprios íons para que a troca se processe com rapidez e na extensão suficiente para ter interesse prático, o sólido deve ter uma estrutura molecular aberta, permeável, de modo que os íons e as moléculas da solução possam mover-se para dentro e para fora da estrutura. Os trocadores de íons tem natureza complexa e são, na realidade, polímeros (VOGEL, 1992).

---

<sup>4</sup> Casse: alterações químicas, cuja manifestação final é a mudança de cor, turvação e formação de depósito abundante do vinho, com alteração sensível no sabor, na cor e no perfume.

<sup>5</sup> Brandy: bebida destilada, decorrente da destilação do vinho.

As resinas estão quimicamente estruturadas para manter uma elevada concentração de íons carregados negativa e positivamente para assim atrair os íons contaminantes. As resinas são classificadas como aniônicas e catiônicas dependendo, respectivamente, do caráter básico ou ácido dos grupos iônicos existentes em sua estrutura sólida. Uma resina de troca aniônica apresenta grupos iônicos negativos na sua estrutura e, portanto, efetua troca de ânions com a solução que venha a entrar em contato com elas. As resinas que possuem características semelhantes aos ácidos, ou seja, que possuem hidrogênios ionizáveis são as catiônicas. Essas por sua vez, podem ser divididas em resinas catiônicas tipo ácido forte ou ácido fraco, dependendo unicamente do grupo funcional que a resina possui (FERREIRA, 2006).

Aquelas que possuem grupos terminais semelhantes a  $-\text{SO}_3\text{H}$  ou  $-\text{CH}_2\text{SO}_3\text{H}$ , conferem às resinas propriedades de ácidos fortes e as resinas que possuem grupos terminais  $-\text{COOH}$  apresentam propriedades de ácidos fracos. As que apresentam um comportamento tipo amônio quaternário e as bases fracas possuem grupos funcionais do tipo amino substituído (VOGEL, 1992).

Ainda, segundo Vogel (1992), uma resina catiônica é obtida pela copolimerização do estireno com pequena proporção do divinilbenzeno seguida pela sulfonação.

De acordo com Oliveira (1970), as resinas podem ser orgânicas ou inorgânicas, naturais ou sintéticas. As resinas comerciais (sintéticas) têm uma característica importante: sua formação estrutural é tida como tridimensional, enquanto as naturais são consideradas planas, já que têm sua estrutura baseada em redes. Assim, resinas comerciais teriam uma área de contato superior às naturais.

As resinas sintéticas podem ser do tipo gel, que apresentam uma fase contínua e pequena porosidade. São mais frágeis e, portanto, mais suscetíveis a processos oxidativos, já que têm maior resistência mecânica. Podem ser ainda macrorreticulares, com uma fase descontínua, área superficial maior e grande diâmetro de poros. Portanto, sua estabilidade física é superior quando comparada às de formação do tipo gel, com maior resistência ao atrito. São normalmente usadas em indústrias farmacêuticas, de bebidas, entre outras (LUZ, 2006).

Segundo Vogel (1992), as exigências fundamentais para uma resina ser utilizada em processos de separação/purificação são:

- a) ser suficientemente reticulada para que a sua solubilidade seja desprezível;
- b) ser suficientemente hidrofílica para permitir a difusão dos íons por meio da estrutura;

- c) conter um número suficiente de grupos trocadores de íons acessíveis e deve ser quimicamente estável.
- d) Quando inchadas, devem ser mais densa que água.

Atualmente existem vários tipos de resinas poliméricas. A série Amberlite da Rohm and Haas tem sido muito usada, tanto na impregnação de reagentes quanto em reações de funcionalização ou remoção de substâncias (ANTONIO,2007).

Conforme recomendação do fabricante de resinas ROHM and HAAS ( 2006), a série Amberlite tem sido utilizada na retirada de íons metálicos de soluções aquosas.

A resina Amberlite IR 120Na é do tipo gel, de troca iônica, fortemente ácida com grupos sulfonados, apresenta boa estabilidade térmica, boa cinética de troca iônica e alta capacidade de troca. As resinas de forma gel possuem uma estrutura homogênea e não porosa. A rede polimérica da resina pode inchar em determinados solventes, esses solventes são capazes de dissolver os monômeros, dobrando seu volume em alguns casos (FERREIRA, 2006).

Por sua vez, a resina Amberlite IR 252 Na é do tipo macrorreticular, de troca iônica, com base em poliestireno sulfonado com ligações cruzadas, possui alta capacidade de troca, resistente ao desgaste mecânico. As resinas macrorreticuladas são produzidas a partir de polímeros reticulados. A reticulação diminui as estruturas e modifica as propriedades da superfície da rede polimérica porosa. Essas resinas possuem características de melhor adsorção (FERREIRA, 2006)

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se aguardentes obtidas em supermercados de São Bernardo do Campo (SP) para determinar o teor de cobre presente e para posterior contaminação com sulfato de cobre penta-hidratado (Synth) de tal forma que as concentrações de cobre após a adição deste composto químico atingisse valores iguais a 4,0, 7,0 e 9,0 mg/L.

A quantificação de íons cobre presente nas amostras foram realizadas por meio de medidas espectrofotométricas, em Espectrofotômetro de Plasma – Varian – Vista MPX existente no laboratório de controle de qualidade da Termomecânica São Paulo utilizando um comprimento de onda de 223 nm em chama de argônio conforme descrito pelo procedimento indicado pelo fabricante e utilizado no laboratório da Termomecânica São Paulo (ISO 9001).

Após a contaminação das aguardentes, 8 alíquotas de 300 mL, uma de cada vez, eram vertidas no topo de uma coluna feita com tubo PVC com 30 cm de altura e 2,5 cm de diâmetro e preenchidas com 100 gramas de um dos seguintes materiais: resina de troca iônica com estrutura gel Amberlite 120 Na ou com estrutura macrorreticular Amberlite 252 Na ambas da Rohm and Hass. Essas duas resinas de troca iônica apresentam características catiônica fortemente ácida (grupo funcional  $\text{SO}_3^-$ ), com matriz Estireno Divinil Benzeno. A aguardente tratada era coletada na base da coluna e então realizava-se a análise do teor de cobre utilizando-se a metodologia descrita a seguir (LIMA,2005):

Para realizar os ensaios utilizando tais resinas adotou-se o seguinte procedimento:

- a) Primeiro lavava-se as resinas com água deionizada, para eliminar o excesso de sódio, como indicado pelo fabricante;
- b) Uma alíquota de 300 ml da amostra era introduzida na coluna e recolhida na base desta em um erlenmeyer;
- c) O *item b* era repetido 8 vezes utilizando-se alíquotas de aguardente com a mesma concentração inicial de cobre;
- d) A partir, da 6ª filtração deixou-se um tempo de residência de 30, 60, 90 e 120 segundos;
- e) A seguir, a aguardente recolhida na base da coluna era aquecida até que seu volume fosse reduzido pela metade para que ocorresse a evaporação do álcool;

f) Transferia-se 12,5 ml do líquido obtido no *item d* para um balão volumétrico de 25 ml e completava-se o volume com água deionizada e então era feita a leitura da concentração de íons cobre no espectrofotômetro de plasma.

A título de comparação da eficiência de remoção de íons de cobre utilizou-se também carvão ativo vegetal em pó P.A da LabSynth. Para tanto colocava-se 10 g desse carvão em um funil analítico, para uma filtração simples e então vertia-se 25 mL de uma das aguardentes contaminadas, foram utilizadas 15 alíquotas de 50 ml.

A aguardente coletada era então aquecida para que metade de seu volume evaporasse para evitar que a chama do espectrofotômetro apagasse. A seguir, transferia-se esse volume para um balão volumétrico de 25 mL e completava-o com água deionizada para então realizar a determinação da concentração de íons de cobre.

Com o objetivo de avaliar a influência do tempo de residência no processo de remoção dos íons de cobre da aguardente, realizou-se testes com as resinas parcialmente saturadas, ou seja, as resinas Amberlite 120 Na e 252 Na foram utilizadas cinco vezes seguidas e então essa mesma resina era utilizada mais três vezes com diferentes tempos de residência a saber: 30, 60, 90 e 120 segundos

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Antes de analisar as amostras de aguardente construiu-se uma curva-padrão de cobre (sulfato de cobre penta-hidratado) em matriz etanólica 40% para a calibração do equipamento para avaliar concentrações de cobre entre 0 – 9,0 mg/L, utilizando um comprimento de onda 223 nm em chama de argônio. A figura 3 ilustra a curva de calibração descrita acima e utilizada para obter as curvas que se seguem.

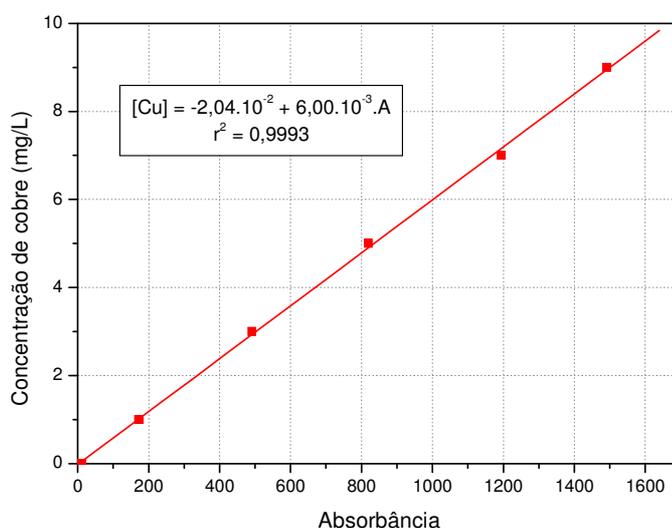


FIGURA 3 – Curva de calibração para determinação da concentração de íons de cobre utilizando um espectrofotômetro de Plasma com chama de argônio.

A equação matemática utilizada para o cálculo da concentração de íons de cobre obtida a partir dos dados experimentais da figura 3 encontra-se apresentada a seguir:

$$[Cu] = -2,04 \cdot 10^{-2} + 6,00 \cdot 10^{-3} \cdot A \quad (1)$$

$$r^2 = 0,9993$$

Nesta equação  $[Cu]$  representa a concentração de íons de cobre em mg/L e  $A$  o valor da absorbância.

As figuras 4, 5, 6 e 7 apresentam as relações entre a presença de cobre na aguardente após o tratamento com carvão ativo e o número de vezes que ele foi utilizado para as três concentrações iniciais utilizadas (4,0, 7,0 e 9,0 mg/L). Para essas três concentrações iniciais de cobre presente na aguardente essas relações podem ser representadas por uma equação de

primeira ordem e os coeficientes angulares, lineares e os coeficientes de correlação encontram-se na tabela 2.

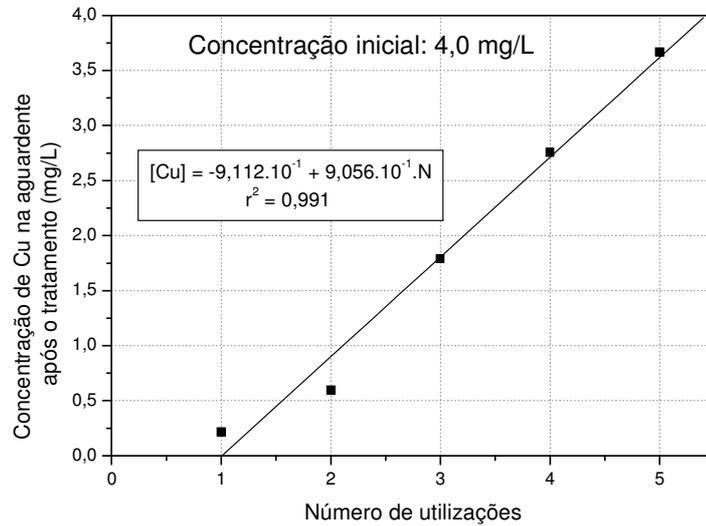


FIGURA 4 – Concentração de cobre presente em aguardente após o tratamento com carvão ativo em função do número de vezes que o carvão é utilizado quando a concentração inicial de cobre era de 4,0 mg/L.

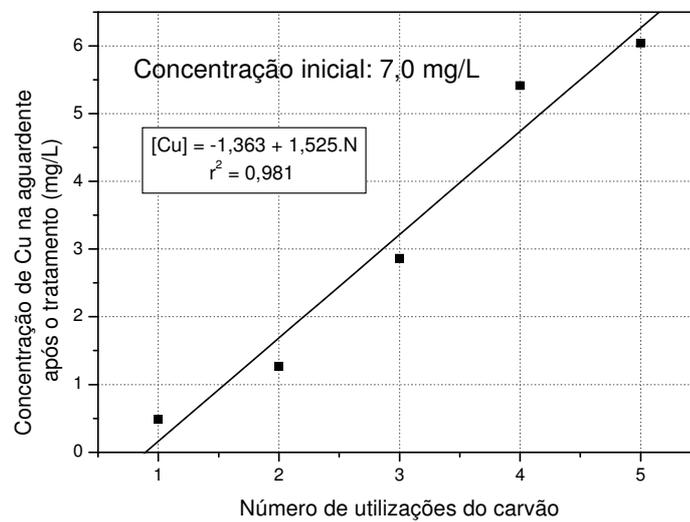


FIGURA 5 – Concentração de cobre presente em aguardente após o tratamento com carvão ativo em função do número de vezes que o carvão é utilizado quando a concentração inicial de cobre era de 7,0 mg/L.

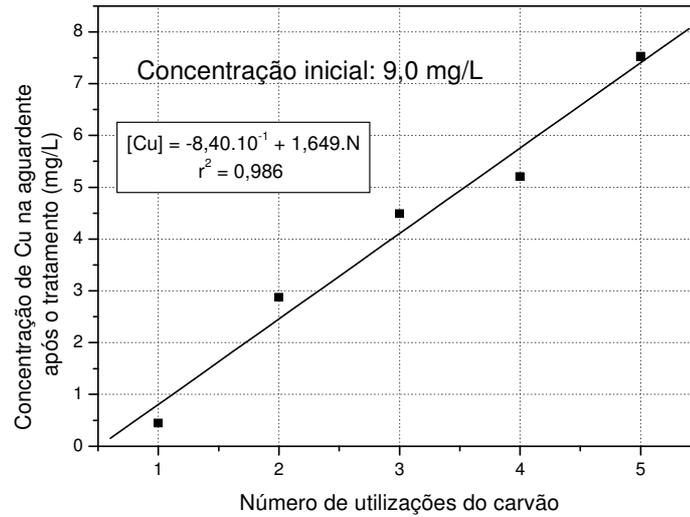


FIGURA 6 – Concentração de cobre presente em aguardente após o tratamento com carvão ativo em função do número de vezes que o carvão é utilizado quando a concentração inicial de cobre era de 9,0 mg/L.

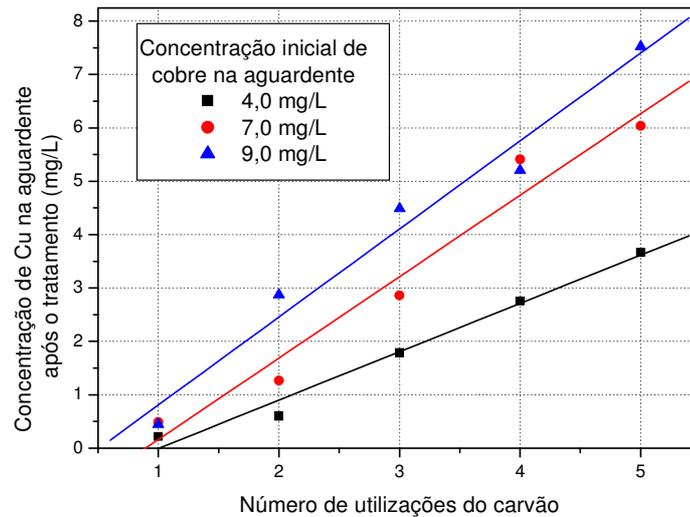


FIGURA 7 – Concentração de cobre presente em aguardente após o tratamento com carvão ativo em função do número de vezes que o carvão é utilizado para as concentrações iniciais de cobre de 4,0, 7,0 e 9,0 mg/L.

Tabela 2 – Coeficientes angulares e lineares das equações que representam a concentração de cobre na aguardente após o tratamento com carvão ativo e o número de utilizações do carvão.

Concentração inicial de cobre (mg/L)	Coefficiente linear	Coefficiente angular	( $r^2$ )	Número da equação
4,0	$-9,112 \cdot 10^{-1}$	$9,059 \cdot 10^{-1}$	0,991	(1)
7,0	-1,363	1,525	0,981	(2)
9,0	$-8,400 \cdot 10^{-1}$	1,649	0,986	(3)

Observa-se a partir dessas figuras que a medida com que se elevam as concentrações iniciais de cobre a saturação do carvão ocorre mais rapidamente. Nota-se também que um carvão vegetal não pode ser utilizado mais que 3 vezes para remover íons de cobre de uma aguardente que contenha uma concentração inicial de 9,0 mg/L e 4 vezes quando a concentração inicial de íons cobre for de 7,0 mg/L pois nas duas condições, na próxima utilização a concentração de íons de cobre na aguardente tratada já atinge um valor superior a 5,0 mg/L e portanto torna a aguardente imprópria para o consumo humano segundo a Legislação vigente no Brasil (BRASIL, 1997).

Outra constatação que pode ser feita a partir desse gráfico é o fato de que para um mesmo número de utilização do carvão, por exemplo, três vezes, remove-se sempre, aproximadamente, 54% de íons de cobre independentemente da concentração inicial destes íons na aguardente. Apesar da remoção ser sempre a mesma, a velocidade de saturação da resina é maior quando a concentração inicial de íons de cobre é maior. A figura 8 e a tabela 2 ilustram esta observação.

Tabela 3 – Cálculo dos íons de cobre removido de 25,0 mL de aguardente após três utilizações do carvão ativo.

Concentração inicial de íons de cobre na aguardente (mg/L)	Massa inicial de íons de cobre (mg)	Massa de íons de cobre após o tratamento (mg)	Massa de íons de cobre removidos após o tratamento (mg)	Massa de íons de cobre removida por unidade de massa de carvão* (mg/g)	% de remoção
4,0	0,100	0,0452	0,0548	$5,48 \cdot 10^{-3}$	54,8 %
7,0	0,125	0,0805	0,0945	$9,45 \cdot 10^{-3}$	54,0 %
9,0	0,225	0,1030	0,1220	$1,22 \cdot 10^{-2}$	54,2 %

\* utiliza-se 10,0 g de carvão ativo

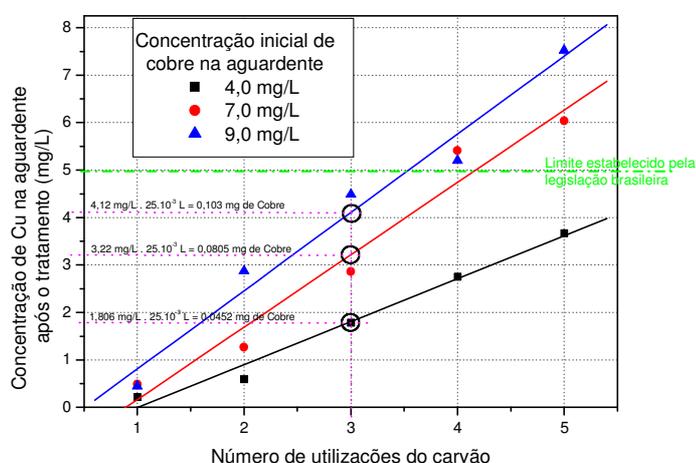


FIGURA 8 – Determinação das massas de cobre após a utilização do carvão ativo por três vezes.

A figura 9 ilustra a correlação entre os coeficientes angulares e a concentração inicial de cobre na aguardente. Observa-se que quanto maior for a  $[Cu^{2+}]$  inicial na aguardente, maior será a  $[Cu^{2+}]$  na mesma após o tratamento com carvão ativo, comprovando-se a saturação do carvão.

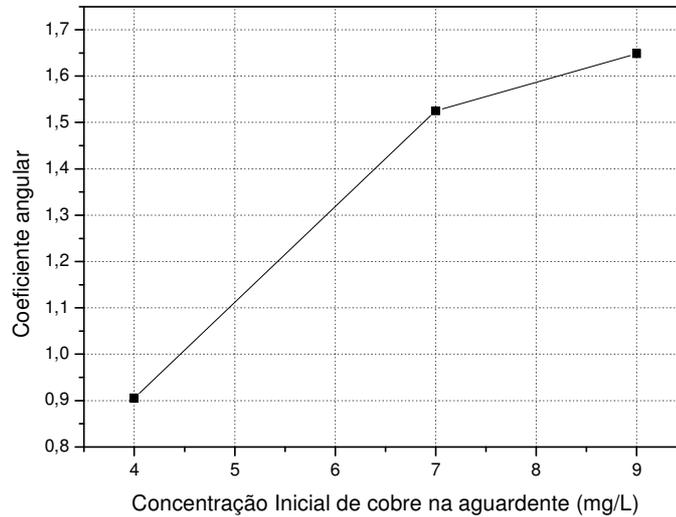


FIGURA 9 – Relação entre os coeficientes angulares das equações apresentadas na tabela 2 e a concentração inicial de cobre presente nas aguardentes.

A figura 10 ilustra a remoção de íons de cobre de aguardente utilizando duas resinas de troca iônica, Amberlite 120 Na e Amberlite 252 Na. As concentrações iniciais de cobre na aguardente eram também de 4,0, 7,0 e 9,0 mg/L. Observa-se que independentemente da resina utilizada o modelo matemático que descreve a variação da  $[Cu^{2+}]$  após o tratamento com o número de utilizações da resina é:

$$[Cu] = \alpha \cdot N^{\beta} \quad (2)$$

Onde  $[Cu]$  representa a concentração de íons de cobre após o tratamento com a resina,  $N$  é o número de vezes que a resina é utilizada e  $\alpha$  e  $\beta$  são os parâmetros da equação e estes são apresentados na tabela 4.

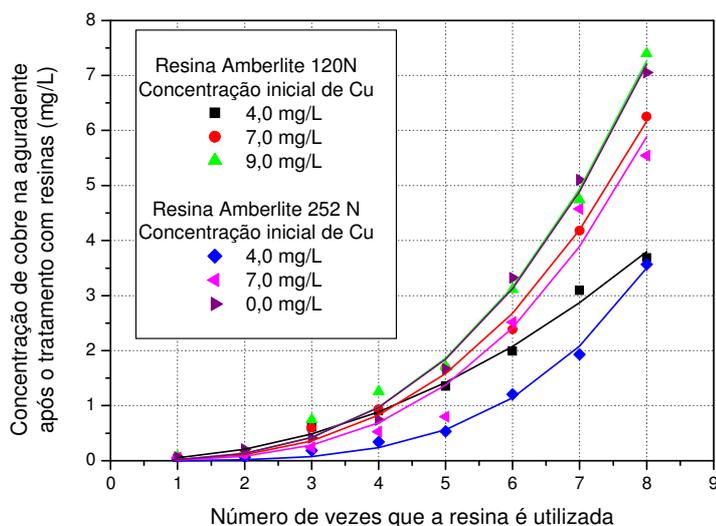


FIGURA 10 – Concentração de cobre presente em aguardente após o tratamento com resinas de troca iônica em função do número de vezes que as resinas são utilizadas para as concentrações iniciais de cobre de 4,0, 7,0 e 9,0 mg/L.

Tabela 4 – Parâmetros da equação que representa a saturação das resinas Amberlite 120Na e Amberlite 252Na quando utilizadas para remover íons de cobre em aguardente.

Concentração inicial de cobre na aguardente (mg/L)	$\alpha$	$\beta$	$r^2$	número da equação
Amberlite 120Na				
4,0	$5,84 \cdot 10^{-3}$	2,94	0,998	(4)
7,0	$1,48 \cdot 10^{-2}$	2,90	0,995	(5)
9,0	$1,75 \cdot 10^{-2}$	2,90	0,994	(6)
Amberlite 252Na				
4,0	$1,03 \cdot 10^{-3}$	3,90	0,995	(7)
7,0	$9,34 \cdot 10^{-3}$	3,10	0,971	(8)
9,0	$1,73 \cdot 10^{-2}$	2,90	0,996	(9)

A partir da figura 10 e da tabela 4, verifica-se que a saturação das resinas testadas pela  $[Cu^{2+}]$  inicial é função do tipo utilizado e da concentração inicial de cobre na aguardente. Por exemplo, quando a concentração inicial de cobre é igual a 4,0 mg/L a saturação da resina Amberlite 252Na é mais lenta do que aquela observada na resina Amberlite 120Na e assim sendo consegue-se remover mais cobre da aguardente, pois com 7 utilizações remove-se 50% do cobre utilizando-se Amberlite 252Na e apenas 25% utilizando Amberlite 120Na. Entretanto, aumentando a concentração inicial de íons de cobre da aguardente essa diferença

na saturação das resinas diminui até que na concentração inicial de 9,0 mg/L a saturação independe da resina utilizada, pois os parâmetros das equações 6 e 9 são praticamente os mesmos.

A velocidade com que as resinas saturam pode ser avaliada pelo produto dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  das equações 4 a 9 os quais encontram-se na tabela 5. Verifica-se que quanto maior o valor desse produto mais rapidamente ocorre a saturação da resina ou seja, menos cobre é removido da aguardente. A figura 11 ilustra a relação dos parâmetros apresentados na tabela 4.

Tabela 5 – Produto dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  em função da concentração inicial de cobre na aguardente.

Concentração inicial de cobre na aguardente (mg/L)	$\alpha \cdot \beta$
Amberlite 120Na	
4,0	0,0172
7,0	0,0430
9,0	0,5075
Amberlite 252Na	
4,0	0,00402
7,0	0,02895
9,0	0,05017

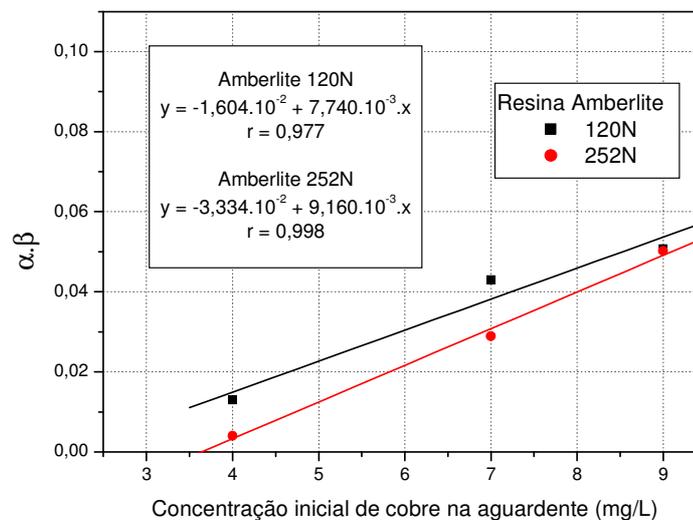


FIGURA 11 – Produto dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  em função da concentração inicial de cobre na aguardente.

Utilizando as equações 4 a 9 calculou-se as concentrações finais de íons de cobre na aguardente. Os valores obtidos encontram-se na tabela 6. Essa tabela também ilustra a porcentagem de remoção desses íons quando a resina é utilizada pela terceira vez. Verifica-se que com a utilização das resinas de troca iônica consegue-se uma remoção maior de íons de cobre do que utilizando carvão ativo tanto em massa de íons de cobre por grama de material como em porcentagem tendo em vista que com carvão ativo conseguia-se remover na terceira utilização da resina por volta de 54% dos íons de cobre e utilizando as resinas a remoção era, na maioria das vezes, superior a 95%. Assim sendo comprova-se que a eficiência das resinas de troca iônica na remoção desse tipo de íon metálico é maior do que utilizando carvão ativado. As tabelas 7 e 8 mostram que a remoção utilizando resina é pelo menos 3 vezes maior que utilizando carvão.

Tabela 6 – Cálculo dos íons de cobre removido de 300,0 mL de aguardente após três utilizações a resina Amberlite 120Na e a resina Amberlite 252Na.

Concentração inicial de íons de cobre na aguardente (mg/L)	Massa inicial de íons de cobre (mg)	Massa de íons de cobre após o tratamento (mg)	Massa de íons de cobre removidos após o tratamento (mg)	Massa de íons de cobre removida por unidade de massa de resina* (mg/g)	% de remoção
Amberlite 120N					
4,0	1,20	0,0443	1,1572	$1,156 \cdot 10^{-2}$	96,4%
7,0	2,10	0,1074	1,9926	$1,9926 \cdot 10^{-2}$	94,9%
9,0	2,70	0,1269	2,5731	$2,5731 \cdot 10^{-2}$	95,3%
Amberlite 252N					
4,0	1,20	0,0224	1,1776	$1,1776 \cdot 10^{-2}$	98,1%
7,0	2,10	0,0843	2,0157	$2,0157 \cdot 10^{-2}$	96,0%
9,0	2,70	0,1257	2,5743	$2,5743 \cdot 10^{-2}$	95,3%

\* utilizava-se 100,0 g de resina.

Tabela 7 – Comparação entre a remoção íons de cobre utilizando carvão ativado e resina de troca iônica Amberlite 120Na.

Tratamento A	Tratamento B	Relação entre Tratamento B e Tratamento A (%)
Massa de íons de Cu removida por grama de carvão ativo	Massa de íons de Cu removida por grama de Amberlite 120Na	
$5,48 \cdot 10^{-3}$	$1,156 \cdot 10^{-2}$	210%
$9,45 \cdot 10^{-3}$	$1,9926 \cdot 10^{-2}$	211%
$1,22 \cdot 10^{-2}$	$2,5731 \cdot 10^{-2}$	211%

Tabela 8 – Comparação entre a remoção íons de cobre utilizando carvão ativado e resina de troca iônica Amberlite 252Na.

Tratamento A	Tratamento B	Relação entre Tratamento B e Tratamento A (%)
Massa de íons de Cu removida por grama de carvão ativo	Massa de íons de Cu removida por grama de Amberlite 120Na	
$5,48 \cdot 10^{-3}$	$1,1776 \cdot 10^{-2}$	215%
$9,45 \cdot 10^{-3}$	$2,0157 \cdot 10^{-2}$	213%
$1,22 \cdot 10^{-2}$	$2,5743 \cdot 10^{-2}$	211%

Na sequência serão analisados os resultados da utilização das resinas Amberlite 120 Na e 252 Na adotando-se quatro tempos de residência (30, 60, 90 e 120 s) após cinco utilizações das resinas para analisar esta variável no processo de remoção de íons cobre antes que ocorra a saturação das resinas. As figuras 12 a 14 mostram estas relações da remoção de cobre em aguardente pela resina Amberlite 120 Na.

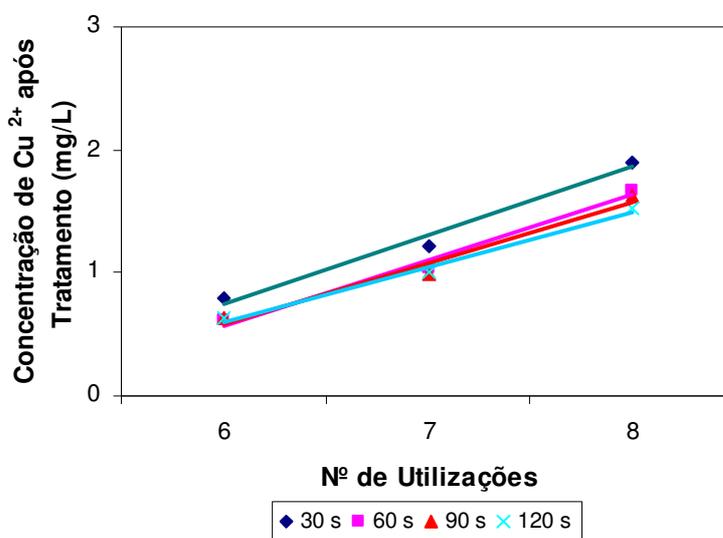


FIGURA 12 - Concentração de íons  $\text{Cu}^{2+}$  presente em aguardente após o tratamento com resina Amberlite 120 Na em função do tempo de residência e do número de utilizações da resina quando a concentração inicial de cobre era igual a 4,0 mg/L.

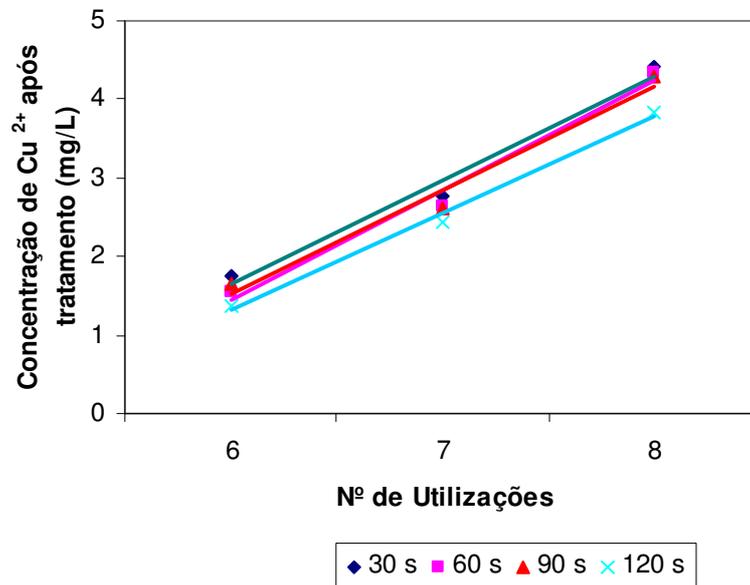


FIGURA 13 - Concentração de íons de  $\text{Cu}^{2+}$  presente em aguardente após o tratamento com resina Amberlite 120 Na em função do tempo de residência e do número de utilizações da resina quando a concentração inicial de cobre era igual a 7,0 mg/L.

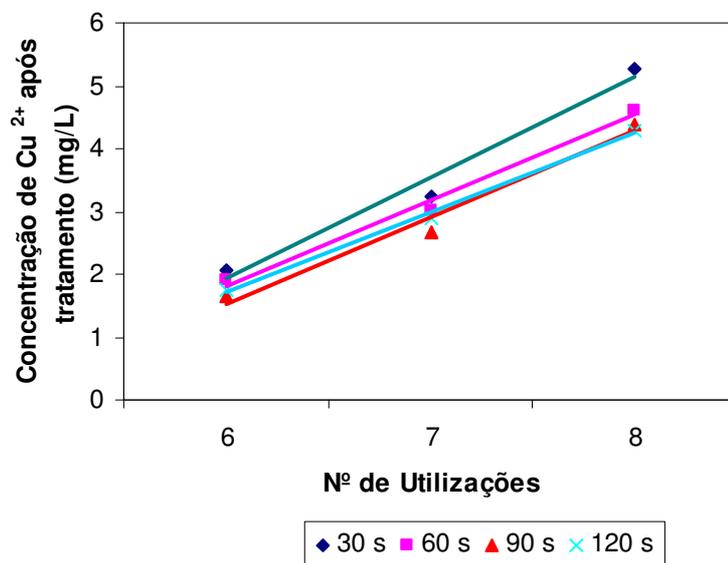


FIGURA 14 - Concentração de íons de  $\text{Cu}^{2+}$  presente em aguardente após o tratamento com resina Amberlite 120 Na em função do tempo de residência e do número de utilizações da resina quando a concentração inicial de cobre era igual a 9,0 mg/L.

Verifica-se que a relação entre a concentração inicial e o tempo de residência pode ser ajustada por regressões lineares, como demonstrado nas tabelas 9 a 11.

TABELA 9 - Equações das regressões lineares para concentração de  $\text{Cu}^{2+} = 4,0 \text{ mg/L}$ .

Tempo de residência	Coefficiente linear	Coefficiente Angular	Coefficiente de correlação	Número da Equação
30	0,19	0,56	0,984	(10)
60	0,04	0,53	0,986	(11)
90	0,09	0,50	0,976	(12)
120	0,16	0,45	0,995	(13)

TABELA 10 - Equações das regressões lineares para concentração de  $\text{Cu}^{2+} = 7,0 \text{ mg/L}$ .

Tempo de residência	Coefficiente linear	Coefficiente Angular	Coefficiente de correlação	Número da Equação
30	0,31	1,33	0,981	(14)
60	0,05	1,40	0,985	(15)
90	0,20	1,24	0,978	(16)
120	0,08	1,24	0,994	(17)

Tabela 11 - Equações das regressões lineares para concentração de  $\text{Cu}^{2+} = 9,0 \text{ mg/L}$ .

Tempo de residência	Coefficiente linear	Coefficiente Angular	Coefficiente de correlação	Número da Equação
30	0,33	1,60	0,981	(18)
60	0,45	1,36	0,990	(19)
90	0,16	1,37	0,981	(20)
120	0,43	1,28	0,996	(21)

Após análise de variância ( $p \leq 0,05$ ) verificou-se que para as concentrações iniciais de íons de cobre iguais a 4,0, 7,0 e 9,0 mg/L, não se pode afirmar que as regressões lineares apresentadas nas figuras 12 a 14 não sejam paralelas e coincidentes entre si, portanto a variação do tempo de residência não afeta o processo de remoção de íons cobre na aguardente quando utiliza-se a resina Amberlite 120 Na quando o tempo de contato dela com a aguardente contaminada com íons de cobre nas concentrações iniciais iguais a 4,0, 7,0 e 9,0 mg/L é igual ou superior a 30 segundos.

As figuras 15 a 18 demonstram a relação entre as concentrações de  $\text{Cu}^{2+}$  na aguardente após o tratamento e o número de utilizações da resina mantendo-se constante o tempo de residência para cada uma das utilizações da resina, ou seja, cada curva representa uma concentração inicial e cada ponto da reta foi obtido utilizando o mesmo tempo de residência.

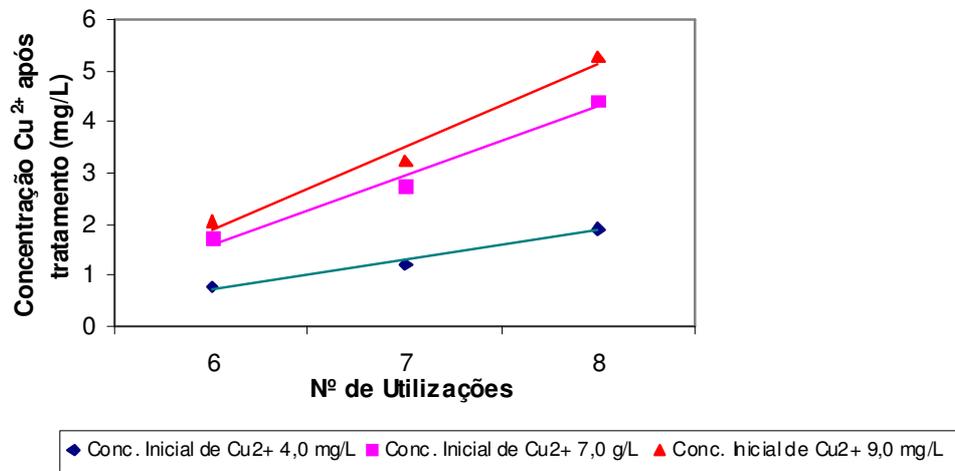


FIGURA 15 - Concentração de  $\text{Cu}^{2+}$  presente na aguardente nas concentrações iniciais de 4,0, 7,0 e 9,0 mg/L após tratamento com resina Amberlite 120 Na com o tempo de residência de 30 segundos.

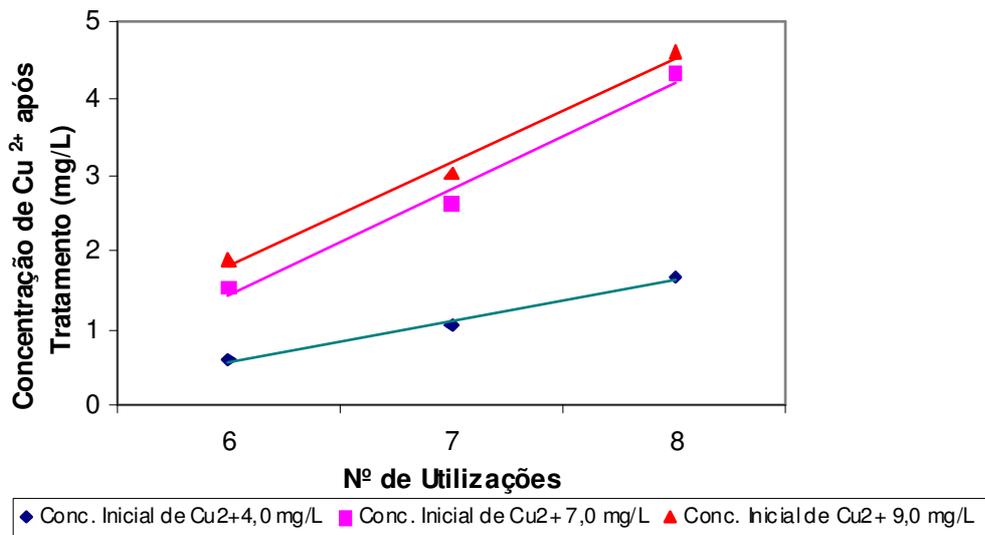


FIGURA 16 - Concentração de  $\text{Cu}^{2+}$  presente na aguardente nas concentrações iniciais de 4,0, 7,0 e 9,0 mg/L após tratamento com resina Amberlite 120 Na com o tempo de residência de 60 segundos e o número de utilizações da resina

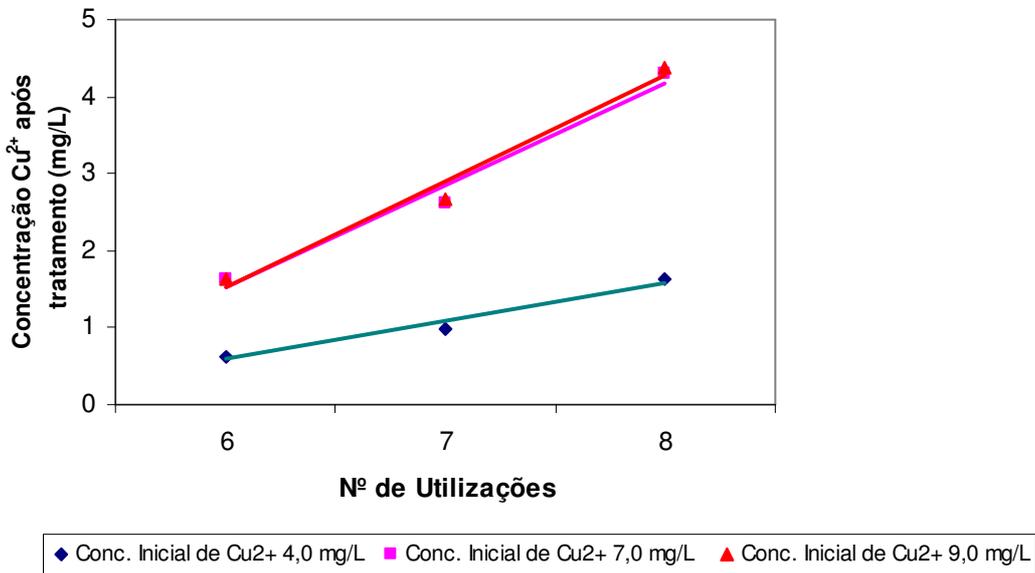


FIGURA 17 - Concentração de  $\text{Cu}^{2+}$  presente na aguardente nas concentrações iniciais de 4,0, 7,0 e 9,0 mg/L após tratamento com resina Amberlite 120 Na com o tempo de residência de 90 segundos e o número de utilizações da resina

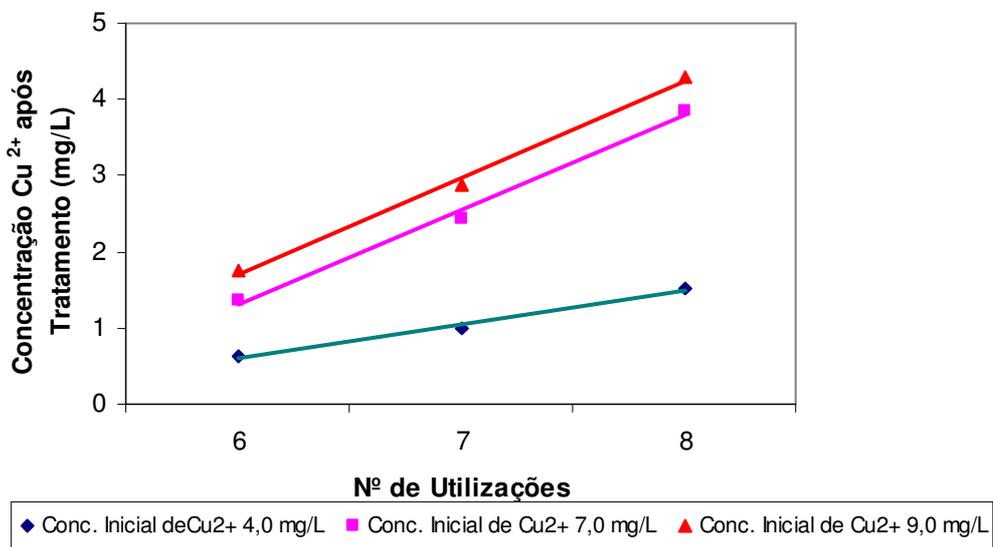


FIGURA 18 - Concentração de  $\text{Cu}^{2+}$  presente na aguardente nas concentrações iniciais de 4,0, 7,0 e 9,0 mg/L após tratamento com resina Amberlite 120 Na com o tempo de residência de 120 segundos e o número de utilizações da resina

De acordo com a análise de variância ( $p=0,05$ ) realizada pode-se verificar em relação ao tempo de residência e a concentração inicial de íons cobre, o seguinte:

Para o tempo de residência de 30 segundos (figura 13) :

- Concentrações de 4,0 e 7,0 mg/L: as retas não são coincidentes e nem paralelas entre si.
- Concentrações de 4,0 e 9,0 mg/L: as retas não são coincidentes e nem paralelas entre si.
- Concentrações de 7,0 e 9,0 mg/L: as retas são coincidentes e paralelas entre si.

Para o tempo de residência de 60 segundos (figura 14) :

- Concentrações de 4,0 e 7,0 mg/L: as retas não são coincidentes e nem paralelas entre si.
- Concentrações de 4,0 e 9,0 mg/L: as retas não são coincidentes e nem paralelas entre si.
- Concentrações de 7,0 e 9,0 mg/L: as retas são coincidentes e paralelas entre si.

Para o tempo de residência de 90 segundos (figura 15):

- Concentrações de 4,0 e 7,0 mg/L: as retas não são coincidentes e nem paralelas entre si.
- Concentrações de 4,0 e 9,0 mg/L: as retas não são coincidentes e nem paralelas entre si.
- Concentrações de 7,0 e 9,0 mg/L: as retas são coincidentes e paralelas entre si.

Para o tempo de residência de 120 segundos (figura 16):

- Concentrações de 4,0 e 7,0 mg/L: as retas não são coincidentes e nem paralelas entre si.
- Concentrações de 4,0 e 9,0 mg/L: as retas não são coincidentes e nem paralelas entre si.
- Concentrações de 7,0 e 9,0 mg/L: as retas não são coincidentes mas são paralelas entre si.

A partir dos resultados apresentados acima observa-se que existe diferença nos tratamentos apenas quando a concentração inicial de íons cobre é igual a 4,0 mg/L em relação as concentrações iniciais iguais a 7,0 e 9,0 mg/L. Entretanto, não existe diferença entre os tratamentos quando as concentrações iniciais são iguais a 7,0 e 9,0 mg/L, ou seja, a diferença de  $[Cu^{2+}]$  não afeta o processo de remoção desse íon na aguardente.

As figuras 19 a 21 indicam as relações da remoção de cobre em aguardente pela resina Amberlite 252 Na a partir da 5ª filtração nas concentrações de 4,0, 7,0 e 9,0 mg/L com tempo de residência de 30, 60, 90 e 120 segundos.

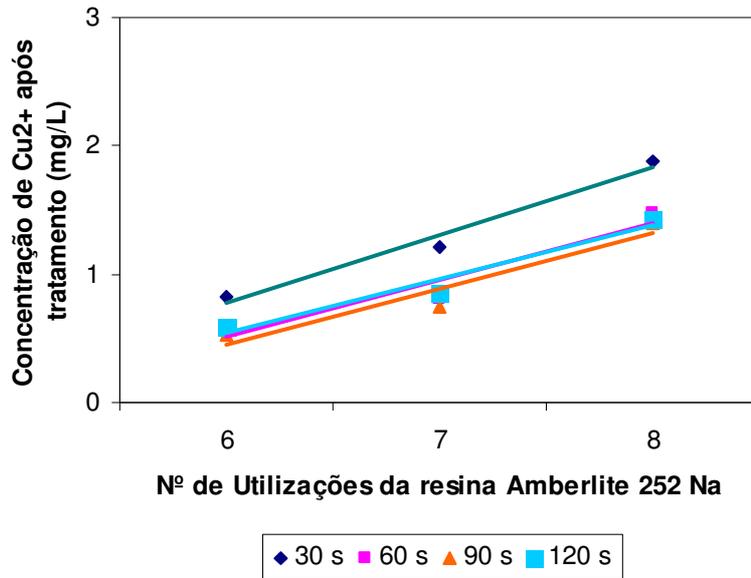


FIGURA 19 - Concentração de íons de  $\text{Cu}^{2+}$  presente em aguardente após o tratamento com resina Amberlite 252 Na em função do tempo de residência e do número de utilizações da resina quando a concentração inicial de cobre era igual a 4,0 mg/L.

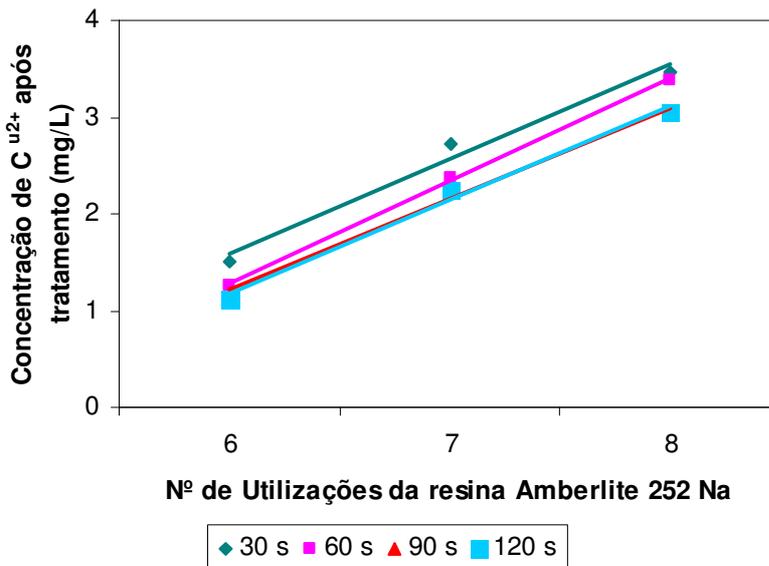


FIGURA 20 – Concentração de íons de  $\text{Cu}^{2+}$  presente em aguardente após o tratamento com resina Amberlite 252 Na em função do tempo de residência e do número de utilizações da resina quando a concentração inicial de cobre era igual a 7,0 mg/L.

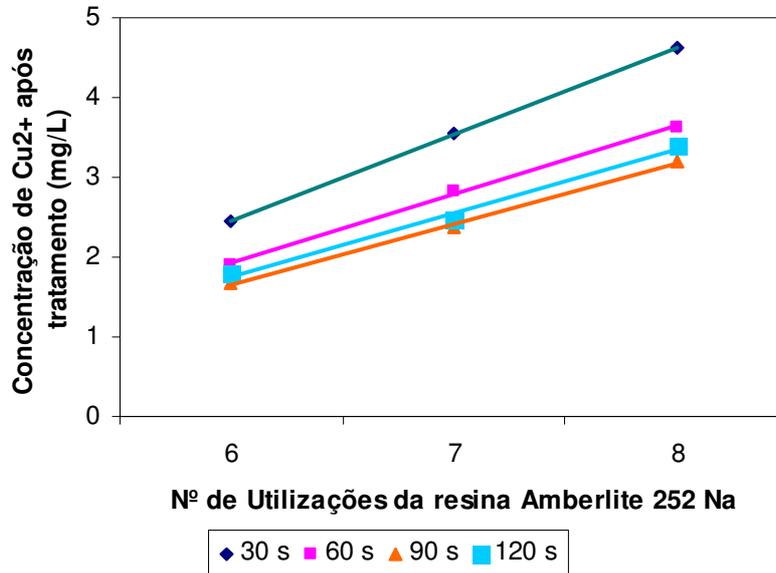


FIGURA 21 - Concentração de Cu<sup>2+</sup> presente em aguardente após o tratamento com resina Amberlite 252 Na em função do tempo de residência e do número de utilizações da resina quando a concentração inicial de cobre era igual a 9,0 mg/L.

Verifica-se que a relação entre a concentração inicial e o tempo de residência pode ser ajustada por regressões lineares, como demonstrado nas tabelas 12 a 14.

Tabela 12 - Equações das regressões lineares para concentração de Cu<sup>2+</sup> = 4,0 mg/L.

Tempo de residência	Coefficiente linear	Coefficiente Angular	Coefficiente de correlação	Número da Equação
30	0,24	0,53	0,979	(22)
60	0,08	0,44	0,923	(23)
90	0,02	0,44	0,918	(24)
120	0,12	0,42	0,958	(25)

Tabela 13 - Equações das regressões lineares para concentração de Cu<sup>2+</sup> = 7,0 mg/L.

Tempo de residência	Coefficiente linear	Coefficiente Angular	Coefficiente de correlação	Número da Equação
30	0,62	0,97	0,979	(26)
60	0,22	1,06	0,999	(27)
90	0,29	0,94	0,989	(28)
120	0,20	0,97	0,992	(29)

Tabela 14 - Equações das regressões lineares para concentração de  $\text{Cu}^{2+} = 9,0 \text{ mg/L}$ .

Tempo de residência	Coefficiente linear	Coefficiente Angular	Coefficiente de correlação	Número da Equação
30	1,36	1,09	1,00	(30)
60	1,06	0,86	0,999	(31)
90	0,89	0,76	0,997	(32)
120	0,96	0,80	0,996	(33)

Após análise de variância ( $p \leq 0,05$ ) verificou-se que para as concentrações iniciais de íons de cobre iguais a 4,0, 7,0 e 9,0 mg/L, não se pode afirmar que as regressões lineares apresentadas nas figuras 19 a 21 não sejam paralelas e coincidentes entre si, portanto a variação do tempo de residência não afeta o processo de remoção de íons cobre na aguardente quando utiliza-se a resina Amberlite 252 Na.

As figuras 22 a 24 demonstram a relação entre as concentrações iniciais de  $\text{Cu}^{2+}$  na aguardente para os quatro tempos de residência estudados.

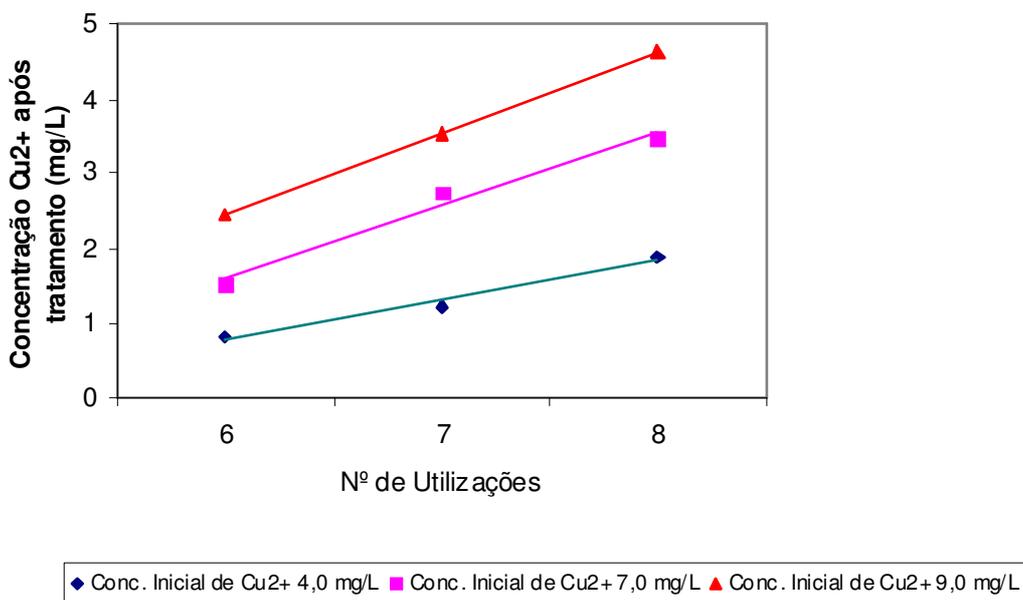


FIGURA 22 - Concentração de  $\text{Cu}^{2+}$  presente na aguardente nas concentrações iniciais de 4,0, 7,0 e 9,0 mg/L após tratamento com resina Amberlite 252 Na com o tempo de residência de 30 segundos e o número de utilizações da resina.

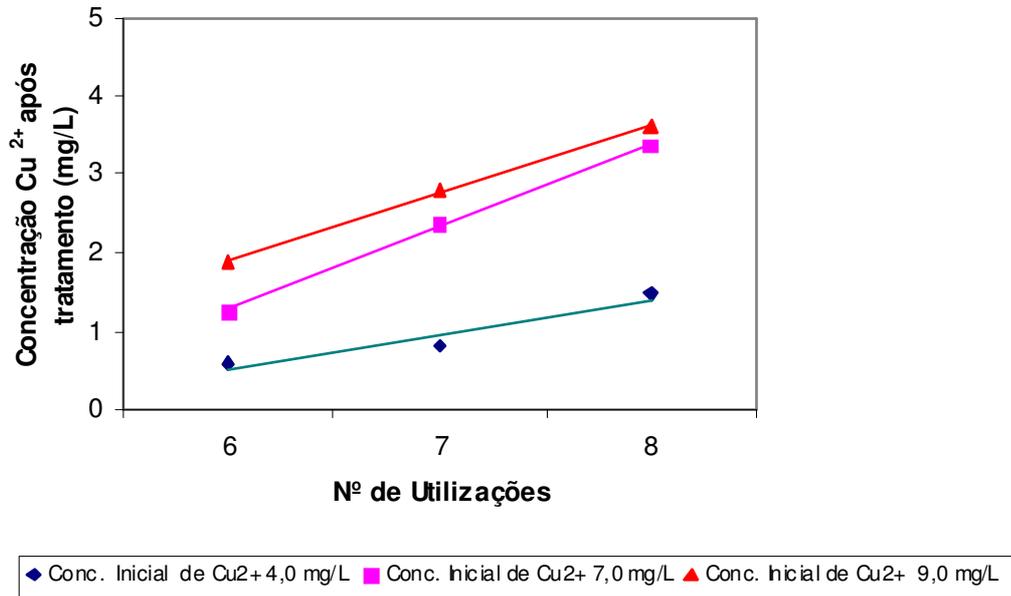


FIGURA 23 - Concentração de  $\text{Cu}^{2+}$  presente na aguardente nas concentrações iniciais de 4,0, 7,0 e 9,0 mg/L após tratamento com resina Amberlite 252 Na com o tempo de residência de 60 segundos e o número de utilizações da resina.

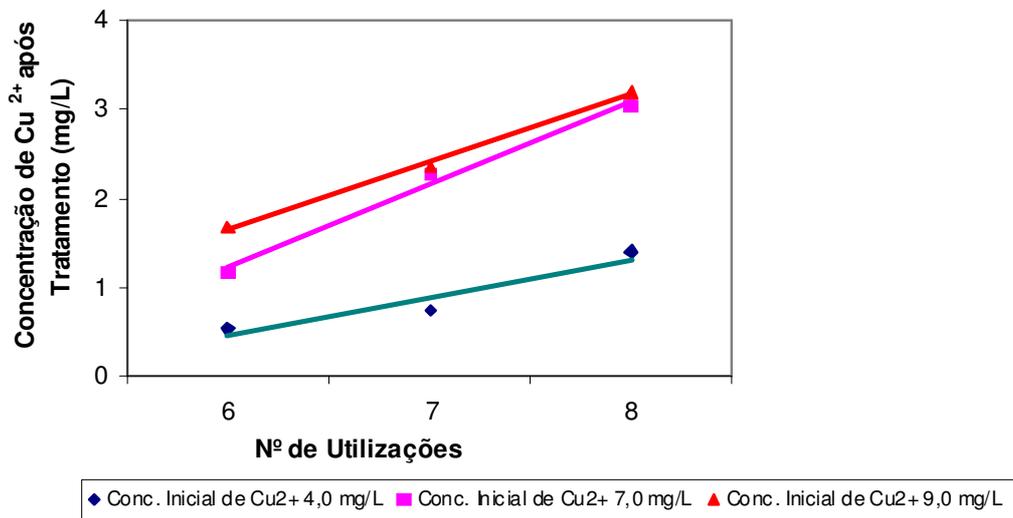


FIGURA 24 - Concentração de  $\text{Cu}^{2+}$  presente na aguardente nas concentrações iniciais de 4,0, 7,0 e 9,0 mg/L após tratamento com resina Amberlite 252 Na com o tempo de residência de 90 segundos e o número de utilizações da resina.

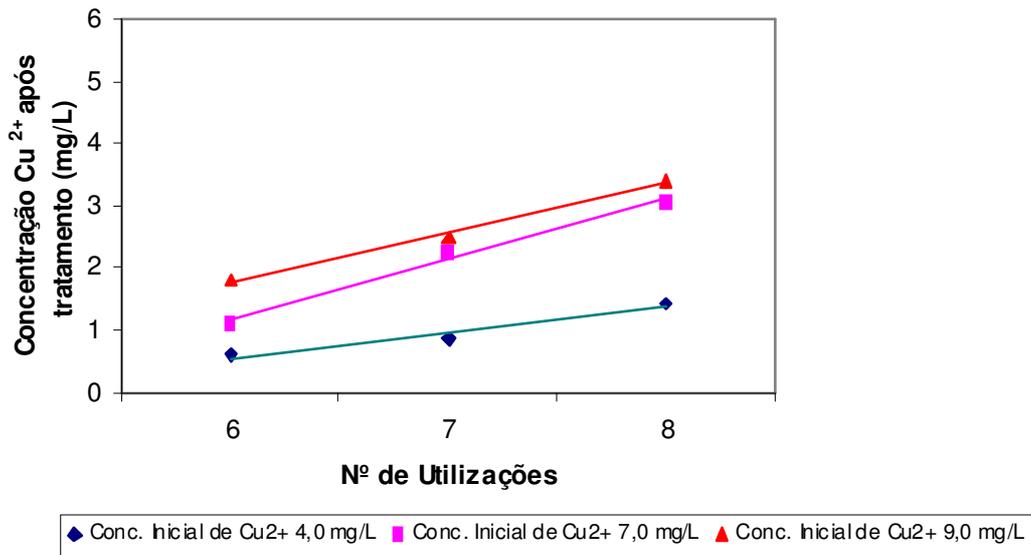


FIGURA 25 - Concentração de Cu<sup>2+</sup> presente na aguardente nas concentrações iniciais de 4,0, 7,0 e 9,0 mg/L após tratamento com resina Amberlite 252 Na com o tempo de residência de 120 segundos e o número de utilizações da resina.

De acordo com a análise de variância ( $p=0,05$ ) realizada pode-se verificar em relação ao tempo de residência e a concentração inicial de íons cobre, o seguinte:

Para o tempo de residência de 30 segundos (figura 22) :

- Concentração inicial de Cu<sup>2+</sup> de 4,0 e 7,0 mg/L: as retas não são coincidentes mas são paralelas entre si na faixa de concentração de 0,5 e 3 mg/L.
- Concentração inicial de Cu<sup>2+</sup> de 4,0 e 9,0 mg/L: as retas não são coincidentes mas são paralelas entre si na faixa de concentração de 0,5 e 4 mg/L.
- Concentração inicial de C<sup>2+</sup> de 7,0 e 9,0 mg/L: as retas são coincidentes e paralelas entre si na faixa de concentração de 0,5 e 6 mg/L.

Para o tempo de residência de 60 segundos (figura 23) :

- Concentração inicial de Cu<sup>2+</sup> de 4,0 e 7,0 mg/L: as retas não são coincidentes e são paralelas entre si na faixa de concentração de 0,5 à 2,7 mg/L.
- Concentração inicial de Cu<sup>2+</sup> de 4,0 e 9,0 mg/L: as retas não são coincidentes e são paralelas entre si na faixa de concentração de 0,5 à 3,3 mg/L.
- Concentração inicial de Cu<sup>2+</sup> de 7,0 e 9,0 mg/L: as retas não são coincidentes e são paralelas entre si na faixa de concentração de 1,5 à 4,0 mg/L.

Para o tempo de residência de 90 segundos (figura 24):

- Concentração inicial de Cu<sup>2+</sup> de 4,0 e 7,0 mg/L: as retas não são coincidentes e são paralelas entre si na faixa de concentração de 0,5 à 2,7.

- Concentração inicial de  $\text{Cu}^{2+}$  de 4,0 e 9,0 mg/L: as retas não são coincidentes e são paralelas entre si na faixa de concentração de 0,5 à 3,0 mg/L.
- Concentração inicial de  $\text{Cu}^{2+}$  de 7,0 e 9,0 mg/L: as retas são coincidentes e paralelas entre si na faixa de concentração de 1,5 à 4,0 mg/L.

Para o tempo de residência de 120 segundos (figura 25):

- Concentração inicial de  $\text{Cu}^{2+}$  de 4,0 e 7,0 mg/L: as retas não são coincidentes e são paralelas entre si na faixa de concentração de 0,5 à 3,0 mg/L.
- Concentração inicial de  $\text{Cu}^{2+}$  de 4,0 e 9,0 mg/L: as retas não são coincidentes e são paralelas entre si na faixa de concentração de 0,5 à 3,1 mg/L.
- Concentração inicial de  $\text{Cu}^{2+}$  de 7,0 e 9,0 mg/L: as retas não são coincidentes mas são paralelas entre na faixa de concentração de 1,0 à 4,0 mg/L.

Como demonstrado acima, verificou-se a influência da concentração inicial no processo de remoção de íons cobre na aguardente para os quatro tempos de residência. Entretanto, para a concentração de 4,0 mg/L apesar do processo de remoção ser o mesmo, pelo fato das retas serem paralelas em relação às concentrações iniciais iguais a 7,0 e 9,0 mg/L, a eficiência de remoção é menor para as concentrações maiores, pois, as retas não são coincidentes entre si, ou seja, com 4 mg/L obtém na aguardente com as concentrações de  $\text{Cu}^{2+}$  menor do que quando a concentração de  $\text{Cu}^{2+}$  inicial é igual ou superior a 7,0 mg/L.

Desta maneira quando utiliza-se a resina 252 Na o tempo de residência afeta a remoção de íons cobre na aguardente pois as retas não são coincidentes, entretanto, aparentemente o processo de remoção é o mesmo, pois as retas são paralelas entre si. Nota-se, portanto, que a concentração inicial influencia a concentração de íons  $\text{Cu}^{2+}$  após tratamento com a resina Amberlite 252 Na.

A tabela 15 apresenta a porcentagem de remoção de íons de cobre após sete utilizações das resinas nos diferentes tempo de residência. Verifica-se que a partir de 60 segundos de contato entre a aguardente e as resinas a remoção de íons de cobre é sempre a mesma, ou seja, em média de 72% para a resina Amberlite 120 Na em média de 75% para a resina Amberlite 252 Na.

Tabela 15 – Cálculo dos íons de cobre removido de 300 mL de aguardente com concentração inicial de 4,0 mg/L após sete utilizações a resina Amberlite 120Na ou a resina Amberlite 252Na.

Tempo de residência	Massa inicial de íons de cobre (mg)	Massa de íons de cobre após o tratamento (mg)	Massa de íons de cobre removido após o tratamento (mg)	Massa de íons cobre removida por unidade de massa de resina* (mg/g)	% de remoção
Amberlite 120 Na					
30	1,2	0,39	0,81	$8,1 \cdot 10^{-2}$	68%
60	1,2	0,33	0,87	$8,7 \cdot 10^{-2}$	73%
90	1,2	0,32	0,88	$8,8 \cdot 10^{-2}$	73%
120	1,2	0,32	0,88	$8,8 \cdot 10^{-2}$	73%
Amberlite 252 Na					
30	1,2	0,39	0,81	$8,10 \cdot 10^{-2}$	68%
60	1,2	0,282	0,918	$9,18 \cdot 10^{-2}$	77%
90	1,2	0,264	0,936	$9,36 \cdot 10^{-2}$	78%
120	1,2	0,294	0,906	$9,06 \cdot 10^{-2}$	76%

## 5. CONCLUSÃO

O carvão ativo e as resinas Amberlite 120Na e 252Na podem ser utilizadas para remover cobre de aguardente com a finalidade de atender o valor de 5,0 mg/L fixado pela legislação brasileira, desde que estes materiais não estejam saturados.

Assim sendo, para o tratamento com carvão ativo este não pode ser utilizado mais que 3 vezes quando a concentração inicial de cobre for igual a 9,0 mg/L e não mais do que 4 vezes quando a concentração inicial de cobre na aguardente for igual a 7 mg/L quando o tempo de residência for de 20 segundos. Aparentemente, este tipo de procedimento seria dificilmente aplicável em escala industrial, pela necessidade de uma grande quantidade (para um alambique que produz aproximadamente 10.000 litros de aguardente/mês, com uma contaminação de íons de cobre de 7,0 mg/L, a quantidade de carvão ativo necessário provocar a redução de íons de cobre de 7,0 para 5,0 mg seria de aproximadamente 43 toneladas) de carvão ativo.

No caso das resinas, pelos resultados obtidos, tem-se o melhor método de remoção de íons cobre, verificando que a eficiência da remoção aumenta na utilização da resina Amberlite 252 Na, entretanto, a concentração inicial influencia a remoção de íons cobre. Além disso, este processo é aplicável em escala industrial, uma vez que as resinas possuem características reversíveis, o que permite o reaproveitamento destas, desde que não sofram mudanças substanciais da estrutura.

Os resultados encontrados apresentados constituem um importante instrumento para o monitoramento da qualidade dos níveis de cobre presentes na aguardente.

O produto obtido por esses procedimentos se enquadra nos padrões legais nacionais e internacionais, aumentando-se desta maneira as condições para a exportação e diminuindo os riscos para a saúde pública.

Mostrando novamente que esta última resina é a mais eficiente na remoção desses íons que a Amberlite 120 Na.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACTIVBRAS INDUSTRIAL LTDA, **Boletins de aplicação**. Disponível em: <<http://www.activbras.com.br/carvão.html>>, acesso em: 22/08/08.

ALUYOR, E. O.; BADMUS, O. A. M. Cod removal from industrial wastewater using activated carbon prepared from animal horns, **African Journal of Biotechnology**, v. 7 (21), p. 3887-3891, 2008.

ANTONIO, P. M. F. **Adsorção de di-2-piridilcetona saliciloilhidrazona em sílica-gel**. São Paulo. Dissertação de Mestrado, IQ-USP, 2003.

ANTONIO, P. M. F. **Estudo de Absorção de di-2-piridilcetona saliciloilhidrazona (DPKSH) em resinas amberlite XAD-2 e XAD-7. Extração de íons cobre em fase sólida envolvendo a XAD-7 modificada com DPKSH**, São Paulo. Tese de Doutorado. IQ-USP, 2007.

ATKINS, **Físico-química**. 6ª Ed. Vol. 3. Rio de Janeiro: LTC, 1999. 106 p.

AZEVEDO, S.M. et al. Levantamento da contaminação por cobre nas aguardentes de cana-de-açúcar produzidas em Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v.27, n.3, p.618-624, 2003.

BOZZA, Y.; HORII, J. Influência do grau alcoólico e da acidez do destilado sobre o teor de cobre na aguardente. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas. v.20, n.3, p.279-284, 2000.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto no. 2314, de 04 de setembro de 1997. Publicado no **Diário Oficial da União** de 05/09/1997, Brasília, seção 1, p.19549.

CABRAL, G. J., KREMER, H., TROSSINI, T., **Cachaça**. Trabalho de Graduação. 2006. Centro Tecnológico – Departamento de Engenharia Química e Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2006.

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

CANTÃO, F. O., **Análises físico-químicas e avaliação da presença de cobre em aguardentes de cana por aluminossilicatos**. 2006. 76 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG., 2006.

C.P.L – CARBON LINK – The active force in carbon. **Boletim Técnico**. Disponível em: <<http://www.activated-carbon.com/1-1.html>>, acesso em 22/08/08.

CARBOMAFRA, INDÚSTRIAS QUÍMICAS S.A. Carvão Ativado. **Boletim técnico**, Curitiba, PR. 2007.

CARDOSO, M. G. et al. **Cachaça: Qualidade e Produção**. 2. ed. Lavras, MG: Ufla, p. 132 - 137, 2001.

CARDOSO, M. G. **Produção de Aguardente de Cana**. 2. ed. Lavras, MG; Ufla, 2006.

FONTE - <HTTP://www.coopercana.com.br/imagens/Silva>, S.

FONTE – <http://www.carvalheira.com.br/imagens/fluxograma.gif>

COPELLO, M. A mais brasileira das bebidas. **Gazeta Mercantil**, São Paulo, 30 jan. 2004. Caderno Fim de Semana.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de Nutrientes**. 2. ed., Manole, 2007.

FARIA, J.B.; CAMPOS, M.A.P. Eliminação do cobre contaminante das aguardentes de cana-de-açúcar brasileiras. **Alimentação e Nutrição**, v.1, p.117-28, 1989.

FARIA, J.B.; et AL. Influência do material do alambique na composição química das aguardentes de cana de açúcar. **Química Nova**, v. 16, p.21-28, 1998.

FERREIRA, L. O., **Avaliação de diferentes adsorventes na recuperação de metanol utilizado em cromatografia líquida de alta eficiência**. 2006. 80 p. Tese (Obtenção do título de Mestre em Ciências) – Instituto de Química – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

GARBIN, R., BOUSZ JUNIOR, S., MONTANO, M.A. **Níveis de cobre em amostras de cachaça produzidas na região noroeste do Rio Grande do Sul, Brasil**. Ciências Rural, Santa Maria, v.35, n.6, p.1436-1440, nov-dez, 2003.

LIMA, Urgel de Almeida; AQUARONE, Eugenio; BORZANI, Walter. **Tecnologia das fermentações**. São Paulo: E. Blucher, 1975. 285p.

LIMA, Urgel de Almeida; AQUARONE, Eugenio; BORZANI, Walter. **Alimentos e bebidas produzidos por fermentação**. São Paulo: E. Blucher, 2001. p. 79-107. (Série Biotecnologia Industrial).

LIMA, A. J. B., **Validação do emprego de substâncias adsorventes para melhoria da qualidade de cachaça com excesso de cobre**. 2005. Tese (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Lavras, MG, 2005.

LUZ, D. A., **Estudos de equilíbrio e dinâmica de adsorção em leito fixo para sistema glicose/frutose em resinas catiônicas: aplicação ao suco de caju clarificado**. 2006. p. 133. Tese de Mestrado, Fortaleza, CE, 2006.

MARAFANTE, L. J. **Tecnologia de Fabricação do Álcool e do Açúcar**. São Paulo. Ed. Ícone, 1993.

MARTON, J. M. **Avaliação de um sistema contínuo composto por colunas de carvão ativo e resinas de troca iônica para tratamento do hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar**. 2005. 131 p. Tese de doutorado – Faculdade de Engenharia Química de Lorena, Lorena, 2005.

MIRANDA, M. B., MARTINS, N. G. S., N. G. S., BELLUCO, A. E. S., HORII, J., ALCARDE, A. R. Qualidade química de cachaças e de aguardentes brasileiras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 885-889, 2007.

MUTTON, M. J.R.; MUTTON, M. A., **Aguardente de cana: produção e qualidade**. Jaboticabal: FUNEP, 1992, p.98 – 110.

NOGUEIRA, A. M. P.; VENTURINI FILHO, W. G., **Aguardente de Cana**. Faculdade de ciências agrônômicas. UNESP. Botucatu-SP, 2005.

OLIVEIRA, A.J. **Contribuição ao estudo da remoção do cobre da aguardente de cana-de-açúcar com resinas catiônicas**. Piracicaba, 1970. 28p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

PAIVA, K. B. S.; MENEZES, M. L. **Avaliação do emprego dos adsorventes: carvão ativo, chromosorb w e membrana C<sub>18</sub> na preparação de amostras de ar para determinação de d-aletrina em ambientes fechados.** Eclética Química. vol.28 n.1, São Paulo, 2003.

PERUZZO, L. C. **Influência de agentes auxiliares na adsorção de corantes de efluentes na indústria têxtil em colunas de leito fixo.** 2003. 91 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROHM AND HASS COMPANY, **Product Information.** Disponível em:<[www.rohmhassa.com/ionexchange/phamaceutical/adreference.html](http://www.rohmhassa.com/ionexchange/phamaceutical/adreference.html)> acesso em: 30/05/2006.

RIBEIRO, C. A. F.; PRADO FILHO, L. G. **O cobre contaminante da aguardente de cana.** 24p. NAPMA – Publicação nº 5. Piracicaba, SP, 1997.

SANTOS, M. C. R. **Produção de açúcar orgânico.** São Caetano do Sul, 2004. 40p. Monografia (Pós Graduação) – Instituto Mauá de Tecnologia.

SARGENTELLI, V. ; MAURO, A. E.; MASSABNI, A.C. **Aspectos do metabolismo do cobre no homem.** Química Nova. V.19,n.3,p.290-293.1996.

VIEIRA, D. A., MENDONÇA, J. C. A., **Avaliação da contaminação com cobre na cachaça produzida na região da estrada de ferro-Orizona no estado de Goiás.** Trabalho de Iniciação Científica.Universidade Federal de Goiás, 2005.

VILELA, F. J., et al. **Determinação das composições físico-químicas de cachaças do Sul de Minas Gerais e de suas misturas.** Ciênc. Agrotec., Lavras, v.31, n.4, p. 1089-1094, jul./ago., 2007.

VOGEL, A, **Análise química quantitativa.** 5ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 1992. 710 p.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)