Fls. N.° 14

Proc. N.°

Rub.

HÉLIO WIEBECK

Engenheiro Químico , UFRRJ, 1973

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO, EM LABORATÓRIO, DO CARVÃO ATIVO DE BAGAÇO DE CANA, VISANDO SUA UTILIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE LAVAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR

Dissertação Apresentada à Escola Politécnica da USP para Obtenção do Título de Mestre em Engenharia

Orientador:- Prof.Dr. Fernando Augusto Tavares
Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da USP.

SÃO PAULO/1987

Aos meus pais, irmãos, esposa e filhos e todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

DEDICATÓRIA

Aos Pesquisadores, pelas suas doses de:

Paciência,

Observação,

Perseverânça,

Objetivo.

"Mergulhando em uma núvem, chama ou escuridão
Com seus passos suaves, pequenos mas firmes
Procurando extrair da essencia do desconhecido
Algo conhecível da mente humana
Para ser útil à humanidade".

AGRADECIMENTOS

- **Ao Prof. Dr. Fernando Augusto Tavares**, pela dedicada Orientação, bem como pela colaboração na organização e revisão deste trabalho.

- **Ao Prof. Dr. Pérsio de Souza Santos** pelo incentivo ao ingresso no mestrado.

- **À Elza Felicidade Dias** pela sua colaboração e incentivo.

- **Ao José Carlos Soares da Silva** pela amizade durante a minha permanencia na USP.

- **Ao Admir de Almeida Campos** pelo auxílio nas análises (UNIMEP).

- **Ao Antonio Carlos de Oliveira Campos** pela sua valorosa colaboração nos desenhos e construções de gráficos e figuras (UNIMEP).

- **À Usina São João - Araras** pela doação de materiais.

- **Ao Centro de Tecnologia Copersucar - Piracicaba** pela colaboração nas análises de DBO e DQO.

- **Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura - Seção de Radioquímica e Química Analítica - Piracicaba** pela colaboração nas análises de teor de espécies químicas.

- **À Diretoria da Escola Politécnica da USP, e à Chefia do Departamento de Engenharia Química da citada Escola,** pelas facilidades concedidas.

- **À Regina Aparecida do Nascimento** pela amizade e trabalho de datilografia.

- **À Universidade Metodista de Piracicaba e respectivo Centro de Tecnologia** pelas facilidades concedidas.

- **Finalmente, a todos os colegas amigos e funcionários,** que direto ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

RESUMO

WIEBECK, H. - "Obtenção e Caracterização em Laboratório, do Carvão Ativo de Bagaço de Cana-de-açúcar, Visando sua Utilização no Tratamento de Água de Lavagem de Cana-de-açúcar".

As amostras de carvão ativo de bagaço de cana-de-açúcar foram preparadas em temperaturas de carbonização de 500, 600 e 700°C, com tempos de ativação de 60 e 120 minutos e concentração de agente ativante ($ZnCl_2$) 30 e 60% em relação ao bagaço seco original. Foi utilizado como padrão, para verificação de eficiência, um carvão ativo alemão (Riedel).

Estas amostras foram caracterizadas pelas seguintes análises: rendimento; teor de umidade; teor de cinzas; pH; teor de substâncias solúveis em água. Foi também estudado o desempenho destas amostras no descoramento de água de lavagem de cana-de-açúcar, utilizando 1% e 1,5% em peso de carvão ativo.

Amostras preparadas a 500°C, 60 minutos e concentração de agente ativante 0%, 30% e 60% em relação ao peso de bagaço seco original foram utilizadas no tratamento de água de lavagem de cana-de-açúcar visando a diminuição do potencial poluidor, essas mesmas amostras foram utilizadas para determinação de poder de adsorção, equação e isoterma de Freundlich.

Os resultados mostraram ser viável, em escala de laboratório a obtenção de carvão ativo de bagaço de cana-de-açúcar, para utilização no tratamento de água de lavagem de cana-de-açúcar visando diminuir o seu potencial poluidor.

ABSTRACT

WIEBECK, H. - "Production and Characterization, in Laboratory Scale, of Activated Carbon from Sugar-Cane Bagasse (cane-thrash), to use in Treatment of Sugar-Cane Washing Water".

Samples of activated carbon from cane-thrash were prepared in carbonization temperatures of 500, 600 and 700°C; activation times of 60 and 120 minutes, and concentrations of activating agent ($ZnCl_2$) 30 and 60% in relation to the original dry bagasse. A German activated carbon, was used a standard (Riedel).

The samples were characterized by the following analysis: yield, proportion (%) of humidity, proportion of ashes; pH; proportion of solubles in water substances. It was also studied the performance in discolouring sugar-cane washing water using 1% and 1,5% in weight of activated carbon.

Samples prepared in 500°C, 60 minutes and activating agent concentration of 0%, 30% and 60% in relation to the weight of the original dry bagasse were used in the treatment of sugar-cane washing water with the purpose of reducing the polluter potential. They were used to determine the adsorption power, equation and Freundlich isotherm.

The results showed it is possible to obtain activated carbon from cane-thrash in laboratory scale, to be used in the treatment of sugar-cane washing water with the purpose of reducing its polluter potential.

DEFINIÇÕES E NOMENCLATURA

TERMOS TÉCNICOS E NOMENCLATURA

POL:- Abreviatura do termo polarização. É a percentagem, em peso de sacarose aparente contida em uma solução açucarada.

BRIX:- Porcentagem, em peso, de sólidos solúveis, contidos em uma solução açucarada.

FIBRA:- Matéria seca, insolúvel, que está contida na cana.

PUREZA:- Porcentagem de sacarose (POL) nos sólidos totais(BRIX)

AÇÚCARES REDUTORES:- Açúcares, não sacarose, que têm a propriedade de reduzir o licor de Fehling.

DBO:- Demanda Bioquímica de Oxigênio. É a quantidade de oxigênio dissolvido, em ppm, que se necessita durante a estabilização da matéria orgânica putrescível,pela ação bioquímica aeróbica.

DQO:- Demanda Química de Oxigênio. É a quantidade de material passível de oxidação por agentes químicos (o oxidante dicromato de potássio foi escolhido como padrão).

Ti:- Transmitância inicial

T460nm:- Transmitância a 460nm.

VARIAÇÃO DE COR:- Considerada como variação de transmitância.

ÍNDICE GERAL

	PÁGINA
AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
DEFINIÇÕES E NOMENCLATURA	vii
LISTA DE TABELAS	xvi
LISTA DE FIGURAS	xix
INTRODUÇÃO	01
CAPÍTULO 1 - REVISÃO DA LITERATURA	03
1.1. Bagaço de Cana-de-Açúcar	03
1.1.1. Características Físicas e Químicas do Bagaço ..	03
1.1.1.1. Características Físicas do Bagaço	03
1.1.1.2. Características Químicas do Bagaço	04
1.1.2. Utilizações do Bagaço	05
1.1.3. Sobra de Bagaço	06
1.2. Carvão Ativo	07
1.2.1. Histórico	07
1.2.2. Mercados	09
1.2.3. Generalidades	10
1.2.4. Conceito e Estrutura	11
1.2.5. Estrutura Porosa	13
1.2.6. Matérias-Primas	14
1.2.7. Processos de Ativação ou Produção de Carvão Ativo	15

PÁGINA

1.2.7.1. Generalidades 15

1.2.7.2. Processo Químico 16

1.2.7.3. Processo Físico 17

1.2.8. Uso do Carvão Ativo 19

1.2.9. Aplicações do Carvão Ativo 20

1.2.9.1. Aplicações em Adsorção de Gases e Vapores em Mistura com o Ar 21

1.2.9.2. Separação de Hidrocarbonetos Gasosos 22

1.2.9.3. Aplicações Industriais do Carvão Ativo em Soluções 23

1.2.9.3.1. Alimentos 23

1.2.9.3.2. Fabricação de Açúcar 23

1.2.9.3.3. Indústria Química 24

1.2.9.3.4. Remoção de Fenóis de Águas Residuárias 24

1.2.9.3.5. Refino de Óleos Minerais 25

1.2.9.4. Aplicações do Carvão Ativo Baseadas nas suas Propriedades Catalíticas e na sua Reatividade 25

1.2.9.4.1. Tratamento de Água Potável 25

1.2.9.4.2. Desulfurização de Gases Industriais 26

1.2.9.4.3. Catalisador na Indústria Química 26

1.2.9.5. Usos em Laboratório 27

1.2.10. Adsorção em Carvão Ativo 27

1.2.10.1. Isotermas de Adsorção 29

1.2.10.1.1. Generalidades 29

1.2.10.2. Isoterma de Langmuir 30

PÁGINA

1.2.10.1.3. Isoterna de Freundlich 32
1.2.10.1.4. Isoterma de BET 34
1.2.10.2. Fatores que Influem na Adsorção 35
1.2.11. Reativação 36
1.2.11.1. Reativação Química 36
1.2.11.2. Reativação Térmica 37
1.2.12. Carvão Ativo de Bagaço de Cana-de-Açúcar 38
1.3. Águas Residuárias da Indústria do Açúcar e do Álcool, Água de Lavagem de Cana 39
1.3.1. Características Físicas das Águas Residuárias em Geral 39
1.3.1.1. Sóldios Totais 40
1.3.1.2. Temperatura 40
1.3.1.3. Cor 41
1.3.1.4. Odor 41
1.3.1.5. Turbidez 42
1.3.2. Características Químicas de Águas Residuárias em Geral 42
1.3.2.1. Determinação da Matérias Orgânica 43
1.3.2.1.1. DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio 43
1.3.2.1.2. DQO - Demanda Química de Oxigênio 44
1.3.2.2. Matéria Orgância 45
1.3.2.2.1. pH 45
1.3.3.3.3. Compostos Tóxicos 45
1.3.2.2.3. Materiais Pesados 46

PÁGINA

1.3.2.2.4. Oxigênio Dissolvido 46
1.3.2.2.5. Gás Sulfídrico 47
1.3.2.2.6. Metano 47
1.3.3. Limites da Poluição 48
1.3.4. Etapas dos Processos de Fabricação de Açúcar e do Álcool. Consumo de Água nos Processos 49
1.3.4.1. Açúcar 49
1.3.4.2. Álcool 51
1.3.5. Sistemas de Utilização de Águas nas Usinas e Destilarias 52
1.3.5.1. Tratamentos Utilizados para Recirculação 53
1.3.5.1.1. Águas de Colunas Barométricas 53
1.3.5.1.2. Águas de Resfriamento na Destilaria 54
1.3.6. Características e Disposição dos Despejos das Indústrias de Açúcar e Álcool 56
1.3.7. Águas de Lavagem de Cana 57
1.3.8. Perdas de Açúcar na Água de Lavagem 60
1.3.9. Tratamento ou Destino Final dos Efluentes das Usinas de Açúcar e Álcool 61
1.3.9.1. Tratamento Preliminar 61
1.3.9.2. Peneiramento 62
1.3.9.3. Sedimentação 62
1.3.9.3.1. Lagoa de Sedimentação 62
1.3.9.3.2. Caixas de Decantação Construídas em Concreto 62

PÁGINA

1.3.9.4. O Processo de Biodegradação e sua Aplicação no Tratamento de Resíduos Líquidos 63

1.3.9.4.1. Nutrição e Respiração 63

1.3.9.4.2. Bio-Oxidação 65

1.3.9.5. Métodos de Fornecimento de Oxigênio e sua Aplicação ao Tratamento Aeróbio 66

1.3.9.6. Tratamento Anaeróbio de Águas Residuárias ... 69

1.3.9.6.1. Generalidades 69

1.3.9.6.2. Modalidades de Tratamento Anaeróbio 70

1.3.9.7. Recomendações que Estão Sendo Dadas aos Usineiros 71

1.3.9.8. Conclusão 72

1.3.10. Tratamento de Água Residuária com Carvão Ativo 72

CAPÍTULO 2 - MATERIAIS E MÉTODOS 76

2.1. Materiais 76

2.1.1. Bagaço de Cana-de-Açúcar 76

2.1.2. Água de Lavagem de Cana 76

2.1.3. Cloreto de Zinco 76

2.1.4. Carvão Ativo 76

2.2. Métodos 77

2.2.1. Preparação do Carvão Ativo 77

2.2.1.1. Variáveis do Método de Ativação 77

2.2.1.2. Metodologia, Preparação e Ativação do Carvão . 77

2.2.2. Caracterização do Carvão Ativo 78

PÁGINA

2.2.2.1. Rendimento 78

2.2.2.2. Teor de Umidade 79

2.2.2.3. pH 79

2.2.2.4. Teor de Substâncias Solúveis em Água 79

2.2.2.5. Teor de Cinzas 80

2.2.3. Descoramento da Água de Lavagem de Cana-de-Açúcar 80

2.2.3.1. Variáveis do Ensaio 80

2.2.3.2. Ensaio de Descoramento 81

2.2.3.3. Determinação da Transmitância da Água de Lavagem 81

2.2.3.4. Aumento Porcentual da Transmitância Após Tratamento 82

2.2.4. Avaliação do Desempenho do Carvão Ativo Pelas Determinações de DQO e DBO na Água de Lavagem de Cana 82

2.2.4.1. Variáveis do Ensaio 83

2.2.4.2. Metodologia do Ensaio 83

2.2.4.3. Determinação de DBO e DQO da Água de Lavagem. 84

2.2.4.4. Diminuições Porcentuais de DBO e DQO Após Tratamentos 84

2.2.5.1. Metodologia do Processo 86

2.2.6. Determinação de Espécies Químicas da Matéria-Prima e dos Carvões Ativos 87

2.2.6.1. Digestão das Amostras 87

PÁGINA

2.2.6.2. Determinações 87

CAPÍTULO 3 - RESULTADOS EXPERIMENTAIS 88

3.1. Caracterização do Carvão Ativo 88

3.1.1. Rendimento 88

3.1.2. Teor de Umidade 89

3.1.3. Teor de Cinzas 89

3.1.4. pH 89

3.1.5. Teor de Substâncias Solúveis em Água 89

3.2. Verificação do Desempenho do Carvão Ativo 89

3.2.2. Verificação da Diminuição do Potencial Poluidor da Água de Lavagem de Cana 90

3.2.3. Adsorção de Iodo 90

3.3. Determinação de Espécies Químicas do Bagaço e dos Carvões Ativos 90

CAPÍTULO 4 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 91

4.1. Caracterização do Carvão Ativo 91

4.1.1. Rendimento do Método de Obtenção do Carvão Ativo 91

4.1.2. Teor de Umidade 92

4.1.3. Teor de Cinzas 92

4.1.4. pH 92

4.1.5. Teor de Substâncias Solúveis em Água 93

4.2. Verificação do Desempenho do Carvão Ativo 93

4.2.1. Verificação do Descoramento da Água de Lavagem de Cana-de-Açúcar 93

PÁGINA

4.2.2. Diminuição do Potencial Poluidor 94

4.2.3. Adsorção de Iodo 94

4.3. Determinações de Espécies Químicas do Bagaço e dos Carvões Ativos 95

CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES 96

5.1. Conclusões Gerais 96

5.2. Conclusões Específicas 99

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 104

TABELAS I a XXXI 119

FIGURAS 1 a 3 151

LISTA DE TABELAS

NÚMERO		PÁGINA
I	CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS DAS FIBRAS DE BAGAÇO	119
II	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE BAGAÇO INTEGRAL (D_o) E DESMEDULADO (D_1)	120
III	ÁREA SUPERFICIAL DE ALGUNS MATERIAIS	121
IV	CARVÃO ATIVO - MATÉRIA-PRIMA	121
V	PROPRIEDADES FÍSICAS DE CARVÕES ATIVOS (BAGAÇO DE CANA)	122
VI	CONDIÇÕES DE LANÇAMENTO DE DESPESOS LÍQUIDOS	123
VII	LIMITES ESTABELECIDOS CONFORME AS CLASSES.	124
VIII	CONSUMO DE ÁGUA NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO AÇÚCAR (m^3/TCH)	125
IX	CONSUMO DE ÁGUA EM UMA DESTILARIA (m^3/1000 LITROS DE ÁLCOOL PRODUZIDO)	126
X	EFLUENTES LÍQUIDOS PRODUZIDOS POR UMA USINA DE AÇÚCAR E DESTILARIA ANEXA	127
XI	CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS RESÍDUOS DA FABRICAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR E ÁLCOOL. VALORES RELATIVOS A 15 USINAS DO ESTADO DE SÃO PAULO	128

NÚMERO		PÁGINA
XII	CARACTERÍSTICAS DE ÁGUAS DE LAVAGEM DE CANA, USINA ESTER, COSMÓPOLIS, ESTADO DE SÃO PAULO	129
XIII	ATIVIDADE MICROBIANA EM ÁGUAS DE LAVAGEM DE CANA EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES	129
XIV	VALORES DE AÇÚCARES, EXPRESSOS EM GRAMAS DE SACAROSE/I, OBTIDOS NAS ANÁLISES DE ÁGUA DE LAVAGEM DE CANA, NA COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS COLORÍMETROS DA ANTRONA, SOMOGY & NELSON E DO ÁCIDO DINITROSALICÍLIO (DNS) .	130
XV	CARACTERIZAÇÃO DOS CARVÕES OBTIDOS	131
XVI	VARIAÇÃO % DE DESCORAMENTO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE CANA	133
XVII	JUNÇÃO DAS TABELAS XV E XVI	135
XVIII	NÍVEIS DAS VARIÁVES DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO CARVÃO ATIVO	137
XIX	INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO, TEMPO DE ATIVAÇÃO E CONCENTRAÇÃO DE AGENTE ATIVANTE NO RENDIMENTO	138
XX	INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO, TEMPO DE ATIVAÇÃO E CONCENTRAÇÃO DE AGENTE ATIVANTE NO TEOR DE CINZAS	139

NÚMERO		PÁGINA
XXI	NÍVEIS DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE DESCORAMENTO PARA CADA AMOSTRA DE CARVÃO ATIVO.	140
XXII	INFLUÊNCIA DO TEMPO E DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO E DA CONCENTRAÇÃO DE AGENTE ATIVANTE NA VARIAÇÃO % DE TRANSMITÂNCIA A (460nm)	140
XXIII	VALORES DE DBO E DQO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR	142
XXIV	PODER ADSORVENTE (ADSORÇÃO DE IODO).....	143
XXV	IODO ADSORVIDO NO TRATAMENTO COM CARVÃO ATIVO	144
XXVI	ISOTERMA SEGUNDO FREUNDLICH - CARVÃO PREPARADO EM 500°C, 60 MIN., SEM AGENTE ATIVANTE	145
XXVII	ISOTERMA SEGUNDO FREUNDLICH - CARVÃO PREPARADO EM 500°C, 60 MIN., 30% DE AGENTE ATIVANTE	146
XXVIII	ISOTERMA SEGUNDO FREUNDLICH - CARVÃO PREPARADO EM 500°C, 60 MIN., 60% DE AGENTE ATIVANTE	147
XXIX	ISOTERMA SEGUNDO FREUNDLICH - CARVÃO ALEMÃO	148
XXX	COMPOSIÇÃO DA CANA E DO BAGAÇO UTILIZADO .	149
XXXI	ESPÉCIES QUÍMICAS	150

LISTA DE FIGURAS

NÚMERO			PÁGINA
FIGURA 1	-	SISTEMA DE ÁGUAS UTILIZADO PELAS USINAS .	151
FIGURA 2	-	CURVAS DE ADSORÇÃO	152
FIGURA 3	-	ISOTERMAS SEGUNDO FREUNDLICH	153

INTRODUÇÃO

O carvão ativo é um adsorvente universal, de uso bastante difundido e, desde sua introdução no começo deste século, tem sido aumentado consideravelmente o seu emprego, devido às novas aplicações encontradas.

O bagaço de cana-de-açúcar é um resíduo da Indústria Sucro-Alcooleira e nos últimos anos tem se buscado novas aplicações para o mesmo além de servir como combustível de caldeira.

A água de lavagem de cana é um resíduo com elevada carga poluidora além de ser imenso o seu volume.

O objetivo do trabalho é conseguir um carvão ativo de bagaço de cana que possa ser utilizado em tratamento preliminar de água de lavagem de cana visando diminuir o seu potencial poluidor.

No Brasil, o tratamento de água de lavagem de cana utiliza lagoas com imenso volume, deixando assim uma área enorme impossibilitada de ser utilizada para plantio. O tratamento é encarecido com a utilização de grande quantidade de óxido de cálcio para acerto de pH.

O tratamento preliminar com o carvão ativo será para amenizar esses problemas.

A opção do uso do carvão ativo de bagaço de cana-de-açúcar para um tratamento parcial foi apresentado por causa

de grande quantidade atual de sobra de bagaço. Além de existir poucos trabalhos sobre carvão ativo de bagaço e além do mais, a necessidade de buscar novos métodos de complementação ou tratamento para as águas residuárias das Indústrias Sucro-Alcooleiras.

A verificação da possibilidade de utilização do carvão ativo de bagaço de cana no tratamento da água de lavagem de cana será pela sua diminuição de côr além da diminuição de DBO e DQO.

CAPÍTULO 1

REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Bagaço de Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar, "Saccharum Officinarum", no Brasil, é a principal matéria prima da nossa Indústria Sucro-Alcooleira.

O bagaço é o resíduo fibroso resultante da moagem do colmo da cana-de-açúcar na extração do caldo, que consiste de fibras e células de medula numa proporção aproximadamente de 65% para 35% respectivamente (8, 12, 25, 64, 65, 69, 80, 82, 85, 90, 94, 96, 99).

1.1.1. Características Físicas e Químicas do Bagaço

1.1.1.1. Características Físicas do Bagaço

A estrutura física do bagaço consiste de três principais componentes: dois fibrosos e um não fibroso.

Os feixes fibrovasculares e os segmentos da casca constituem os elementos fibrosos, denominados de "fibras".

Um tecido parenquimatoso, constituído de células frouxas, curtas, largas e de baixa resistência à penetração, representa o elemento não fibroso chamado de medula (pith).

A Tabela I mostra as dimensões desses elementos (69, 74, 99, 130).

Valsechi (129), baseado numa extensa bibliografia, resumiu as dimensões dos elementos celulósicos, assim:

- Fibra - comprimento variável de 0,8 a 5,0mm (em média 2mm)
  - diâmetro de 0,01 a 0,04 (em média 0,02mm).
- Parênquima - comprimento aproximado 0,80mm e diâmetro de 0,14mm.
- Segmentos fibrosos da casca - comprimento 0,25mm a 1,35mm e diâmetro ao redor de 0,15mm.

1.1.1.2. Características Químicas do Bagaço

O bagaço de cana apresenta uma gama de fatores variáveis relativos à composição da cana, natureza, condições climáticas, tipo de solo e à intensidade dos métodos de extração.

Os métodos analíticos usados por diferentes autores e os fatores citados justificam as variações nos números representativos da composição do bagaço, encontradas na Bibliografia.

O bagaço ao sair da moenda contém de 48% a 50% de umidade, sendo 45% a 48% de matéria seca insolúvel em água e 2% a 5% de material solúvel em água; seco ao ar contém de 8% a 14% de água (2, 8, 12, 49, 68, 72, 96, 99, 129)(base úmida).

A fibra, principal componente combustível do bagaço é tecnologicamente definida como a fração insolúvel em água. Quimicamente é constituída de celulose, pentosanas, lig-

nina, sais etc., cujas proporções são as seguintes: celulose 45%; pentosanas 25%; lignina 20%; cinzas 2%; outros 8%.

A análise elementar da fibra revela a seguinte composição média: carbono 47,0%; hidrogênio 6,5%; oxigênio 44,0%; cinzas 2,5% (80, 96, 99).

Peso específico aparente é característica que depende principalmente do grau de umidade do bagaço. Para um valor médio de 48%, o peso específico aparente pode atingir os seguintes valores: solto 80 - 120kg/m^3; amontoado 160-240kg/m^3 e enfardado 400-600kg/m^3 (80, 96, 99).

A Tabela II reproduz a composição aproximada de bagaço integral e desmedulado da região de São Paulo (69, 83, 130).

As diferenças existentes nas proporções de celulose, lignina, pentosanas e cinzas, são funções da variedade, da idade da cana, do tipo de separação utilizado e do tempo de estocagem (60, 68, 80, 96, 99).

1.1.2. Utilizações do Bagaço

O bagaço pode ser usado para:

- Combustível.
- Obtenção de celulose e papel.
- Obtenção de furfural e seus derivados.
- Obtenção de carvão.
- Obtenção de metano.
- Obtenção de metanol.

- Obtenção de fibras aglomeradas.
- Obtenção de plásticos.
- Componente de concreto.
- Produção de rações.

Além das utilizações mencionadas, diversos outros usos podem ser conseguidos (13, 15, 80, 83, 93, 96, 99).

1.1.3. Sobra de Bagaço

Com o crescente e contínuo aumento da produção nacional de álcool, prevê-se uma grande sobra de bagaço nos próximos anos (13, 15, 93, 96).

Admite-se até 20% de sobra de bagaço para as Usinas com destilarias anexas e de até 40% para as destilarias autônomas (15).

No Norte-Nordeste a porcentagem de fibra de cana é de 14% a 17% enquanto no Centro-Sul é de 11% a 13%. Estes valores mostram que na primeira região a produção média de bagaço por tonelada de cana gira em torno de 330kg, enquanto que na região Centro-Sul é de 250kg.

Quando a meta de produção de álcool de 10,7 bilhões de litros for atingida e supondo-se que o rendimento industrial médio de álcool seja de 70 litros por tonelada de cana, a quantidade de matéria prima necessária à consecução daquela meta deverá ser aproximadamente 153 milhões de toneladas. Supondo-se, ainda, que 60% da produção seja atribuída a região Sul, a quantidade total de bagaço será de:

Norte-Nordeste: 153.10^6 x 0,40 x 0,33 = 20 196 000 toneladas

Centro-Sul: 153.10^6 x 0,60 x 0,25 = 22 950 000 toneladas

Total = 43 146 000 toneladas

Se a sobra média for da ordem de 25%, a disponibilidade naquela data atingirá, aproximadamente, a 11 milhões de toneladas.

A este valor deve-se acrescentar a quantidade oriunda da moagem de cana para a produção de açúcar, cuja estimativa para 1985-87, da um montante aproximado de 5,5 milhões de toneladas, que somadas aos 11 milhões provenientes da Indústria Alcooleira, atingem a 16,5 milhões de toneladas de bagaço (93, 96).

1.2. Carvão Ativo

1.2.1. Histórico

A propriedade de carvão vegetal remover corantes de soluções era conhecida no século XV mas a data registrada é de 1785. Em 1971 Scheele e Fontana descreveram a adsorção de gases. Poucas informações existiam até 1811 quando Figuier descobriu que o carvão de ossos era mais efetivo do que o carvão de madeira para processos de descoramentos. Poucos anos depois o carvão de ossos foi empregado em escala industrial para purificação de açúcar (98).

Em 1822, Bussi descobriu que os carvões produzidos por aquecimento de sangue com hidróxido de potássio possuiam 20 a 50 vezes mais o poderdescorante do carvão de ossos, e por alguns anos, Carvão de sangue foi empregado em trabalhos de laboratórios que requeriam um grande poder de adsorção. Stenhouse em 1856 preparou um carvão por aquecimento de mistura de farinha de madeira e carbonato de magnésio; Lee em 1853 preparou carvão desodorizante pela ação de vapor e ar quente em materiais que continham carbono.

Outros processos foram patenteados durante o século XIX muitos dos quais, similares aos processos agora usados industrialmente. Vários fatores são causa de atraso no desenvolvimento industrial do carvão ativo (98). A produção do carvão ativo requer muito mais cuidado no controle do meio ambiente de ativação do que para o carvão de osso, e instrumentação adequada para tais controles não eram disponíveis até recentemente. Entretanto, mais recentemente, purificações industriais puderam ser satisfatoriamente executadas com carvão de de ossos.

Existem algumas importantes aplicações do carvão ativo, sugeridas recentemente.

A proteção contra gases tóxicos foi sugerida em 1872 e a purificação de suprimento de água é recente. Perto de 1900, Ostrejko desenvolveu dois importantes processos de ativação; num desses, o carvão é submetido à oxidação controlada com CO_2 e alta temperatura; outro consiste de incorporação de cloretos metálicos com materiais da fonte, antes da

carbonização. Ostrejko também projetou equipamentos apropriados para conduzir o processo e seu trabalho deu a base para o desenvolvimento industrial do carvão ativo (98). Eponit, o primeiro carvão ativo em pó, foi produzido na Europa em 1909, seguido por Norit em 1911 e por Carboraffin em 1915.

O recente carvão americano, Filtchar foi produzido em 1913, melhorado e oferecido como Superfiltchar em 1916 e outra vez melhorando em 1922 tornou-se Nuchar e Suchar. Outros carvões ativos americanos desenvolvidos após 1913 incluem Carbrox em 1917, Kelpchar em 1920 e Darco em 1921 (98).

O interesse sobre o carvão ativo cresceu muito após a Primeira Guerra Mundial, onde o mesmo foi usado contra gases tóxicos. Até a conclusão da guerra, epequisas desenvolveram importantes aplicações para carvões ativos, tal como, recuperação de solventes, extração de benzeno de fabricaçao de gases e eliminação de odor (98).

Atualmente o uso de carvão ativo cresceu muito, como veremos a seguir.

1.2.2. Mercados

O carvão ativo é um adsorvente universal, de uso bastante difundido e, desde sua introdução no começo deste século, tem sido aumentado consideravelmente o seu emprego, devido às novas aplicações encontradas. Até 1960, a quase totalidade de carvões ativos fabricados era consumida para refino

de açúcares e tratamento de água. Foi a partir desta década que se aceleraram os estudos a fim de se conhecer mais fundamentalmente a natureza dos carvões ativos, daí advindo o grande progresso no seu mercado atual (56).

1.2.3. Generalidades

Carvões ativos são fabricados por meio de carbonização e ativação de materiais carbonáceos, quase que exclusivamente de origem vegetal. Devido ao grande interesse prático, o processo de ativação tem sido bastante estudado últimamente (23, 54, 89, 116).

Comercialmente, há dois tipos distintos de carvões ativados. Um tipo é apropriado para adsorção de gases e outro é usado para tratamento em meio líquido, para remoção de cor, odor e sabor e outras impurezas (54, 56, 89).

As características dos carvões ativados variam com a natureza da matéria prima usada, com as condições de ativação e com a natureza dos agentes ativantes(91). Consequentemente, carvões fabricados por diferentes processos terão propriedades de adsorção diferentes e, portanto, poderão ter uso diversificado (52). As razões pelas quais ocorrem tais diferenças não são muito bem conhecidas.

Basicamente, existem dois processos para a fabricação de carvão ativo. Um deles consiste em preparar inicialmente o carvão, por carbonização simples do material, em ausência de oxigênio e, a seguir, um processo de ativação com

vapor de água superaquecido ou gás. O outro processo consiste em fazer um pré-tratamento da matéria prima com agente ativante químico e, a seguir, proceder-se ao processo de carbonização na ausência de oxigênio (29, 34, 50, 54, 89, 104, 116, 133).

1.2.4. Conceito e Estrutura

O carvão ativo é um material carbonáceo poroso, fabricado a partir dos mais diversos tipos de materiais orgânicos, por processo de pirólise e ativação. Sua mais importante propriedade é o grande poder de adsorção, que se deve principalmente à estrutura porosa altamente desenvolvida (32, 105, 111, 116).

Dentro do grupo dos materiais carbonáceos, o carvão ativo pode ser classificado como amorfo. No grupo cristalino encontra-se a grafita e o diamante. A estrutura é próxima à da grafita apenas com um menor ordenamento. A estrutura da grafita consiste de planos, nos quais os átomos de carbono estão arranjados em retículos hexagonais. Cada átomo, exceto os das extremidades, está preso por ligações covalentes a três outros átomos de carbono (116).

Existem algumas divergências a respeito da classificação do carvão ativo como amorfo, pois alguns autores admitem que ele tenha uma estrutura microcristalina (52). Assim, foram propostos dois tipos de estrutura para o carvão ativo: primeira seria formada por cristalitos elementares, que

são cristais de dimensões sub-microscópicas, diferindo vagamente da estrutura da grafita; o segundo tipo de estrutura se caracteriza principalmente por um desordenamento dos hexágonos de carbono, resultado da deflexão dos planos da camada grafítica.

Os citados cristalitos podem ser formados através de diversos mecanismos. Durante a pirólise, as substâncias orgânicas são quebradas e os fragmentos resultantes se agrupam, formando a estrutura aromática termo-estável, que existe nos hexágonos.

Estas transformações não são completas, ficando alguns resíduos de cadeias de hidrocarbonetos e anéis. Presume-se que estas cadeias residuais ligam-se quimicamente a átomos das extremidades dos cristalitos.

A presença destes hidrocarbonetos ligados, bem como outros elementos que podem estar presentes como hidrogênio e oxigênio, afetam o poder de adsorção e também outras propriedades do carvão. Também podem estar presentes minerais, que constituem as cinzas. As cinzas provém do material original ou mesmo do agente químico ativante incorporado à matéria prima antes da pirólise. As cinzas do material original influenciam sobremaneira o processo de pirólise, modificando a velocidade de volatização e a temperatura em que ocorrem as reações (61, 102). O oxigênio e o hidrogênio são derivados do material inicial e permanecem na estrutura do carvão ativo como resultado de carbonização imperfeita, ou se ligam quimicamente à superfície durante a ativação (52).

O teor de cinzas e sua composição varia enormemente com o tipo de carvão ativado. Em geral, o teor relativo de cinzas aumenta nos carvões com o aumento do grau de carbonização e de ativação do material inicial. A presença de cinza pode influenciar bastante as propriedades de adsorção do carvão ativado (52).

1.2.5. Estrutura Porosa

Durante o processo de carbonização, os espaços entre os cristalitos elementares esvaziam-se de vários compostos carbonáceos, como também, carbono é parcialmente removido das camadas grafíticas desses cristalitos. O processo de oxidação que toma lugar dá-se preferencialmente sobre os hidrocarbonetos que foram depositados na superfície durante o estágio de carbonização. Supõe-se que pela remoção dos hidrocarbonetos, a superfície do carvão adquire espaços vazios onde poderá adsorver e, mesmo, atrair outras substâncias. Estes vazios, denominados poros, podem variar de tamanho, classificando-se em micro-poros, poros intermediários e macro-poros. Os micro-poros possuem raios até $5x10^{-7}$cm, os intermediários de $5x10^{-7}$cm a $5x10^{-6}$cm, e os macro-poros possuem raios acima de 10^{-5}cm(116).

O poder de adsorção do carvão se deve a esta estrutura de poros formada, pois conferem uma alta área superficial do carvão ativo.

Na maioria das vezes, o aumento de atividade ou poder de adsorção decorre de um aumento da área superficial da

substância adsorvente ou, mais precisamento, de um aumento do número de centros ativos que ficam disponíveis na superfície da substância.

O número de centros ativos por unidade de superfície depende da estrutura cristalina da substância sólida, dos seus defeitos, deslocamentos e tensões internas provodadas por inclusões de átomos ou moléculas na estrutura (35, 70).

A variação da área dos carvões ativos está na faixa de 500-2000m^2/g, dependendo do processo bem como de matéria prima. Isto pode ser constatado na Tabela III, a qual apresenta alguns valores para a área superficial de algumas substâncias (36, 70).

1.2.6. Matérias Primas

Muitos materiais têm sido usados para fabricação de carvões ativos, materiais estes quase exclusivamente de origem vegetal, tais como: madeiras de diferentes espécies, carvões minerais, ossos de animais, materiais residuais como cascas, caroços de frutas, resíduos de fábricas de celulose e outros (11, 32, 35, 36, 55, 56, 73, 77, 98, 115, 133).

Na Tabela IV, tem-se uma relação dos principais produtores Norte Americanos de carvão ativo com as respectivas matérias primas usadas (70, 111).

Por carbonização desses materiais na ausência de ar e sem adição de qualquer agente ativante, forma-se um

produto praticamente inativo com área superficial que pode variar desde 160 até 400m^2/g (104). É somente por tratamento do material carbonizado com gases oxidantes ou por adição de agentes ativantes à matéria prima seguida de pirólise, que se poderá obter um material com área superficial bem desenvolvida.

A natureza da matéria prima empregada influi sobremaneira nas características do produto final, além de determinar o processo de ativação a ser usado. No Brasil, carvão ativo é fabricado quase que exclusivamente de nó de pinho.

Alguns autores mencionam que madeiras moles, resinosas, na forma de serragem, cascas de cocos, podem fornecer carvões de ótimas propriedades descorantes. Além disso tais materiais devem ser ativados por processos químicos (1, 44, 116).

Outra matéria prima estudada é a casca de coco, que tem fornecido excelentes carvões ativos para adsorção gasosa, com elevada área superficial (38, 91, 122, 128).

1.2.7. Processos de Ativação ou Produção de Carvão ATIVO

1.2.7.1. Generalidades

Na grande maioria, os diversos processos de ativação são variações de um procedimento básico, que é a carbonização ou pirólise da matéria prima, um estágio que é usualmente, mas não necessariamente, seguido pelo estágio de oxida-

ção controlada (52).

A pirólise é usualmente efetuada na ausência de ar e aumentando-se gradualmente a temperatura e as principais reações ocorrem nas principais faixas (53):

- de 140 a 180°C, há emissão principalmente de água;
- de 270 a 280°C, tem lugar reações de decomposição exotérmicas, havendo liberação de grandes quantidades de CO_2 e CO e um destilado líquido, que contém ácido acético, seus homólogos e metanol; no fim deste estágio há emissão de alcatrões leves e pesados;
- de 380 a 400°C, há formação insignificante de produtos líquidos e gases como: CO_2, CO e hidrocarbonetos.

Alguns autores citam que é preferível fabricar carvões a temperaturas abaixo de 600°C, a fim de produzir carvões mais propriados para ativação com vapor de água (52).

1.2.7.2. Processo Químico

O processo químico de ativação é usado quase que exclusivamente para materiais residuais como serragens de madeiras e cascas de coco. Consiste em misturar a matéria prima a uma solução de agente químico ativante e, a seguir, carbonizar a mistura resultante na ausência de oxigênio.

Entre as substâncias que podem ser utilizadas como agente químico ativantes, destacam-se; cloreto de zinco ($ZnCl_2$), sulfeto de potássio (K_2S), tiocianato de potássio (KCNS), ácido sulfúrico (H_2SO_4), hidróxido de sódio (NaOH),

cloreto de cálcio ($CaCl_2$), ácido fosfórico (H_3PO_4) e outros menos usados.

A matéria prima de partida é tratada com agente químico ativante na forma de solução concentrada. O material impregnado é aquecido em forno elétrico, na ausência de oxigênio. O produto carbonizado é resfriado e lavado, sendo recuperado o agente químico ativante (116).

O agente de ativação influencia sobremaneira o processo de pirólise, diminuindo a formação de alcatrões e a quantidade da fase aquosa no destilado (ácido acético, metanol e outros). Por outro lado, há um aumento considerável da quantidade de carvão formada (116). O cloreto de zinco tem o efeito de diminuir a velocidade de pirólise e aumentar as cinzas (102). As temperaturas utilizadas estão na faixa de 400Cº a 1000°C, mas utilizando cloreto de zinco, a temperatura ótima será entre 600 e 700°C (116).

1.2.7.3. Processo Físico

Erroneamente chamado de processo físico de ativação é basicamente um processo de oxidação do carvão. A matéria prima é inicialmente transformada em carvão por processo de pirólise e o produto é, a seguir, submetido a ação de gases oxidantes, como, por exemplo, vapor de água, ar ou dióxido de carbono, a elevadas temperaturas.

Ocorrem reações básicas de oxidação como (52):

$H_2O+C_x \longrightarrow H_2+CO+C_{x-1}$ (a 800-900°C)

ou

$CO_2+C_x \longrightarrow 2CO+C_{x-1}$ (a 800-900°C)

ou

$O_2+C_x \longrightarrow 2CO+C_{x-2}$ (a 800-900°C)

ou

$O_2+C_x \longrightarrow CO_2+C_{x-1}$ (abaixo de 600°C)

À altas temperaturas os agentes oxidantes volatizam os hidrocarbonetos superficiais, que foram depositados na superfície do carvão, durante o processo de carbonização. Por este processo, o carvão fica com poros vazios, tornando-os próprios para adsorver certas substâncias. Assim é, que a maioria dos processos de ativação envolve uma oxidação lenta de matéria prima; esta oxidação é seletiva no que diz respeito aos constituíntes ricos em hidrogênio originalmente presentes. Alguns autores citam que existe uma certa correlação entre a atividade do carvão e o teor de hidrogênio do produto, ou seja, a atividade aumenta ao se diminuir o teor de hidrogênio (70).

Nestes processos de ativação por oxidação, as características de adsorção são determinadas por (32, 52):

- natureza química e concentração de gás oxidante
- temperatura da reação
- extensão da ativação
- quantidade e composição dos compostos inorgânicos existentes no carvão.

A maioria dos processos estudados ou patenteados por ativação gasosa, se realizam em leito fluidizado, a temperaturas variáveis entre 800-1000°C.

Nos Estados Unidos, onde são mais empregados tais processos, usa-se vapor de água para oxidação dos carvões, em temperaturas que vão desde 700 a 1000°C (52).

1.2.8. Uso do Carvão Ativo

As primeiras aplicações significativas dos carvões ativos foram no campo de refino de açúcar, realizados em meio líquido. Atualmente, nos Estados Unidos e Brasil, praticamente metade da produção de carvão ativo se destina a tratamento de águas municipais e refino de açúcar. Existem muitos outros usos industriais, pois a adsorção é meio de separação bastante eficiente para substâncias dissolvidas em concentrações relativamente baixas: às vezes é impraticável destilar ou dialisar um grande volume de líquido, para concentrar uma pequena quantidade de material, ou mesmo, evaporar um grande volume para cristalizar uma pequena quantidade de soluto (44, 132).

Assim é que, devido à estrutura porosa e alta área superficial dos carvões ativos e ao poder de acumular e reter uma grande variedade de substâncias, se tem notado um rápido crescimento em suas aplicações. Há dois tipos gerais de carvões ativos: para adsorção de gases, que adsorvem impurezas de gases ou para recuperar vapores valiosos, e para tratamento

de líquidos, que removem impurezas de soluções líquidas. As diferenças físicas entre os dois tipos residem principalmente em volume dos poros, área superficial e distribuição do tamanho dos poros.

Um carvão ativado para tratamento em meio líquido apresenta uma curva de distribuição de poros com três picos distintos. Estes picos correspondem aos poros com as seguintes faixas de variação:

a) micro-poros com raios de $5x10^{-8}$ a $5x10^{-7}$cm;

b) poros intermediários com raios entre $5x10^{-7}$ a $5x10^{-6}$cm e

c) macro-poros com raios acima de 10^{-5}cm (45, 47).

Os carvões ativados para adsorção de gases não apresentam esta mesma distribuição de poros. Eles exibem picos de micro-poros e macro-poros e muito poucos poros na região intermediária (44).

Comparando dois tipos de carvões, o primeiro pode ser melhor do que o segundo para determinadouso, mas pode ser inferior para um outro determinado uso (54).

Trocando-se o solvente, altera-se o poder adsortivo relativo de certos carvões (54, 98).

1.2.9. Aplicações do Carvão Ativo

1) No tratamento do açúcar na refinaria no lugar de carvão de ossos.

2) No tratamento de óleos comestíveis e banha

para remoção da cor e impurezas tóxicas.

3) Na Indústria Alimentícia para melhorar a cor e o sabor

4) Na Indústria de Bebidas Alcoólicas para dar sabor agradável e melhores qualidades.

5) Nas Indústrias de Produtos Químicos e Farmacêuticos em seus processamentos.

6) Na recuperação de solventes.

7) Nos suprimentos de água potável.

8) Na recuperação de ouro e iodo.

9) Como agente catalítico.

10) Em adsorção de gases e vapores.

11) Purificação de resíduos industriais.

12) Inúmeros outros processos.

1.2.9. Exemplos de Algumas Aplicações do Carvão Ativo (10, 29, 34, 51, 52, 98, 105, 111, 121, 133)

1.2.9.1. Aplicações em Adsorção de Gases e Vapores em Mistura com o Ar

As aplicações são bastante amplas e citam-se principalmente:

- Recuperação de Solventes: Muitos solventes utilizados em Indústrias Químicas são bastante voláteis e seus vapores podem

contaminar a atmosfera de trabalho. Isto pode ocasionar danos à saúde, além da alta periculosidade ambiental devido a explosões que podem ocorrer. Juntamente com estes fatos, esta quantidade de solvente vaporizada pode representar uma considerável parcela do custo de operação na Indústria. Tudo isto torna muito apropriado uma recuperação destes gases. Os carvões ativados são muito utilizados nestas recuperações, por serem efetivos, seguros, práticos e econômicos(52). A tecnologia é simples e já se encontra bem desenvolvida. Nestes processos, o ar que contém o vapor do solvente a ser recuperado é forçado a passar através de um leito de carvão ativo, onde o solvente é adsorvido. A recuperação do solvente é feita por processo de dessorção com vapor de água, sendo recuperado, a seguir, por condensação. O carvão ativo é, a seguir, seco e resfriado para novamente adsorver mais substâncias (116).

- Desodorização do Ar: É feita quando se deseja ambiente isento de odores desagradáveis, principalmente em ambiente de trabalho, restaurantes, etc (116).

1.2.9.2. Separação de Hidrocarbonetos Gasosos

As aplicações mais generalizadas são: recuperação de benzeno de torres, recuperação de hidrocarbonetos de gases naturais e separação de misturas por adsorção contínua (116).

1.2.9.3. Aplicações Industriais do Carvão Ativo em Soluções

1.2.9.3.1. Alimentos

Na produção de bebidas, especialmente vinho, é usado para ajustar a cor, ou para remover odores indesejáveis (52).

Para produção de cervejas, é bastante usado para melhorar a qualidade, removendo matérias corantes e aromas desagradáveis provenientes de fenóis (52).

Para refino de óleos e gorduras, o carvão ativo é usado para branqueamento, juntamente com argilas ativadas (116).

1.2.9.3.2. Fabricação de Açúcar

O carvão ativo é principalmente usado na Indústria Açucareira para remover matérias corantes de soluções. Remove também substâncias nitrogenadas e colóides liofílicos. Além disso, o carvão ativo promove a filtrabilidade de caldas e xaropes, aumentando também a velocidade de cristalização (86, 107).

1.2.9.3.3. Indústria Química

O mais antigo e largo uso do carvão ativo na Indústria Química é como agente descorante de substâncias orgânicas, em meio líquido. É usado para remover impurezas poliméricas, que podem escurecer o produto final e produzir sérias dificuldades nos processos, especialmente cristalização. Também ajuda a remover substâncias coloidais e sólidas, por um aumento da tendência à floculação.

1.2.9.3.4. Remoção de Fenóis de Águas Residuárias

Fenóis podem trazer problemas muito graves de poluição de águas. Muitas Indústrias têm dificuldades de se desembaraçarem de fenóis, entre elas: Indústria de Processamento de Carvões Minerais, Celulose, Produção de Fenol Sintético, Plásticos, Tintas e outras. Os fenóis conferem alta toxidez às águas onde são jogados, mesmo a concentrações muito baixas (52). Sua presença torna impossível o uso das águas para consumo humano.

Muitos processos já foram desenvolvidos para remoção de fenóis de águas, com bons resultados, especialmente quando realizados com carvão ativo (40, 78).

1.2.9.3.5. Refino de Óleos Minerais

Apesar de o carvão ativo ser um adsorvente altamente efetivo, para refino de óleos minerais, não é muito usado devido ao seu elevado preço. Sua aplicação é muito mais significativa no campo de refino de óleos vegetais. Para óleos minerais, usam-se preferencialmente, argilas, sílicas e alguns outros adsorventes polares (52).

1.2.9.4. Aplicações do Carvão Ativo Baseadas nas suas Propriedades Catalíticas e na sua Reatividade

1.2.9.4.1. Tratamento de Água Potável

O principal objetivo é retirar cheiros e sabores, como também eliminar possíveis agentes contaminantes. Os materiais que conferem gostos e sabores podem vir de muitas fontes. A grande maioria das substâncias é de natureza orgânica (57, 62). O uso de agentes químicos para abrandamento ou desinfecção das águas, pode provocar cheiros e sabores desagradáveis, sendo prejudicial em muitos casos. O carvão ativo tem sido a ferramenta usada com mais sucesso para a remoção de cheiros e odores. Sendo insolúvel, o carvão não contamina a água e pode ser removido facilmente por filtração ou sedimentação.

Um dos importantes estágios do tratamento de águas municipais é a cloração, que serve para desinfecção como também decompor muitos materiais orgânicos presentes na água. Um excesso de cloro na fase final de tratamento deve ser removido por adsorção através de um leito de carvão ativado. Na superfície do carvão ocorre a seguinte reação:

$$C + 2Cl_2 + 2H_2O \longrightarrow CO_2 + 4HCl$$

Um poluente que traz problemas sérios é o fenol, que durante o estágio de cloração se transforma em cloro fenol, que possui cheiro repugnante. O carvão ativo remove, com bastante eficiência estes compostos (116).

1.2.9.4.2. Desulfurização de Gases Industriais

O carvão ativo é usado para desulfurização de gases industriais, pois catalisa a oxidação de sulfeto de hidrogênio com oxigênio:

$$2H_2S + O_2 \longrightarrow 2H_2O + 2S + \Delta H$$

O enxofre formado deposita-se nos poros do carvão ativo (116).

1.2.9.4.3. Catalisador na Indústria Química

O carvão ativo possui não apenas propriedades

de adsorção, mas também importantes propriedades catalíticas que são a base para muitas de suas aplicações industriais. Sua atividade catalítica é devida a sua superfície e compostos superficiais de carbono e inorgânicos. O carvão ativo pode catalisar um número grande de reações de oxidação, hidrólise e decomposição. No entanto, muito pouco é conhecido sobre os mecanismos dessa catálise (116).

1.2.9.5. Usos em Laboratório

É muito usado para descoloração de soluções, em separações e para isolar compostos. Pode ser usado também como suporte em colunas de cromatografia para análise de misturas gasosas (116).

1.2.10. Adsorção em Carvão Ativo

Toda aplicação industrial do carvão ativo se baseia fundamentalmente na manifestação de sua propriedade de adsorção.

A adsorção é um fenômeno físico-químico, pelo qual um sólido fixa as moléculas de uma determinada substância sobre sua superfície; por superfície entendendo-se não apenas a superfície externa, mas também a superfície interna das paredes dos poros deste sólido. Na adsorção, a substância adsorvida é retida pelo adsorvente e, no caso de gases e vapores, ocor

re como que uma liquefação na superfície dos poros, o que permite a adsorção de grandes quantidades. O sólido é normalmente designado de adsorvente, enquanto o gás ou o líquido é o adsorbato.

As moléculas a serem retidas pelo adsorvente alcançam a sua superfície de diversas e variadas maneiras, bastante complexas. Sob condições estáticas, isto toma lugar por meio de difusão normal, devido a um gradiente de concentração. Sob condições dinâmicas, devem ser considerados também fluxos de convecção, podendo haver regime laminar ou turbulento. Quando as moléculas alcançam a superfície externa do adsorvente, elas podem penetrar na sua superfície interna de diferentes maneiras: difusão nos poros; difusão superficial (migração); por fluxo viscoso na fase adsorvida, através da transferência do adsorbato condensado em capilares, ou pela ação de forças capilares. (116).

Em geral, a natureza química das moléculas adsorvidas permanece a mesma no processo de adsorção física ou de van der Waals. Pode-se ter também adsorção química, onde são trocados ou compartilhados elétrons entre o adsorbato e a superfície do adsorvente, ocorrendo uma reação química. A ligação formada entre o adsorbato e o adsorvente é mais forte do que a que ocorre na adsorção física. A principal diferença que reside entre os dois tipos de adsorção é a grandeza do calor de adsorção liberado durante a interação adsorbato-adsorvente. Na adsorção física de gases o calor de adsorção é usualmente da mesma ordem de grandeza dos seus calores de condensação, ou

seja, da ordem de algumas kcal/mol. Na adsorção química, o calor de adsorção é usualmente maior e é comparável com as energias das ligações químicas, sendo da ordem de 10^4 a 10^5cal/mol (116).

1.2.10.1. Isotermas de Adsorção

1.2.10.1.1. Generalidades

A fim de se caracterizar o estado de equilíbrio de um determinado sistema, onde toma lugar o fenômeno da adsorção, numa certa temperatura, lança-se mão das isotermas, desenvolvidas teórica e experimentalmente. As isotermas fornecem importantes características do adsorvente como: área superficial; volume; distribuição e tamanho dos poros; grandeza do calor de adsorção e o coeficiente de afinidade, que expressa a adsorbabilidade relativa de um vapor ou gás, de um dado adsorvente, em relação a um padrão escolhido (59, 61, 116).

A equação mais simples de uma isoterma de adsorção é a relação que expressa a proporcionalidade entre a quantidade adsorvida e a pressão ou concentração do equilíbrio do adsorbato na fase gasosa. Esta equação representa a isoterma de Henry ou isoterma linear, pois é decorrente da similaridade com a lei de Henry, para dissolução de gases em líquidos.

No entanto, as equações mais utilizadas, para definir o estado de equilíbrio de um sistema de adsorção, são as que fornecem as isotermas de Langmuir e Freundlich. A equação de Langmuir é mais apropriada para adsorção de gases e vapores e a de Freundlich para adsorção em soluções líquidas(51, 56, 61).

1.2.10.2. Isoterma de Langmuir

A equação de Langmuir, relacionando os valores de adsorção com a superfície do adsorvente, foi das primeiras a serem formuladas em bases teóricas, sendo interessante mencionar este fato, uma vez que a sua aplicação prática é cada dia mais ampla.

O conceito de Lagmuir é bastante claro e pode ser facilmente compreendido, além de ser suficientemente elástico. Pode ser aplicado a superfícies homogêneas e heterogêneas.

De acordo com Langmuir, a superfície de muitos adsorventes pode ser visualizada como um conjunto de diferentes tipos de pontos de adsorção, cada um tendo afinidades características. Inicialmente, a superfície do adsorvente está vazia e o número de moléculas que aí começam a ser retidas, supera o número de moléculas que podem deixar a superfície. À medida que a superfície se torna coberta, outras moléculas, do meio gasoso ou líquido, têm maior dificuldade em encontrar es-

paços desocupados, havendo também um aumento do número de moléculas que escapam da superfície. O equilíbrio é alcançado somente quando a velocidade de escape iguale a velocidade de retenção.

A quantidade de material adsorvido no equilíbrio será função dos seguintes fatores, alguns deles interrelacionados: área total da superfície sólida, número de moléculas adsorvidas no estado gasoso ou líquido e número de camadas de moléculas adsorvidas (52. 59).

A equação geral de Langmuir foi desenvolvida teoricamente e é da seguinte forma: (116)

$$\theta = \frac{kp}{1+kp} \quad \text{onde,}$$

θ = fração da superfície do carvão ativo, ocupada pelas moléculas do gás (adsorção monomolecular)

p = pressão de equilíbrio na fase gasosa

k = constante do sistema

Esta equação também pode ser escrita da seguinte forma:

$$\frac{p}{v} = \frac{1}{v_m k} + \frac{p}{v_m} \quad \text{onde,}$$

v = volume adsorvido

v_m = volume adsorvido quando a superfície está coberta completamente com uma camada monomolecular de adsorbato.

p = pressão onde a adsorção atinge o equilíbrio

k = constante

Substituindo k por 1/b, a equação fica:

$$\frac{p}{v} = \frac{b}{v_m} + \frac{p}{v_m}$$

Esta equação é conhecida também pelo nome de isoterma de adsorção de Langmuir.

As constantes de Langmuir são bem definidas fisicamente e a equação é empírica somente no sentido de que certas simplificações assumidas são feitas na sua derivação. É também assumido que as forças de adsorção superficiais têm caráter uniforme. Estas equações de Langmuir têm pequena significação para interpretação de resultados experimentais de adsorção em meio líquido, mas fornecem dados que permitem calcular a área superficial de adsorventes (116).

1.2.10.1.3. Isoterma de Freundlich

Foi obtida experimentamente e relacionando a quantidade de impurezas que permanece na solução, com a quantidade de material adsorvido, segundo a equação:

$$\frac{x}{m} = kc^{\frac{1}{n}} \quad \text{onde,}$$

x = quantidade de substância adsorvida

m = massa de adsorvente utilizado

c = concentração do adsorbato que permanece não adsorvido

k = constante do sistema de adsorção, sendo função da temperatura e área superficial. Em termos qualitativos, k dá uma indicação do fator capacidade de adsorção, ou seja, a área (56).

n = constante do sistema de adsorção, sendo função da temperatura. Dá uma medida do fator intensidade de adsorção, ou seja, energia por unidade de área.

Tomando os logarítmos de ambos os lados da equação:

$$\log \frac{x}{m} = \log k + (1/n) \log c$$

Esta equação é uma linha reta, cuja inclinação é 1/n. Isto é normalmente encontrado para a maioria dos sistemas estudados, sendo particularmente válido para soluções diluídas (104, 128).

k e 1/n são constantes, determinadas pela natureza do carvão e pelo adsorbato usado no experimento. Não é possível prever, a partir destes valores, qual o curso de adsorção quando se usar outro adsorbato, ou quanto de adsorbato seria adsorvido em outro carvão ativo.

Numericamente, K e 1/n podem ter qualquer valor positivo, seus valores podem variar desde zero até oito ou

dez. A faixa normal é aproximadamente 0,2 a 1,0 (56).

Apesar de ser empírica, a equação de Freundlich tem provado ser bastante útil, através de muitas experiências. Esta equação é extremamente útil para avaliar carvões ativados para uma aplicação particular, para estabelecer as condições ótimas de tratamento, para confirmar a uniformidade de cargas sucessivas de carvão e para muitos outros propósitos (56, 81).

1.2.10.1.4. Isoterma BET

A equação de Brunauer, Emmett e Teller(BET) foi desenvolvida aplicando-se os conceitos de Langmuir à adsorção multimolecular e é da seguinte forma:

$$\frac{P}{V(P_o-P)} = \frac{C-1}{C\ V_m} \cdot \frac{P}{P_o} + \frac{1}{C\ V_m}$$ onde,

V = volume do gás adsorvido à pressão parcial P

V_m = volume de gás para cobrir a superfície livre do adsorvente com a camada monomolecular

P_o = pressão de saturação do gás no adsorvente

C = constante que leva em conta a energia de condensação do gás.

1.2.10.2. Fatores que Influem na Adsorção

Além das características do próprio carvão empregado, como:

a) porosidade

b) resistência

c) densidade

d) dureza

e) poder de adsorção.

Existem outros fatores que influenciam no fenômeno da adsorção.

Uma variação de temperatura modifica a ação adsorvente.

Um outro fator importante a considerar no fenômeno de adsorção, na parte referente aos corantes, é o que se refere ao pH das soluções.

De um modo geral, a atividade adsortiva de um carvão, que é um elemento eletro-negativo, aumenta diretamente com a diferença de cargas elétricas ou seja, a diferença entre a carga elétrica do adsorvente e a carga elétrica do líquido a tratar (23).

Explica-se de um modo geral que um determinado pH ao aumentar a solubilidade dos corantes contribui para a velocidade de sua adsorção pelo carvão. Geralmente um pH ácido favorece a adsorção.

Não só os corantes como também certos colóides e íons tem a sua velocidade de adsorção aumentada pelo aumento da acidez, ou seja, pelo abaixamento do pH.

Certas substâncias mais eletropositivas, como, por exemplo, o vermelho Ponceau, são adsorvidas mais rapidamente em meio alcalino. As substâncias não eletrolíticas, como os açúcares, são adsorvidas independentemente da acidez ou alcalinidade.

Certos colóides que possuem reação anfótera, são mais facilmente adsorvidos no seu ponto iso-elétrico ou pontos próximos a ele. Nesse caso situam-se as proteínas, corantes naturais, etc.

O tempo de contato entre a solução e o adsorvente, tem, em geral, pouca influência no resultado, uma vez que seja no mínimo 15 a 20 minutos. Daí por diante a quantidade adsorvida é mínima. É claro que em muitos casos depende de concentração da solução (23).

1.2.11. Reativação

Processo que visa recuperar carvão ativo já utilizado. Com o uso, o carvão ativo vai perdendo sua eficiência, pois, os centros ativos vão sendo obstruídos, ficando não disponíveis para adsorver substâncias. É necessário então utilizar um processo que libere esses centros ativos.

1.2.11.1. Reativação Química

A reativação química, na maioria das vezes, permite a recuperação de um carvão adsorvente usado, até cerca de 40 a 50% da sua atividade inicial.

Um dos processos preconizados para a reativação química desses carvões, é o que segue: faz-se uma suspensão aquosa do carvão (20 a 25% de carvão), levando-se à ebulição durante uma hora, tendo-se juntado ácido clorídrico em quantidade previamente estudada. Geralmente, emprega-se uma solução de 2% de HCl (ácido clorídrico técnico ou muriático), em relação ao peso do carvão a reativar.

Com a ebulição, a maioria dos sais é dissolvida como também as substâncias orgânicas. Terminada a ebulição a pasta de carvão decantada e filtrada em um filtro prensa, tendo-se o cuidado de diluir previamente o ácido contido na massa, pela adição de 5 a 6 volumes de água. O ácido é eliminado por sucessivas lixiviações com água corrente. Finalmente, o carvão é secado por injeção de ar comprimido, quente. Em seguida, o carvão, assim seco e enviado ao tanque com lixivia de soda. A concentração da lixivia é de 5% a 10% da quantidade de carvão a tratar. A concentração deve ser de 15 a 25 graus Bé. O carvão, após esse tratamento alcalino, passa novamente pelo filtro prensa, e depois lavado com água e secado por ar comprimido. Dessa forma, acha-se apto. a ser reutilizado como adsorvente (23, 98, 133).

1.2.11.2. Reativação Térmica

Essa é efetuada em fornos de esbraseamento, de construção especial, cujos tipos constituem patentes dos fa-

bricantes. Em geral, são constituídos por duas retortas horizontais, as quais são colocadas uma em cima da outra. Sobre elas acha-se fixada uma calha que recebe a irradiação do calor do forno e atua como um secador.

O seu funcionamento é, em síntese, o seguinte: o carvão já meio seco (com 25% de umidade) cai através de um aparelho automático de carga, na calha de secagem, que, por um dispositivo mecânico o transporta gradativamente até a retorta superior onde chega bem seco. Saindo dessa retorta onde é aquecido a uma temperatura de 150 a 250°C, passa por um sistema automático, para a segunda retorta onde é aquecido entre 500 e 600°C. Dessa forma as substâncias orgânicas são destruídas e desaparecem na maioria. Deve-se notar, entretanto, que os sais minerais não são removidos por esse processo, necessitando às vezes, fazer uma prévia reativação química. Segundo alguns autores, a reativação atinge um alto rendimento (23, 98, 133).

1.2.12. Carvão Ativo de Bagaço de Cana-de-Açúcar

A técnica consiste de carbonização a temperatura de 500-550°C com simultânea ativação química.

Primeiramente, o bagaço é moído até o mesmo passar por peneira 16 mesh. O pó resultante vai a uma mufla a 500-550°C por 60-75 minutos. O carvão obtido é lavado com água destilada e secado a 100°C por 12 horas em uma estufa; finalmente o mesmo é moído a 60 mesh (108).

Rolz e Ruiz (108) obtiveram quatro tipos de carvões usando o método acima, três ativados com ácido sulfúrico, ácido fosfórico e cloreto de zinco na proporção de 65% por peso do bagaço original e um sem agente ativante.

Os reagentes, ácidos sulfúrico e fosfórico e cloreto de zinco, foram usados na proporção de 65% em peso do bagaço original (108).

Na Tabela V temos os valores obtidos para as propriedades físicas (108).

O carvão ativo obtido, possue características físicas que dependem do reagente químico empregado.

O carvão de bagaço de cana-de-açúcar ativado com cloreto de zinco possue comportamento cinético similar aos dois carvões comerciais testados na remoção de cor de soluções açucaradas. Entretanto esse mesmo carvão possue menor capacidade de remoção de cor do que os carvões comerciais (108).

1.3. Águas Residuárias da Indústria do Açúcar e do Álcool. Água de Lavagem de Cana

1.3.1. Características Físicas das Águas Residuárias em Geral

As principais características físicas das águas residuárias são: seu conteúdo de sólidos totais, os quais são compostos de material flutuante, material coloidal e material em solução; temperatura, cor, odor e turbidez (16, 109).

1.3.1.1. Sólidos Totais

O conteúdo dos sólidos totais de um despejo é definido como toda a matéria que permanece como resíduo após evaporação à temperatura de 103° a 105°C. O material que possui significativa pressão de vapor nesta temperatura é perdido durante a evaporação e não é definido como sólido. Sólidos totais, ou resíduos da evaporação, podem ser classificados como sólidos em suspensão ou sólidos filtráveis.

As partículas sólidas encontradas nas águas são classificadas segundo suas dimensões:

- Dissolvidas: 10^{-3}-10^{-5}μm
- Coloidais: 1-10^{-3}μm
- Suspensão ou não filtráveis: 100-1μm

Cada uma dessas categorias de sólidos pode também ser classificada com base na sua volatibilidade a 600°C. A fração orgânica se oxidará a essa temperatura e será eliminada como gás e a fração inorgânica permanecerá como cinza. Deste modo os termos sólidos em suspensão voláteis e sólidos em suspensão fixos, referem-se respectivamente ao conteúdo orgânico e inorgânico dos sólidos em suspensão.

1.3.1.2. Temperatura

A temperatura das águas residuárias é um parâmetro de grande importância devido a seu efeito na vida aquá-

tica. A elevação de temperatura por lançamento de despejos industriais aquecidos, por exemplo, pode causar danos à espécies de peixes existentes no curso de água. Além disso, o oxigênio é menos solúvel em água quente do que em água fria (a água a $0^{o}C$ contém uma concentração de 14mg/l de oxigênio; a $20^{o}C$ 9mg/l; a $35^{o}C$ menos que 7mg/l).

A elevação da temperatura também produz estimulação das atividades biológicas, resultando em consumo de oxigênio, justamente na ocasião em que a água passa a conter menos esse elemento. Por isso, as condições sanitárias dos cursos de água tendem a se agravar durante o verão.

Um aumento súbito na temperatura de cursos de água, por outro lado, poderá resultar em alta taxa de mortalidade na vida aquática. Além disso, temperaturas anormalmente elevadas podem causar o florescimento de fungos e plantas aquáticas indesejáveis.

1.3.1.3. Cor

A cor é provocada por impurezas orgânicas e inorgânicas. Geralmente, os compostos orgânicos são os causadores do seu aumento acentuado. Os compostos orgânicos são decompostos por bactérias, o oxigênio dissolvido tende a reduzir-se a zero e a cor tende a elevar, chegando a cor negra.

1.3.1.4. Odor

Os odores são provocados por gases produzidos pela decomposição da matéria orgânica. São produzidos, também,

por contaminantes como o fenol, mercaptana, substâncias tanantes, etc.

1.3.1.5. Turbidez

É um outro parâmetro indicativo da qualidade de águas residuárias com relação a material coloidal.

1.3.2. Características Químicas de Águas Residuárias em Geral

Nos compostos orgânicos, além de, carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, outros importantes elementos, tais como: enxofre, fósforo e ferro podem também estar presentes. Os principais grupos de substâncias orgânicas encontrados em águas residuárias são proteínas, carboidratos, gorduras e óleos. Além desses, as águas residuárias podem conter grande número de diferentes moléculas orgânicas sintéticas cujas estruturas variam de simples a extremamente complexas. Exemplos típicos são os tensoativos, fenóis e pesticidas agrícolas. O número desses compostos aumenta anualmente, pois é sempre maior o número de moléculas que estão sendo sintetizadas.

A presença destas substâncias vem complicando o tratamento de esgotos, devido às fracas possibilidades de se-

rem decompostas biologicamente (16, 109).

1.3.2.1. Determinação da Matéria Orgânica

1.3.2.1.1. DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

O parâmetro mais usual de determinação de poluição orgânica aplicado às águas residuárias é a DBO cinco dias (DBO_5).

Esta determinação envolve a medida do oxigênio dissolvido utilizada pelos microrganismos na oxidação da matéria orgânica.

A DBO é então empregada na determinação da quantidade aproximada de oxigênio que será necessária para oxidar biologicamente a matéria orgânica presente.

Para se obter resultados significativos, a amostra a analisar precisa ser convenientemente diluída a fim de que nutrientes e oxigênio estejam presentes durante o período de incubação. Caso haja necessidade, a água de diluição é semeada com uma cultura bacteriana aclimatada à matéria orgânica presente na água. A cultura que é utilizada para a preparação da água de diluição contém grande número de bactérias saprófitas que oxidam a matéria orgânica. Além disso, estas culturas contém certas bactérias autotróficas que oxidam a matéria não carbonácea.

O período de incubação é, usualmente, de cinco

dias a 20°C, porém, podem-se usar outros períodos e temperaturas. Depois da incubação, o oxigênio dissolvido da amostra é medido e a DBO calculada.

A oxidação bioquímica é um processo vagaroso. Dentro de um período de vinte dias, a oxidação é de 95 a 99% do total e de 60 a 70% num período de cinco dias.

A estabilização biológica das substâncias orgânicas em uma água contendo ar dissolvido, realiza-se em duas fases; a primeira são atacados principalmente os compostos carbonáceos; na segunda, a matéria não carbonácea como a amônia, produzida durante a hidrólise das proteínas. Algumas das bactérias autotróficas são capazes de utilizar oxigênio para oxidar a amônia a nitritos e nitratos.

1.3.2.1.2. DQO - Demanda Química de Oxigênio

Este teste é também utilizado para medir o conteúdo de matéria orgânica de águas residuárias e águas naturais. O oxigênio equivalente da matéria orgânica que pode ser oxidado é medido usando-se um agente oxidante em meio ácido (dicromato de potássio).

O teste de DQO é sobremaneira precioso na medida da matéria orgânica em despejos que contenham substâncias tóxicas à vida. A DQO em um despejo é, em geral, mais alta do que a DBO, em virtude da maior facilidade com que grande número de compostos pode ser oxidado por via química do que por

via biológica.

Para muitos tipos de despejos é possível correlacionar a DQO com a DBO. Isso é vantajoso, pois a DQO é determinada em apenas três horas, ao passo que a determinação da DBO leva cinco dias.

Outros testes utilizados na caracterização de certos tipos de despejos industriais são à Demanda Teórica de Oxigênio (DTO), Carbono Orgânico Total (COT) e Demanda de Oxigênio Total (DOT)

1.3.2.2. Matéria Inorgânica

Os principais parâmetros de caracterização dos despejos são (16, 109):

1.3.2.2.1. pH

A concentração hidrogeniônica é um importante parâmetro de qualidade de despejos industriais. A faixa de concentração adequada para a existência de vida é muito estreita e crítica. Os despejos com concentração inadequada do íon hidrogênio são difíceis de se tratar por métodos biológicos.

1.3.3.3.3. Compostos Tóxicos

Devido a sua toxidez, certos cátions são impor-

tantes no tratamento de despejos, mormente quando se utilizam métodos biológicos de depuração. Metais como cobre, cromo, arsênico, etc., são tóxicos em concentrações variáveis. Muitas instalações de tratamento têm sido prejudicadas pela chegada desses íons, provocando a diminuição de atividade ou mesmo a morte de microrganismos.

Alguns ânions tóxicos, incluindo cianetos e cromatos, estão presentes também em instalações de galvanoplastia e normalmente devem ser removidos antes de serem lançados na rede pública de esgotos.

1.3.2.2.3. Metais Pesados

Traços de metais pesados como níquel, manganês, chumbo, cromo, cádmio, zinco, ferro e mercúrio, aparecem constantemente em alguns despejos industriais. A presença de qualquer destes metais em quantidade excessiva prejudica os usos benéficos da água.

1.3.2.2.4. Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido é necessário para a respiração de microrganismos aeróbicos bem como outras formas aeróbidas de vida. A quantidade de oxigênio que pode estar presente na água é regulada por vários fatores, tais como: a solubi

lidade do gás, a pressão parcial do gás na atmosfera, a temperatura, salinidade, sólidos em suspensão, etc.

Como a taxa das reações bioquímicas que utilizam oxigênio aumenta com a elevação da temperatura, os níveis de oxigênio dissolvido tendem a ser mais críticos nos meses de verão. A presença de oxigênio dissolvido em águas residuárias é desejável por prevenir formação de substâncias mal cheirosas.

1.3.2.2.5. Gás Sulfídrico

O gás sulfídrico é formado pela decomposição de matéria orgânica contendo enxofre, ou pela redução de sulfitos a sulfatos. Esse gás tem odor característico (cheiro de ovo podre). Além do gás sulfídrico, podem-se formar, pela decomposição anaeróbica, outros gases como indol, escatol e mercaptanas, que causam odores mais ofensivos que o gás sulfídrico.

1.3.2.2.6. Metano

É o principal produto da decomposição anaeróbica da matéria orgânica. É inodoro, incolor, altamente combustível e explosivo em atmosfera de baixa ventilação. Os limites explosivos do metano no ar, são de 5 - 15% em volume. Ao nível do mar, uma atmosfera contendo 5% de metano pode ser obtida num local de fraca ventilação, a partir de um borrifamento de

água quente (68°C) que contenha 0,7mg/l de metano. O aumento da temperatura da água é o abaixamento da pressão barométrica diminuem o risco de explosão.

1.3.3. Limites da Poluição

Os efluentes ou despejos líquidos, além de obedecerem às restrições nas condições de lançamento nos corpos de água e nos sistemas de esgotos, não deverão conferir ao corpo receptor características em desacordo com os usos previamente definidos para o mesmo (Tabela VI).

Foram estabelecidas características para os recursos hídricos em função dos usos preponderantes, divididos em quatro classes:

1. águas destinadas ao abastecimento doméstico, sem tratamento prévio ou com simples desinfecção;
2. águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à irrigação de hortaliças ou plantas frutíferas e a recreação do contato primário (natação, esqui-aquático e mergulho);
3. águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional, à preservação de peixes em geral e de outros elementos da flora e da fauna e à dessedentação de animais;
4. águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamen

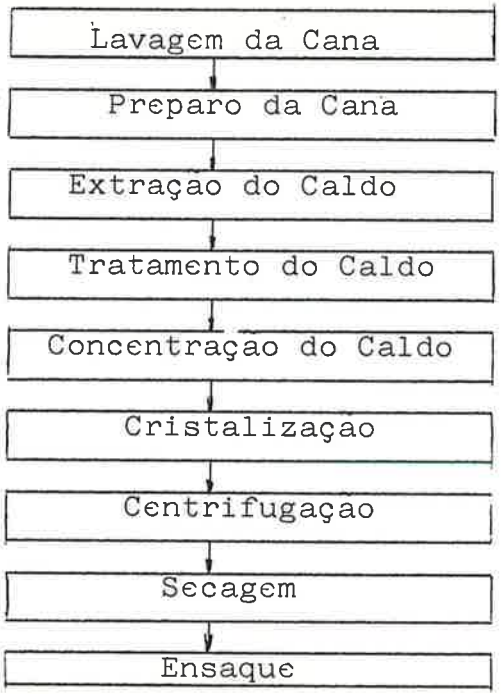
to avançado ou à navegação, à harmonia paisagística, ao abastecimento industrial, à irrigação e a usos menos exigentes. Os limites estabelecidos de acordo com as classes são apresentados na Tabela VII.

No Estado de São Paulo, com relação às restrições legais relativas à poluição das águas, existem ainda as leis 898, de 18.12.75, relativa à disciplinação do uso do solo nas áreas de proteção de mananciais, e a 1172, de 17.11.76, que delimitou as áreas de proteção de mananciais (127).

1.3.4. Etapas dos Processos de Fabricação de Açúcar e do Álcool. Consumo de Água nos Processos.

1.3.4.1. Açúcar

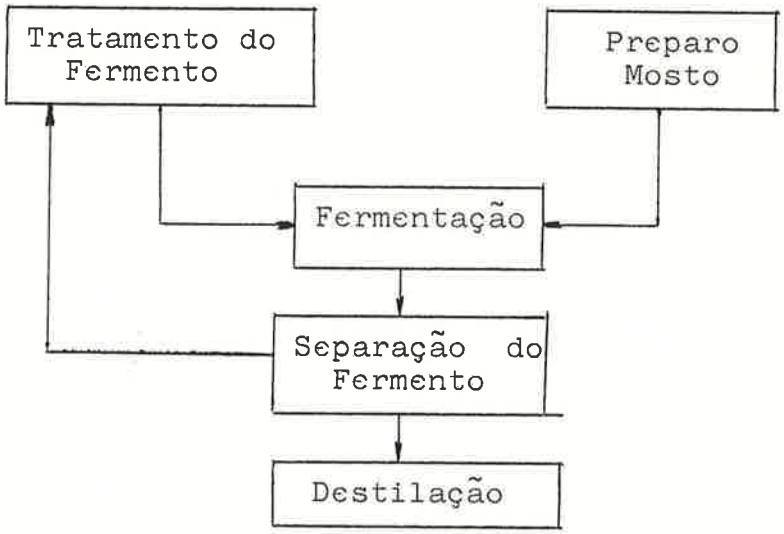
O processo de fabricação de açúcar compreende as seguintes etapas básicas:



resíduo é feita separadamente ou conjuntamente com outros eflu entes líquidos.

1.3.4.2. Álcool

O processo de fabricação do álcool compreende as seguintes etapas básicas (4, 58):



As seções da fabricação do álcool são (4, 39, 58):

1. recepção e estocagem da cana;
2. alimentação e lavagem da cana;
3. preparo e extração;
4. tratamento do caldo;
5. pré e fermentação;
6. destilação;

7. geração de vapor;
8. geração de energia elétrica;
9. captação e distribuição das águas.

O consumo de água numa destilaria anexa é dado na Tabela IX, em relação a 1000 litros de álcool produzidos.

A água na diluição do melaço é perdida, saindo na forma de restilo (resíduo da destilação). No entanto, as águas utilizadas para o resfriamento de dornas e condensadores podem ser reaproveitadas (4, 58).

1.3.5. Sistemas de Utilização de Águas nas Usinas e Destilarias

Os consumos de água mais expressivos são os referentes a lavagem da cana e produção de vácuo (colunas barométricas) na usina e para resfriamento de dornas e condensadores na destilaria.

Segundo a disponibilidade de água, as usinas podem utilizar os seguintes arranjos (4, 39, 58):

- Sistemas abertos;
- Sistemas semi-fechados;
- Sistemas fechados.

Sistemas abertos são aqueles em que a água é captada, utilizada, tratada e despejada novamente nos rios. A maioria das usinas que operam com sistemas abertos, utilizam a água primeiramente para as colunas barométricas e em seguida reutilizam a mesma água para lavagem da cana. Isto reduz o con

sumo efetivo às necessidades das colunas barométricas.

Quando a usina dispõe de manancial de pequeno porte, dificultando inclusive as condições de despejo, sistemas semi-fechados ou totalmente fechados são utilizados.

Sistemas semi-fechados são aqueles em que a usina utiliza parte do sistema fazendo recirculação após tratamento primário. O uso mais frequente neste caso é recircular as águas das colunas barométricas, pois estas se constituem no maior consumo. Entretanto, para propiciar o controle da poluição das águas, preferiu-se em várias usinas recircular as águas de lavagem de cana, uma vez que estas têm uma carga poluidora maior.

Alguns dos sistemas semi-fechados mais utilizados são dados na Figura 1.

Sistemas fechados são aqueles em que tanto as águas de colunas barométricas como as de lavagem de cana e resfriamento na destilaria são recirculadas.

1.3.5.1. Tratamentos Utilizados para Recirculação (4,39,58)

1.3.5.1.1. Águas de Colunas Barométricas

a) Separadores de arraste: Os vapores provenientes do último efeito da evaporação e dos Tachos de cozimento à vácuo são condensados pelo contato direto com a água. Assim, é essencial

que estes vapores não contenham gotículas de xarope arrastadas. Separadores de arrastes são colocados para prevenir tais perdas.

b) Resfriamento das águas de coluna barométrica: Ao deixarem as colunas barométricas, a temperatura destas águas varia de de 40 a 50°C, dependendo do sistema de vácuo utilizado. Em geral o sistema de condensador barométrico e bomba de vácuo consome menos água que o sistema de multijatos; em consequência disto, a temperatura no primeiro caso é mais alta que no segundo.

Para que a água seja recirculada às colunas barométricas torna-se necessário o resfriamento destas, o qual é feito em bacias de resfriamento por bicos aspersores ou ainda através de torres de resfriamento. O resfriamento pela passagem simples em lagoas é pouco eficiente, necessitando grandes volumes represados, em geral da ordem de cinco dias de detenção ou mais.

1.3.5.1.2. Águas de Resfriamento na Destilaria

a) Resfriamento de dornas: A fermentação dos açúcares para a produção do álcool etílico é um processo exotérmico, que pode ser representado pela equação:

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 25 \text{ kcal}$$

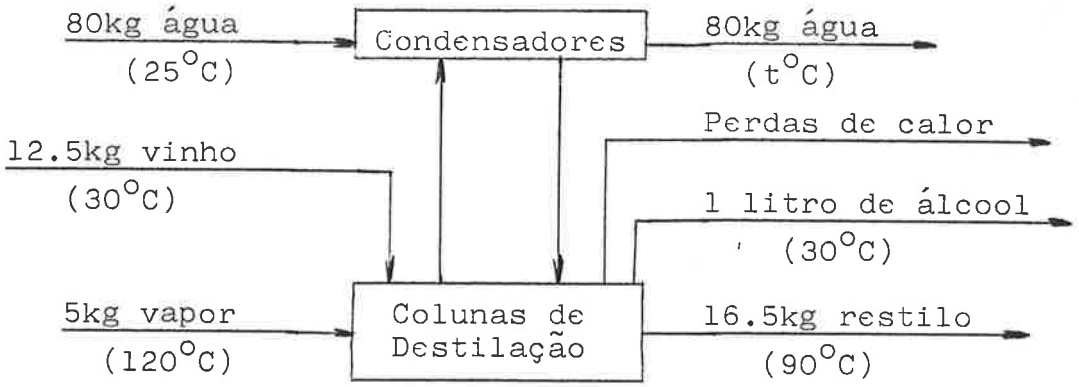
Portanto, 25kcal são liberadas para cada 92g de álcool etílico formado. Assim, para cada litro de álcool formado são liberados:

$$\frac{790 \times 25}{92} = 215\text{kcal}$$

Normalmente, os mostos são produzidos diluindo-se o melaço com água fria (25°C), obtendo-se mostos com temperatura da ordem de 27°C; a fermentação é mantida com temperatura ao redor de 30°C. Logo, uma parte das calorias liberadas na fermentação é absorvida pelo próprio mosto para elevar sua temperatura de 27 a 30°C, aproximadamente. Assim, uma quantidade de calor equivalente a 180kcal/litro de álcool deve ser efetivamente retirada da fermentação, através de resfriamento por serpentinas ou trocadores de placas.

Utilizando-se cerca de 60 litros de água de resfriamento por litro de álcool formado, obtem-se um aumento de temperatura média de 180/60 = 3°C.

b) Resfriamento de condensadores: De maneira aproximada pode-se representar o balanço de calor na destilaria de acordo com o diagrama abaixo, para cada litro de álcool produzido.



Fazendo-se o balanço de calor, e desprezando-se para efeito de cálculo as perdas por convecção e por irradiação obtém-se temperatura de saída das águas dos condensadores de 52°C, considerando-se os valores acima assumidos.

Se levarmos em conta as perdas de calor nas colunas de destilação, esta temperatura cai para cerca de 50°C.

Desta forma, observa-se que a elevação da temperatura desta água é substancial e necessita de resfriamento ao ser despejada.

1.3.6. Características e Disposição dos Despejos das Indústrias de Açúcar e Álcool

As características dos resíduos da Indústria de Açúcar e Álcool são bastante variáveis, devido às diferentes concentrações de açúcar da matéria-prima (que, por sua vez, varia com condições climáticas ou durante estocamento prolongado); características locais de operação e manutenção, volumes de água disponíveis, e reciclagem de águas servidas.

Os resíduos poderiam ser basicamente classificados como sazonais, de vazão contínua, mas extremamente variável durante a safra, com concentrações de DBO, DQO, cor de sólidos suspensos totais variando em faixa bastante ampla, elevada concentração de sólidos dissolvidos totais, elevada demanda de cloro, deficiente em nutrientes, com temperatura elevada, livre de coliformes fecais, mas podendo apresentar coliformes

totais (58).

Na Tabela X temos os efluentes líquidos produzidos por uma usina de açúcar e destilaria anexa; na Tabela XI temos as características dos principais resíduos relativos a 15 usinas do Estado de São Paulo (4, 58).

1.3.7. Águas de Lavagem de Cana

Os volumes utilizados e as características das águas de lavagem dependem do sistema de coleta de cana.

Na Louisiana, Estados Unidos, onde se utilizam coletores mecânicos, as vazões necessárias para lavagem são de 30 a 300 l/s e as águas residuárias finais podem apresentar uma concentração de sólidos suspensos em torno de 2000mg/l.

Uma grande parte deste material suspenso se apresenta em estado coloidal, estabilizado por compostos orgânicos atuando como colóides protetores o que provavelmente inibiria a operação de coagulação com os compostos químicos tradicionais.

No Brasil, onde ainda se efetua a colheita manual, os volumes médios são de aproximadamente $5m^3$ por tonelada de cana.

Levantamentos efetuados pela Cetesb na Usina Ester, no Município de Cosmópolis, Estado de São Paulo, indicaram a composição média mostrada na Tabela XII (58).

Estudos de aeração em sistema contínuo realiza-

dos em laboratórios com as águas de lavagem, cujas características são apresentadas acima, demonstraram uma redução média de DBO de 94%.

Nesses estudos, constatou-se a necessidade de adição de fósforo, pois sua concentração nos resíduos era extremamente pequena. Os resultados de atividade microbiana foram realizados com o auxílio do respirômetro de Warburg e são mostrados na Tavela XIII (58).

As experiências prosseguiram em escala- piloto, tendo-se utilizado um tanque experimental aerado mecanicamente. Neste experimento, observou-se para um tempo de retenção hidráulico de 21 horas e 30 minutos a remoção de 92% na DBO e de 93% na DQO.

De uma maneira geral, as águas de lavagem de cana são susceptíveis de serem tratadas biologicamente. Seria desejável que maiores cuidados fossem tomados com relação ao arraste de terra durante a fase de colheita da cana e que os sólidos suspensos, grosseiros e toletes de cana carregados pela água de lavagem fossem eliminados através de um sistema de peneiramento (cush-cush) (2, 8, 58).

Na análise da matéria estranha arrastada pela água de lavagem mostra que a mesma é formada principalmente, por areia, argila, palha, pedra, etc. Esse material adere ao colmo da cana, notadamente quando a despalha é a fogo. Para o Estado de São Paulo, foram encontrados os seguintes valores:

- Material vegetal: 3,5% (média)
- Material mineral: 2,5% (média) (71).

Como se sabe, lavagem de cana visa, principalmente, à retirada de terra, palhas e pedras que vêm do campo, agregadas aos colmos. Após a lavagem, esse material é incorporado à água que eflui do sistema, onde também se encontra a sacarose que normalmente a cana perde nessa operação. Uma gran parte desse material em suspensão nas águas de lavagem encontra-se no estado coloidal, mais precisamente sob a forma de um sol irreversível ou liófilo, que é estabilizado pela repulsão mútua de suas micelas eletricamente negativas. Dessa forma sua precipitação é consequida pela adição de um eletrólito até um valor em que o pH da solução atinja o ponto isoelétrico das micelas, o que em geral ocorre quando o pH está entre 10 e 11. O eletrólito mais utilizado é o leite de cal, onde o íon é o Ca^{++}. No entanto, o processo de lavagem incorpora também uma certa quantia de material orgânico coloidal, que nesse caso forma um colóide reversível ou liófilo. Segundo Lamb (67) esse colóide liófilo atua como protetor aos colóides irreversíveis, inibindo a operação de coagulação com compostos químicos tradicionais. Dessa forma, podemos supor que em sua utilização consecutiva, as águas de lavagem vão se enriquecendo em substâncias suspensas, refratárias à coagulação, chegando a um ponto que devem ser descartadas pela impraticabilidade de seu tratamento. Na prática este fenômeno é constatado, pois é necessário repor totalmente as águas do circuito de lavagem, pelo menos uma vez por semana.

1.3.8. Perdas de Açúcar na Água de Lavagem

O contato da água de lavagem com os colmos da cana-de-açúcar determina a dissolução e o arraste de parte representativa do açúcar presente ocasionando apreciáveis perdas (119).

A limpeza prévia dos colmos de cana-de-açúcar para a produção de açúcar e/ou álcool, através da lavagem com água nas mesas de alimentação das moendas, objetiva basicamente a melhoria das características físicas desta matéria-prima, para que a industrialização da mesma se verifique dentro de melhores condições.

Por outro lado, o contato da água de lavagem com o colmo resulta na dissolução e arraste de parte do açúcar presente, resultando inevitavelmente em perdas. Estas perdas são variáveis e, a magnitude das mesmas depende de uma série de fatores, entre os quais o tipo de mesa de alimentação, o local de aplicação da água de lavagem, a quantidade de água utilizada, a presença de colmos com injúrias mecânicas (amassamento, rachaduras, etc), a quantidade de açúcar depositado na superfície dos colmos, devido a temperatura de queima do canavial antes da colheita, e outros.

Na Tabela XIV temos relacionados perdas de açúcar de várias amostras de água de lavagem de cana (119).

1.3.9. Tratamento ou Destino Final dos Efluentes das Usinas de Açúcar e Álcool

1.3.9.1. Tratamento Preliminar

As águas da lavagem da cana, deverão passar por um gradeamento, de preferência com remoção mecânica, a fim de retirar os materiais sobrenadantes e outros sólidos separáveis. Após o gradeamento, essas águas deverão passar por um sistema de decantação, a fim de que sejam removidos os sólidos decantáveis. O sistema de decantação deverá ter, de preferência, dois decantadores que funcionem alternadamente, a fim de permitir que sempre um deles esteja em operação e outro em limpeza (4, 9, 16, 26, 27, 41, 84, 112, 126).

A remoção do material sedimentável pode ser feito de duas maneiras:

- caixas de decantação;
- decantadores circulares contínuos.

O tratamento descrito acima, possibilita a recirculação da água de lavagem de cana. Para melhorar a qualidade da água de modo a possibilitar que o efluente possa ser lançado em cursos d'água deve-se efetuar os sistemas de tratamento a seguir (4, 31, 46, 71, 87).

1.3.9.2. Peneiramento

Eliminam os sólidos flutuantes, tais como toletes de cana e palhas.

1.3.9.3. Sedimentação

Eliminam principalmente, terra e bagacilhos mais pesados.

Os sistemas de sedimentação são dois:

1.3.9.3.1. Lagoa de Sedimentação

Estas lagoas são dimensionadas com capacidade suficiente para armazenamento do material sedimentável(terra), trazida das lavouras, para pelo menos uma safra. Portanto, a cada final de safra é efetuada a limpeza destas lagoas, geralmente através de dragas.

1.3.9.3.2. Caixas de Decantação Construídas em Concreto

São idênticas às utilizadas no tratamento preliminar

1.3.9.4. O Processo da Biodegradação e sua Aplicação no Tratatamento de Resíduos Líquidos

1.3.9.4.1. Nutrição e Respiração (6)

O fenômeno da decomposição é, pois, basicamente, um processo de nutrição e respiração ou oxidação biológica. Reações de oxidação podem ser realizadas em presença de oxigênio livre ou na sua ausência, uma vez que a principal característica dessas reações é a retirada de hidrogênio (ou de elétrons) do composto e não, necessariamente, a adição de oxigênio. O hidrogênio retirado da molécula é transferido a outro composto, que é o oxidante. Por isso se diz que sempre que uma substância se oxida à custa de outra, a oxidação da primeira realiza-se, necessariamente, com redução da segunda, costumando-se denominar a reação de "oxirredução". Tratando-se de um processo biológico, é frequente representá-lo, em termos gerais, pela equação

$$A.H_2 + B \longrightarrow A + B.H_2,$$

em que $A.H_2$ é o composto redutor (o que vai ser oxidado) ou doador de hidrogênio e B é o composto oxidante (que vai ser reduzido) ou aceptor de hidrogênio.

Quando o composto que funciona como aceptor de hidrogênio é o oxigênio molecular, diz-se que a respiração é aeróbia; quando, porém, o oxigênio molecular não intervém na reação, sendo o aceptor um outro composto qualquer, a reação

passa a ser denominada anaeróbia. O processo de respiração aeróbia pode ser representado, em linhas gerais, pela reação

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + E.$$

Observa-se, pois, que em presença de oxigênio molecular a oxidação realizada é completa, isto é, a molécula orgânica é totalmente desmembrada, cededndo toda sua energia potencial disponível e formando, como subproduto carbonáceo, o CO_2, desprovido de energia útil. Nessas condições, o rendimento da reação, em termos energéticos, é máximo.

Com as reações anaeróbias, entretanto, não ocorre o mesmo. A oxidação é apenas parcial, levando à formação de subprodutos que ainda contém energia potencial disponível, tais como metano, álcoois ou ácidos orgânicos. Tais processos podem, pois, ser considerados de baixo rendimento. Por essa razão, eles somente são realizados em ausência de oxigênio molecular. Os microrganismos capazes de respirar anaerobiamente podem ser classificados, em relação a essa propriedade, em facultativos e anaeróbios obrigatórios, sendo que, para estes últimos, a presença de oxigênio é nociva ou tóxica. Entre os facultativos, além de muitas bactérias, estão incluídas as leveduras, as quais, em presença de oxigênio, respiram aerobiamente, produzindo CO_2 como único subproduto carbonáceo e, na ausência deste, respiram anaerobiamente, formando álcoois ou ácidos orgânicos.

1.3.9.4.2. Bio-Oxidação

Quando a DBO é devida a carboidratos, como é o caso da sacarose, a maneira mais eficiente e econômica de reduzí-la a valores de 20 a 30mg/l é através da oxidação biológica. O efluente contendo oxigênio dissolvido e nutrientes é mantido em contato com uma população ativada de microrganismos. O resultado é a conversão da massa de sacarose solúvel em dióxido de carbono, água e mais microrganismos. Os nutrientes podem ser a amônia (NH_3) e o ácido fosfórico (H_3PO_4).

Após o tratamento preliminar, as águas de lavagem da cana podem ser enviadas para uma lagoa de estabilização que deverá ter um tempo de retenção não menor que 30 dias para uma lagoa com uma profundidade de 2 metros, obtendo assim uma redução da DBO a níveis aceitáveis. Note-se que esse tipo de tratamento necessita de uma área considerável de terreno, devido ao volume de água utilizada para a lavagem da cana. Para acelerar o tempo de oxidação e diminuir a área da lagoa podem-se utilizar vários recursos, tais como:

- Aerador de cascata ou de tabuleiros;
- Aeração através de jatos de ar comprimido;
- Aeradores mecânicos.

1.3.9.5. Métodos de Fornecimento de Oxigênio e sua Aplicação ao Tratamento Aeróbio

Tratando-se de resíduos orgânicos, biodegradáveis, o principal fator limitante à sua estabilização aeróbia, na água, passa a ser, pois, o oxigênio. Por esse motivo, o pivô do tratamento aeróbio de resíduos líquidos está relacionado com o processo de fornecimento de oxigênio. Basicamente, temos duas possibilidades para esse fornecimento: utilizar uma fonte de oxigênio (o ar atmosférico) ou uma fonte bioquímica (a fotossíntese) (6, 26, 27, 112, 131).

Em princípio, o ar atmosférico pode ser utilizado, como fonte de oxigênio para um ambiente líquido, de duas maneira principais: aumentando-se a superfície líquida em relação a seu volume, de forma a se oferecer a maior área possível de contato direto do líquido com o ar; ou promovendo-se agitação (turbulência) na água, de modo a misturar continuamente sua película superficial (sempre saturada de oxigênio) com o restante da massa líquida, ao mesmo tempo que é renovada a película superficial exposta ao ar. Uma terceira possibilidade, intermediária, seria a de introduzir ar na forma de borbulhamento, no seio da massa líquida, ampliando também a superfície de contato ar-água, e que traz resultados idênticos - como será visto adiante - ao da segunda alternativa porém com alguns inconvenientes de ordem prática.

A primeira dessas duas possibilidades básicas é aplicada nos chamados "filtros biológicos" - denominação impró

pria por não se tratar, realmente, de um sistema de filtração física -, em que o resíduo líquido (do qual já foi removida, por decantação, toda a matéria sedimentável) é lançado sobre um leito de cascalhos (ou mesmo de areia), devendo escorrer por sobre a superfície de inúmeras camadas dessas pedras de alto a baixo do filtro. Dessa forma, o volume de líquido a ser tratado fica reduzido a uma imensa superfície que é a soma das superfícies individuais de cada um dos cascalhos e em contato direto com o ar intersticial, que circula entre os cascalhos. Em consequência da presença de abundante matéria orgânica e oxigênio, desenvolve-se uma massa de microrganismos, constituindo uma película de consistência gelatinosa que reveste cada um dos cascalhos e que promove a assimilação e oxidação(respiração) dos compostos orgânicos presentes na água residuária.

A outra possibilidade - turbulência ou, ainda, o borbulhamento de ar - é empregada em um segundo processo de tratamento aeróbio, denominado "lodos ativados". Nestes, a massa de microrganismos, ao invés de se achar fixa à superfície de um suporte sólido encontra-se em suspensão, na forma de pequenos flocos gelatinosos, que, uma vez cessada a turbulência, precipitam-se, na forma de lodo. É conveniente salientar que esse lodo, constituído de seres microscópicos ativos, é um lodo de formação secundária e não o lodo próprio do esgoto (constituído das matérias sólidas sedimentáveis) que se tornou ativado. Por essa razão, talvez seja preferível empregar, para designá-lo, a expressão lodo biológico ou, simplesmente, lodo ativo em lugar de "lodo ativado", denominação esta, entretanto, já consagrada.

Recomenda-se recircular as águas utilizadas para resfriamento nos condensadores e dornas da destilaria com o efluente final tratado da usina.

Uma outra opção também utilizada, embora bastante onerosa, é a adição de cal no sistema de tratamento.

Esta DBO, o parâmetro mais difícil de ser enquadrado dentro da legislação; ou seja, valor máximo de 60mg/l ou tratamento que reduza pelo menos 80% do seu valor inicial.

O simples tratamento primário, representado no caso pelo peneiramento e remoção dos sólidos sedimentares, já reduz aproximadamente 30% a 40% do DBO inicial.

A redução complementar é conseguida através das chamadas lagoas de oxidação. Normalmente várias lagoas são constituídas em série ou em paralelo, para aumentar a eficiência e para o aproveitamento de condições topográficas existentes.

É necessário um tempo elevado do represamento (detenção) das águas nestas lagoas, para se alcançar o nível de DBO exigido, requerendo, portanto, grandes áreas.

Os tempos de detenção normalmente utilizados nas lagoas de oxidação são os seguintes:

- Circuito aberto: 10 a 15 dias
- Circuito semi-fechado: 20 a 30 dias.

Note-se que com estes tempos de detenção, consegue-se a elevação do pH, conforme citado anteriormente.

Uma das maneiras de se reduzir o tempo de detenção das águas nas lagoas, é o de promover a aeração destas lagoas através de aeradores apropriados a esta operação.

1.3.9.6. Tratamento Anaeróbio de Águas Residuárias

1.3.9.6.1. Generalidades (6, 26, 27, 112, 131)

O tratamento anaeróbio de substâncias biodegradáveis é realizado por meio da oxidação na ausência de oxigênio molecular. É um processo que sob o ponto de vista de produção de subprodutos estáveis (de baixo poder energético), deve ser considerado de baixo rendimento.

Apesar disso, pode ser empregado eficientemente como primeiro estágio de um tratamento realizado em duas etapas, na primeira das quais reside a intenção de se eliminar, sob forma gasosa, dissipável na atmosfera, a maior massa possível de carbono.

E, efetivamente a matéria carbonácea biodegradável e transformada em grande parte em gás carbônico (CO_2) e metano (CH_4), sem necessidade de introdução, na massa do resíduo, de qualquer quantidade de energia externa. Com isso, a matéria orgânica, responsável pela DBO, é expulsa em grande parte do seio da massa líquida, deixando para o segundo estágio (aeróbio) uma tarefa reduzida em maior ou menor grau.

Em contrapartida, entretanto, um dos maiores inconvenientes é a formação de gás sulfídrico, que, além do cheiro repugnante, apresenta uma considerável demanda química (imediata) de oxigênio. O tratamento anaeróbio pode eliminar, em condições favoráveis, em um período de 10 a 20 dias mais de 80% da matéria biodegradável, considerando-se na prática,

60% como resultado satisfatório, obtido geralmente em lagoas anaeróbias de estabilização.

1.3.9.6.2. Modalidades de Tratamento Anaeróbio

A estabilização de matéria biodegradável na ausência de oxigênio molecular pode ser realizada em diversos aparelhos, dos quais se destacam três (6, 26, 27, 112, 131): tanques sépticos (fossas sépticas), destinados a despejos de baixo teor de matéria sólida, medida em termos de resíduo seco; menos de 20g/litro; digestores, destinados a despejos líquidos de elevado teor de matéria sólida: mais de 50g/litro(em casos intermediários, cabe a escolha feita por um consultor experiente); lagoas de estabilização anaeróbia, aplicáveis em ambos os casos.

Normalmente o valor do pH dos principais efluentes líquidos a serem despejados das usinas de açúcar e álcool, está compreendido na faixa de 6 a 7.

Entretanto o represamento posterior destas águas para enquadramento dos sólidos sedimentares e da DBO, faz com que o pH caia a valores da ordem de 4 a 5, portanto inferiores aos permitidos pela legislação; com isto, torna-se necessário um tratamento por tempo mais prolongado nas lagoas de sedimentação e/ou oxidação, para que este valor volte ao desejado.

Outro recurso também utilizado, quando o circuito de água da usina permite, é o da mistura da água servida

O grande inconveniente deste sistema é o alto custo dos aeradores e a alta demanda de energia elétrica.

1.3.9.7. Recomendações que Estão Sendo Dadas aos Usineiros(58)

a) Modificação dos sistemas de tratamento de águas de lavagem, passando de gradeamento, decantação simples ou mesmo lançamento direto para lagoas de estabilização;

b) Estimular a reciclagem das águas de lavagem e a utilização das águas condensadas das colunas barométricas nesta operação;

c) Estimular a recirculação das águas condensadas das colunas barométricas;

d) Melhorar as condições de evaporação dos evaporadores de múltiplo efeito, através da instalação de limitadores de arraste (internos) e recuperadores de arraste (externos);

e) Estimular a irrigação dos canaviais com o restilo para as usinas que já adotaram o processo até que se utilize todo o restilo produzido;

f) Melhorar as condições de segurança no acúmulo e distribuição do restilo, isto é, eliminar os depósitos perigosos à margens de córregos receptores e incrementar a disponibilidade de equipamentos de reserva (bombas, tubulações e caminhões-tanques) utilizados na distribuição do restilo;

g) melhorar as condições de manutenção na entressafra.

1.3.9.8. Conclusão (16)

Entre os resíduos de uma Indústria Açucareira, o único cujo tratamento representa um ônus efetivo para a mesma, é a água de lavagem de cana. De fato, essas águas necessitam, forçosamente, sofrer gradeamento, decantação e posterior tratamento biológico, os quais representam um gasto não amortizável com o aumento de produção, ao longo do tempo. Porém, os tratamentos sugeridos para a água de lavagem de cana são relativamente econômicos, o que representa uma solução economicamente viável para o tratamento dos despejos das usinas de açúcar e álcool.

1.3.10. Tratamento de Água Residuária com Carvão Ativo

É no campo de tratamento de águas, que tem aumentado consideravelmente o uso do carvão ativo. Neste particular, é de se salientar as medidas corretivas impostas pelos organismos estatais, no sentido de restringir ao máximo a poluição das águas e do ar. O carvão ativo tem-se mostrado bastante apropriado para remoção de compostos de efluentes industriais, normalmente refratários a tratamentos convencionais. Conforme citação do Parry transcrita abaixo, pode-se constatar o grande valor que começa a ser dado ao carvão ativo em processos modernos de tratamento de efluentes (52).

"Pode-se dizer com certeza que o uso do carvão

ativo para tratamento de águas é um mercado que tenderá a crescer continuamente; nenhum outro agente químico parece poder substituir com vantagem o carvão ativo neste tradicional mercado e não parece existir, num futuro previsível, nenhum outro produto, que possa concorrer significativamente com o carvão ativo".

Esta proposição é enfatizada por Henegan (21) que diz:

"Desconhecido por muita gente é o fato de que afinal alcançamos um ponto crítico na tecnologia da engenharia sanitária. Atualmente, há dados operacionais suficientes para provar que os sistemas biológicos/adsorção com carvão ativo, podem competir economicamente com os sistemas convencionais de tratamento de águas residuárias, como o processo dos lodos ativados.

Não somente por uma melhor remoção de DBO, mas também pela remoção de compostos refratários a tratamentos convencionais: clorofenóis, dioxina, inseticidas clorados".

Apesar da aplicação de carvão ativado para tratamento de águas residuárias ser bastante recente, seu valor potencial, como processo de tratamento prático e econômico, tem estimulado muitas pesquisas neste campo. A adsorção com carvão ativado como processo de tratamento terciário para remover matérias orgânicas refratárias ao tratamento biológico e que existem, nos esgotos domésticos como nos industriais, é matéria de pesquisa de vários especialistas (21, 84, 116, 133).

Na Indústria de Celulose e Papel, tem aumentado

bastante, nos últimos dez anos, o interesse para a utilização de carvão ativado para remoção de vários poluentes refratários a tratamentos convencionais, entre eles: cor e fenol.

O carvão ativado é bastante eficiente para tratamento de água, não somente pela sua alta reatividade química (declorinação), mas também pelas suas propriedades de adsorção altamente desenvolvidas. As águas, que normalmente contém materiais indesejáveis, que não foram removidos nos estágios anteriores de tratamento, dando à água cheiro e gosto desagradáveis, podendo conter também produtos altamente prejudiciais à saúde como os clorofenóis, são purificadas através da remoção por adsorção em carvão ativado (21, 75, 84, 116, 133).

O carvão ativo pode ser usado em tratamentos para abastecimentos de águas potáveis, sendo ainda o elemento mais prometedor dentro do tratamento por adsorção de águas residuárias (84).

Como visto anteriormente, o carvão ativo pode ser utilizado na finalização de tratamento de águas residuárias, após a água já ter sido tratada por processos biológicos normais, nesse caso o carvão é utilizado somente para eliminar parte da matéria orgânica residual dissolvida. Muitos compostos que impurificam a água são eficientemente eliminados com carvão ativo do que quando usados produtos químicos (75, 84).

A aplicação econômica do carvão ativado depende da existência de um meio eficaz para a regeneração quando o mesmo já tiver saturado a sua capacidade de adsorção (84).

As vantagens da aplicação de carvão ativo na purificação de água são (75):

1. Maior período de contato é obtido.
2. A lama é estabilizada.
3. Existe melhor formação de flocos.
4. Existe uma redução da demanda de cloro quando existe uma efetiva adsorção considerável de matéria orgânica.

CAPÍTULO 2

MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Materiais

2.1.1. Bagaço de Cana-de-Açúcar

O bagaço de cana-de-açúcar foi fornecido pela Cia. Industrial e Agrícola São João (Usina São João) - Araras São Paulo e as catacterísticas encontram-se nas Tabelas XXX e XXXI.

2.1.2. Água de Lavagem de Cana

A água de lavagem de cana foi fornecida pela Cia. Industrial e Agrícola São João (Usina São João) - Araras, São Paulo, e as características encontram-se na Tabela XXIII.

2.1.3. Cloreto de Zinco

O cloreto de zinco utilizado foi, reagente analítico A.C.S. grau P.A. da Equipamentos Científicos do Brasil S.A. (E. Cibra).

2.1.4. Carvão Ativo

O carvão ativo usado como padrão foi o Aktivkohle Rein Pulver (Charcoal Activated Pure Powder) Riedel-de Haën AG Seelze - Hannover. De agora em diante, nos referiremos a este carvão como carvão ativo Riedel e as características encontram-se nas Tabelas XVII e XXXI.

Todos os demais reagentes utilizados foram de grau P.A.

2.2. Métodos

2.2.1. Preparação do Carvão Ativo

2.2.1.1. Variáveis do Método de Ativação

Para materiais na forma de resíduos industriais como bagaço de cana-de-açúcar, o processo mais indicado para a fabricação de carvão ativo, é o processo químico; sendo cloreto de zinco na forma de soluções concentradas o melhor agente ativante para esse tipo de matéria-prima (1, 91, 116, 122 e 128).

Inicialmente foram selecionadas as condições para a obtenção do carvão ativo como sendo:

- Agente ativante: cloreto de zinco; nas proporções de 30% e 60% em peso do bagaço original.
- Temperatura de carbonização: 500°C, 600°C e 700°C.
- Tempo de ativação: 60 e 120 minutos.

Na Tabela XVIII encontra-se todos os níveis usados nas três variáveis do ensaio:

- Temperatura de carbonização.
- Tempo de ativação.
- Concentração de agente ativante.

2.2.1.2. Metodologia, Preparação e Ativação do Carvão

O bagaço foi inicialmente seco em estufa a 105°C ± 5°C por 12 horas, resfriado e misturado com cloreto de

zinco em solução(0,3-0,6g/ml).Após tratamentos iniciais,ou seja,impregnação durante 30 minutos, tempo necessário para a total impregnação da solução, o material foi colocado em cadinho de porcelana e coberto com folha de alumínio para evitar oxidação do carvão, procedeu-se à carbonização em ausência de ar em forno elético da Eletrotérmica Industrial Etil Ltda. Temperatura máxima de trabalho 1450°C, a 220 volts, de controle automático.

Após carbonização, o produto foi resfriado filtrado e lavado com ácido clorídrico (HCl) e água destilada,até remoção do cloreto de zinco ($Zn\ Cl_2$), que ainda impregnava a superfície do carvão. A lavagem foi efetuada em filtro comum e o papel utilizado foi o Framex 389^2 faixa branca (papel de filtro quantitativo).

A seguir foi feita a secagem em estufa a $105^{\circ} \pm 5^{\circ}C$ por 12 horas e o produto resfriado em dessecador. A seguir foi moído em um almofariz e passado em peneira ABNT nº48.

A fração que passou nesta peneira foi utilizada para a caracterização do carvão ativo, ensaios de descoramento, diminuição de carga poluidora da água de lavagem e adsorção de iodo (47, 70).

2.2.2. Caracterização do Carvão Ativo

2.2.2.1. Rendimento

Foi calculado na base seca representando a porcentagem de carvão ativo, após lavagem e secagem, em relação à matéria-prima seca usada.

2.2.2.2. Teor de Umidade

Foi determinado tomando-se uma quantidade determinada de amostra de carvão ativo e secando-se em estufa a $105^{o} \pm 5^{o}C$ por 4 horas (3).

2.2.2.3. pH

O pH de um carvão pode ser definido como o pH de uma suspensão de carvão em água destilada. Seu valor numérico pode ser afetado pelas condições experimentais por exemplo: tempo de contato, temperatura da água e relação carvão/água. O pH da maioria dos carvões ativos comerciais é devido às impurezas inorgânicas originais da matéria-prima, ou que foram adicionadas durante sua fabricação.

O método para determinação do pH dos carvões consiste em levar à ebulição uma quantidade determinada de carvão ativo (10g) em 100ml de água destilada e medir o pH da solução filtrada e resfriada (117).

2.2.2.4. Teor de Substâncias Solúveis em Água

O teor de substâncias solúveis em água depende da matéria-prima usada e do grau de lavagem efetuado no produto, podendo variar de 0,2% a 4% (3).

O método utilizado para sua determinação consistiu em elvar à ebulição 3g da amostra de carvão em 50ml de água destilada. Após fervura por 10 minutos filtrou-se em papel de filtro Whatman nº 40 Ø 9cm, para um balão aferido de

100ml, complementando-se o volume; 40ml dessa solução foram evaporados e secos em estufa a $105^{o} \pm 5^{o}C$ por 4 horas, pesando-se o resíduo. A porcentagem do resíduo é o teor de substâncias solúveis em água (117).

2.2.2.5. Teor de Cinzas

As cinzas contém principalmente K^{+}, Na^{+}, Mg^{2+}, Fe^{3+}, Al^{3} e outros elementos tais como: fósforo, cálcio, enxofre, cobre, manganês, zinco, boro, lítio e cobalto, (3) (Tabela XXXI). Estas dependem do material e do procedimento utilizado na obtenção do carvão ativo.

O método usado para determinação do teor de cinzas foi o da ASTM D 2866-70. Consiste em calcinar uma certa quantidade de carvão ativo a $650 \pm 25^{o}C$, pesando-se o resíduo. A porcentagem de resíduos é o teor de cinzas (3).

2.2.3. Descoramento da Água de Lavagem de Cana-de-Açúcar

2.2.3.1. Variáveis do Ensaio

Para procedermos a etapa de descoramento, tomamos uma alíquota de água de lavagem de cana-de-açúcar e utilizamos as seguintes condições:

- Tempo de contato: 20 minutos.
- Porcentagem de carvão ativo empregado: 1,0% e 1,5%.
- Temperatura de trabalho: $25^{o}C$.
- Transmitância inicial a 460nm: 25%

Todas as amostras de água de lavagem foram inicialmente filtradas, com papel de filtro quantitativo Framex

389^2 faixa branca para eliminar substância insolúveis.

2.2.3.2. Ensaio de Descoramento

O ensaio consiste basicamente em misturar o carvão ativo à água de lavagem com auxílio de uma bagueta de vidro para efetuar uma agitação durante 20 minutos o qual promove a formação da suspensão. O ensaio foi efetuado na temperatura de 25°C.

Depois iniciou-se a filtração da suspensão em filtro quantitativo Framex 389^2, faixa branca, para retirada do carvão coletando a água em um béquer e medindo-se a transmitância a 460nm.

O descoramento foi efetuado, usando amostras de carvão ativo obtidas em temperaturas de carbonização de 500°, 600° e 700°C, com tempo de ativação de 60 e 120 minutos e variando o agente ativante em relação ao peso de bagaço inicial de 30 e 60%. Para usar o mesmo volume de solução de cloreto de zinco, preparou-se soluções de agente ativante contendo 0,3 e 0,6g/ml do respectivo sal.

Foram utilizados também, um carvão ativo obtido a 500°C, com tempos de carbonização de 1 hora e sem agente ativante e um outro como padrão (carvão ativo Riedel).

2.2.3.3. Determinação da Transmitância da Água de Lavagem

Fez-se leituras de transmitância da água de lavagem filtradas sem tratamento com carvão e também das alíquo

tas obtidas após os tratamentos. Para a leitura colocou-se a água numa cubeta de quartzo de 1cm.

As transmitâncias foram obtidas em um espectrofotômetro - Coleman Júnior II modelo 6/20(325 a 825nm)a 460nm. Usou-se como padrão 100% de transmitância, a água destilada(3).

2.2.3.4. Aumento Porcentual da Transmitância Após Tratamento

O aumento porcentual da transmitância da água de lavagem após tratamento com carvão foi dado pela relação abaixo:

- Porcentagem de variação de transmitância = $\frac{T_I - T_F}{T_I} \times 100$

T_I = Transmitância inicial, obtida da água de lavagem sem tratamento com carvão, mas filtrada com papel de filtro para retirada de substâncias insolúveis.

T_F = Transmitância final, obtida após eliminação de substâncias insolúveis da água de lavagem e tratamento com carvão ativo, com posterior separação do mesmo.

2.2.4. Avaliação do Desempenho do Carvão Ativo Pelas Determinações de DQO e DBO na Água de Lavagem de Cana

Inicialmente as águas foram filtradas com papel de filtro quantitativo Framex 389^2 faixa branca, para retirada de substâncias insolúveis e posteriormente, efetuadas determinações de DQO e DBO, antes e após tratamento com carvões ativos.

As amostras de carvão ativo foram sempre utili

zadas em ensaios de contato descontínuo (ensaios de descoramento, diminuição do potencial poluidor e adsorção de iodo). Para ensaios da verificação da diminuição do potencial poluidor de água de lavagem de cana, determinação do poder adsorvente e determinações de espécies químicas, utilizaram-se as amostras:

- Carvão ativo obtido a 500°C, tempo de ativação 60 minutos, 30% de agente ativante.
- Carvão ativo obtido a 500°C, tempo de ativação 60 minutos, 60% de agente ativante.
- Carvão ativo obtido a 500°C, tempo de ativação 60 minutos, sem agente ativante.
- Carvão ativo Riedel, utilizado como padrão.

2.2.4.1. Variáveis do Ensaio

Para procedermos o tratamento da água de lavagem com carvão ativo, tomamos uma alíquota da água e utilizamos as seguintes condições:

- Tempo de contato: 20 minutos.
- Temperatura de trabalho: 30°C.
- Porcentagem de carvão empregada: 1,5% em peso em relação à água de lavagem.

2.2.4.2. Metodologia do Ensaio

O processo consiste basicamente em misturar o carvão ativo à água de lavagem formando uma suspensão, deixando-se 20 minutos em contato e com agitação manual, na temperatura de 30°C.

Depois iniciou-se a filtração da água em filtro comum, usando papel de filtro quantitativo Framex 389^2 faixa branca, para retirada do carvão, coletando-a em um béquer. A água, foi então transferida para balões volumétricos de 1000ml que permitiram seu total enchimento e não deixando espaços vazios para evitar permanência de ar.

A água de lavagem, desde a sua coleta e posterior análise no laboratório, foi conservada à 4°C para evitar mudanças em sua qualidade.

2.2.4.3. Determinação de DBO e DQO da Água de Lavagem

As determinações foram efetuadas nos laboratórios da Coopersucar - Piracicaba, conforme métodos utilizados pela Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental SP (CETESB).

A DBO é determinada pelo método da diluição e incubação (20°C, 5 dias), conforme "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater".

A DQO é determinada pela oxidação da amostra pelo dicromato de potássio em meio ácido, medindo-se o consumo do reagente utilizado, conforme "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater".

2.2.4.4. Diminuições Porcentuais de DBO e DQO Após Tratamentos

As diminuições porcentuais de DBO e DQO da água de lavagem após tratamento com carvão foram determinadas pela relação abaixo:

$$\text{Diminuição \% de DBO} = \frac{DBO_I - DBO_F}{DQO_I} \times 100$$

DBO_I = Demanda Bioquímica de Oxigênio Inicial.

DBO_F = Demanda Bioquímica de Oxigênio Final.

DQO_I = Demanda Química de Oxigênio Inicial

DQO_F = Demanda Química de Oxigênio Final.

2.2.5. Adsorção de Iodo, Curvas de Adsorção e Isoterma de Freundlich.

Para obtenção da isoterma e das curvas de adsorção, inicialmente determinou-se o poder adsorvente dos carvões ativos conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas, P - MB 202 R:

Objetivo:-

1. O presente método fixa o modo pela qual deve ser feita a determinação do poder adsorvente de carvões ativos.

Reagentes:-

2. Solução N/10 de iodo, iodeto de potássio, exata.
   . Solução N/10 de tiossulfato de sódio, exata.
   . Solução recente de amido (1g de amido solúvel em 50ml de água destilada).

Determinação:-

3. Em um frasco de rolha esmerilhada, de 400ml, agitar, durante 30 minutos,, uma mistura de 0,29g (exata) de carvão, seco a 120°C e passada por uma peneira ABNT nº 48 e 50ml de solução iodo, iodeto de potássio N/10. Em seguida,centrifugar a mistura. Titular o iodo restante com tiossulfato de sódio

N/10, em 25ml do líquido decantado.

Adsorção:-

4. Foram determinadas curvas de adsorção e isotermas segundo Freundlich.

Curva de Adsorção:-

5. (Tabela XXV e Figura 2), determinada pelo iodo adsorvido (mg) de uma solução 0,1N por uma certa quantidade variável de carvão ativo (g).

2.2.5.1. Metodologia do Processo

Para obtermos a isoterma e as curvas de adsorção, inicialmente determinamos o poder adsorvente dos carvões, utilizando quantidades variáveis das amostras em 50ml de solução iodo, iodeto de potássio 0,1N. Após a separação do carvão, uma alíquota de 25ml é titulada com tiossulfato de sódio 0,1N.

Este ensaio é aplicado industrialmente para selecionar carvões ativos, quando se deseja usá-los como descorantes. É também considerada uma caracterização inicial, para carvões ativos na remoção de odor. Esse é um dos vários métodos indiretos no qual determinamos o poder de adsorção do carvão ativo. No respectivo ensaio, para cada 50ml de solução de iodo, iodeto de potássio 0,1N, utilizamos as seguintes quantidades de carvão ativo: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,3; 1,6; 1,9; 2,5; 3,0; 3,5 e 4,0g.

2.2.6. Determinação de Espécies Químicas da Matéria-Prima e dos Carvões Ativos

A determinação de espécies químicas foi realizada na Seção de Radioquímica e Química Analítica do Centro de Energia Nuclear na Agricultura - USP - Piracicaba.

2.2.6.1. Digestão das Amostras

Foi realizada digestão nitroperclórica empregando bloco digestor.

2.2.6.2. Determinações

As seguintes determinações foram efetuadas nos respectivos aparelhos:

- Al, B, Ca, Cu, Fe, Mg, P, Zn: Espectrofotômetro de Emissão de Plasma Induzido em Argônio, Jarrel ASH modelo 975, Atom Comp.
- K, Li: Fotômetro de chama micronal modelo B 262.
- S: Espectrofotômetro Varian Série 634.

Na Tabela XXXI, encontram-se os valores das espécies químicas existentes no bagaço e nos carvões ativos. Os resultados são médias de três repetições.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

O trabalho experimental consistiu de:

- Obtenção do carvão ativo e sua caracterização.
- Verificação do descoramento de água de lavagem de cana-de-açúcar.
- Verificação da diminuição do potencial poluidor da água de lavagem.
- Determinação do poder adsorvente do carvão ativo e determinação de curva de adsorção e da isoterma.
- Determinação de espécies químicas do bagaço e dos carvões ativos.

3.1. Caracterização do Carvão Ativo

Nesta etapa as amostras de carvões ativos foram caracterizadas segundo:

3.1.1. Rendimento

Os resultados apresentados nas Tabelas XV, XVII e XIX referem-se a influência das variações da temperatura de carbonização, tempo de ativação e concentração de agente ativante no rendimento do carvão ativo.

3.1.2. Teor de Umidade

Os resultados apresentados nas Tabelas XV e XVII demonstram que o teor de umidade varia de 0,51 a 3,75%.

3.1.3. Teor de Cinzas

Resultados são apresentados nas Tabelas XV, XVII e XX.

3.1.4. pH

Resultados são apresentados nas Tabelas XV e XVII.

3.1.5. Teor de Substâncias Solúveis em Água

Os resultados são apresentados nas Tabelas XV e XVII.

3.2. Verificação do Desempenho do Carvão Ativo

O desempenho dos carvões ativos foram verificados através dos ensaios de descoramento pelo método descontínuo por contato, verificação de diminuição do potencial poluidor e pela adsorção de iodo.

Os resultados obtidos encontram-se nas Tabelas XVI, XVII, XXII, XXIII, XXIV, XXV, XXVI, XXVII, XXVIII, XXIX e

nas Figuras 2 e 3.

O resultado da verificação de descoramento de água de lavagem de cana-de-açúcar são apresentados nas Tabelas XV, XVI e XVII.

3.2.2. Verificação da Diminuição do Potencial Poluidor da Água de Lavagem de Cana

Os resultados das variações de DBO e DQO são apresentadas na Tabela XXIII.

3.2.3. Adsorção de Iodo

Os resultados de adsorção de iodo são apresentados nas Tabelas XXIV, XXV, XXVI, XXVII, XXVIII, XXIX e nas Figuras 2 e 3.

3.3. Determinação de Espécies Químicas do Bagaço e dos Carvões Ativos

Os resultados das determinações de espécies químicas do bagaço e dos carvões ativos são apresentados na Tabela XXXI.

CAPÍTULO 4

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O objetivo deste Capítulo é de discutir os resultados obtidos na caracterização do carvão ativo, na determinação das espécies químicas no carvão ativo e na matéria-prima e nas verificações dos desempenhos das amostras de carvão ativo.

4.1. Caracterização do Carvão Ativo

4.1.1. Rendimento do Método de Obtenção do Carvão Ativo

Pelos resultados experimentais observa-se que, com o aumento do tempo de ativação, ou com o aumento da temperatura de carbonização existe uma tendência a uma diminuição no rendimento do carvão ativo obtido.

Isto era esperado, pois, tanto um fator como o outro influi na volatilidade dos componentes existentes no carvão ativo de modo a alterar o rendimento.

Observou-se que a influência da temperatura de carbonização foi mais acentuada do que a do tempo de ativação nas condições dos ensaios.

A concentração de agente ativante, conforme verificado pelas análises,não evidenciou nenhuma tendência no fator rendimento, talvez, pelo fato de que nas condições do ensaio, as quantidades de agente ativante em ambos os casos possibilitaram uma formação idêntica de quantidade de carbono e também uma idêntica diminuição na velocidade de pirólise.

Um resultado bastante realçador é observado no rendimento, quando obtemos o carvão ativo sem utilização de agente ativante, pois, o mesmo apresenta uma diminuição de modo, acentuado. Na temperatura de 500°C e 1 hora de carbonização sem utilização de agente ativante, o rendimento foi em média, de 28%. Na mesma temperatura e mesmo tempo de carbonização, utilizando agente ativante, tivemos rendimento em média de 42%.

4.1.2. Teor de Umidade

O teor de umidade não depende da temperatura e tempo de carbonização e nem da quantidade de agente ativante. O teor de umidade está relacionado com o tempo, temperatura de secagem e eficiência da secagem final na estufa, após a lavagem com ácido clorídrico e água.

4.1.3. Teor de Cinzas

Os resultados apresentados nas Tabelas XV, XVII e XX, indicam que para o teor de cinzas há uma certa tendência do seu aumento, com o aumento de temperatura e da quantidade de agente ativante. O tempo de carbonização possui tendência de aumentar este valor. Não podemos esquecer que o teor de cinzas está ligado intimamente com a eficiência da lavagem com ácido clorídrico e água.

4.1.4. pH

O valor do pH do carvão ativo não pode ser relacionado com a temperatura, tempo de carbonização e quantidade de agente ativante, pois, após a retirada do mesmo da mufla, ele

sofre uma lavagem final com ácido clorídrico e água, o que possibilita ao mesmo, possuir uma característica ácida. O valor do pH do carvão ativo variou de 5,7 a 8,0.

O carvão ativo Riedel possui característica básica, o seu pH é igual a 10,75. Lembramos que sua matéria-prima carbonácea não é o bagaço e que o seu processo de ativação, de lavagem e de purificação, provavelmente são diversos dos utilizados em nossos ensaios.

4.1.5. Teor de Substâncias Solúveis em Água

Pelos resultados experimentais constatamos que houve variação de 0,12 a 1,35% no teor de sólidos solúveis em água. O teor de substâncias solúveis em água não depende da temperatura de ativação, do tempo de carbonização e nem da quantidade de agente ativante, pois, após a retirada do carvão ativo da mufla, ele sofre uma lavagem com ácido clorídrico e água destilada, o que arrasta consigo substâncias solúveis no meio aquoso.

4.2. Verificação do Desempenho do Carvão Ativo

4.2.1. Verificação do Descoramento da Água de Lavagem de Cana-de-Açúcar

Verificamos que os carvões ativos obtidos pelos vários processos (variação de temperatura e tempo de carbonização, variação de quantidade de agente ativante), não apresentaram variações significativas de eficiências nos descoramentos.

O carvão obtido sem agente ativante apresentou

baixa eficiência de descoramento.

O Carvão ativo Riedel foi o que apresentou melhor capacidade de descoramento.

Os carvões ativos obtidos com emprego de agente ativante apresentaram eficiência significativa no descoramento da água de lavagem de cana. Houve também um significativo aumento de eficiência no descoramento, com o aumento de quantidade de carvão ativo empregado.

4.2.2. Diminuição do Potencial Poluidor

Os resultados experimentais indicam uma redução % de DBO de 62,64% e de 70,21% para a DQO, utilizando o carvão ativo Riedel.

As reduções % ocorridas com tratamento com o carvão ativo obtido em laboratório e com agente ativante foram em média 57,54 para a DBO e 54,25 para a DQO.

As reduções % ocorridas com tratamento com o carvão ativo obtido sem agente ativante foram bastante inferiores.

4.2.3. Adsorção de Iodo

As quantidades de iodo adsorvido por quantidades variáveis de carvões ativos empregados, foram utilizados para construírmos as curvas de adsorção de iodo (Figura 2) e as isotermas segundo Freundlich (Figura 3).

Pleas curvas de adsorção e isotermas segundo

Freundlich observamos que as melhores eficiências em adsorção (ordem crescente), conseguidas pelos carvões ativos, foram: sem agente ativante, 60% de agente ativante, 30%, de agente ativante, carvão ativo Riedel. Observamos também, que na concentração residual de iodo-iodeto ao redor de 1,2g/l houve inversão da eficiência entre os carvões obtidos utilizando 30 e 60% de agente ativante.

4.3. Determinações de Espécies Químicas do Bagaço e dos Carvões Ativos

Pelos resultados observados na Tabela XXXI, podemos constatar que existem no bagaço e nos carvões ativos, os seguintes elementos químicos: Al, B, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, P, Zn,K, lI, e S, além do C.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

5.1. Conclusões Gerais

5.1.1. O teor de umidade variou de 0,51% a 3,75%, resultado este que pode ser melhorado pela eficiência da secagem final na estufa e por um melhor acondicionamento do carvão.

5.1.2. O pH dos carvões obtidos em laboratório, estão numa faixa bastante razoável (5,7 a 7,0). O pH inicial da água de lavagem de cana é bastante baixo (4,5). O pH do carvão ativo final depende muito do processo e da eficiência da lavagem final com ácido clorídrico e água.

5.1.3. O pH do carvão ativo Riedel possui característica básica, pois o material carbonáceo, agente ativante e processo de lavagem, provavelmente, não foram os mesmos usados nos ensaios em questão.

5.1.4. O teor de substâncias solúveis em água variou de 0,12 a 1,35%. O carvão ativo Riedel apresentou o teor de 0,16%. Isto evidencia que, em alguns casos nos nossos ensaios, a lavagem com ácido clorídrico e água não foram bastante eficientes para eliminar as substâncias solúveis em água. Na maioria dos nossos ensaios, os carvões ativos obtidos apresentaram teores relativamente altos de substâncias solúveis em água. Os resultados confirmaram que

o processo de lavagem precisa ser melhorado pois, apesar da nossa proposta de que o tratamento da água de lavagem de cana, ser apenas um tratamento intermediário de um processo global, quanto menor o teor de solúveis em água, melhor seria o tratamento intermediário.

5.1.5. O teor de cinzas variou de 3,44 a 0,95%. O carvão ativo Riedel apresentou o teor de 4,40%. Em várias utilizações industriais, uma faixa razoável recomendável para o teor de cinzas é de 0 a 4%. Evidentemente, quanto menor o teor, melhor é o carvão, pois, o mesmo influi na qualidade do adsorvente e também pode formar cinzas solúveis em água, o que pioraria a eficiência do processo. Para o caso específico desse trabalho, os resultados alcançados para o teor de cinzas é satisfatório, mas creio na necessidade de melhorar o processo de obtenção do carvão ativo e de eliminação de cinzas por lavagens eficientes.

5.1.6. O teor de umidade está intimamente relacionado com o processo e eficiência da secagem final, não podemos no presente caso, relacionar o mesmo com tempo e temperatura de carbonização e nem com quantidade empregada de agente ativante. A determinação de umidade é realizada após a secagem final.

5.1.7. O carvão empregado nas condições dos ensaios, mostrou que, variando 0,5% na quantidade, houve uma mudança considerável na variação de remoção de substâncias coloridas da água de lavagem de cana.

5.1.8. A variação % de transmitância da água de lavagem de cana quando empregamos 1% de carvão foi de 70,01 - 75,20 para o carvão obtido com agente ativante 62,33 para o sem agente ativante e 112,58 para o carvão ativo Riedel. Quando empregamos 1,5% de carvão ativo os resultados foram de 88,56 - 101,41 para o carvão ativo obtido com agente ativante, 83,50 para o obtido sem agente ativante e 158,31 para o carvão ativo Riedel.

5.1.9. As verificações de reduções de DBO e DQO foram bastante razoáveis. Dentre as amostras utilizadas as que foram mais eficientes foram a do carvão ativo Riedel, seguida pelo carvão ativo obtido com 30% de agente ativante e após, o carvão ativo obtido com 60% de agente ativante e por último, com pequena eficiência, o carvão ativo obtido sem agente ativante.

5.1.10. Nos testes de verificação da diminuição do potencial poluidor e de adsorção de iodo, utilizaram-se amostras de carvões ativos, obtidos a 500°C e 1 hora de ativação porque economizamos tempo, energia e de acordo com resultados anteriores (verificação de descoramento) e de pesquisa bibliográfica, o carvão ativo obtido nessas condições apresenta ótimas características. Existe também, a facilidade de se trabalhar em temperaturas inferiores a 600°C, de modo a evitar também a corrosão dos materiais dos equipamentos.

5.2. Conclusões Específicas

5.2.1. O rendimento de obtenção do carvão ativo foi na faixa de 28 a 42%. Em temperatura de 500°C o rendimento foi superior a 37%, quando utilizamos agente ativante e em temperatura de 700°C, o rendimento foi bastante baixo chegando ao redor de 28%, o que comprova realmente que, a utilização de agente ativante, diminui a formação de compostos voláteis. O rendimento de 37% é considerado razoável de acordo com a literatura consultada.

5.2.2. Considerando-se os rendimentos dos carvões ativos obtidos, podemos concluir que realmente o aumento de cloreto de zinco tem o efeito de diminuir a velocidade de pirólise e aumentar a obtenção de carvão, pois, diminui a formação de alcatrões e a quantidade da fase aquosa no destilado (ácido acético, metanol e outros).

5.2.3. Na caracterização do carvão (rendimento, pH, sclúveis em água, cinzas e umidade) não houve diferença significativa, a qual pudesse ccrrelacionar os resultados dos mesmos com a quantidade empregada de agente ativante (30 ou 60%).

5.2.4. O uso de agente ativante (30 ou 60%) aumenta em muito a formação de carvão ativo em relação à sua obtenção sem o agente ativante, pois, o mesmo evita a formação de compostos voláteis.

5.2.5. Nas verificações de desempenho do carvão ativo, em vários resultados, o carvão ativo obtido com uso de 30%

de agente ativante teve melhor eficiência do que o carvão ativo obtido com emprego de 60% de agente ativante. Apesar disso, os dois apresentaram eficiência bastante próximas, o que pode ser observado pela verificação de descoramento, diminuição do potencial poluidor da água de lavagem de cana e adsorção de iodo. Em todos os ensaios, o carvão ativo Riedel mostrou ser o mais eficiente. O carvão ativo obtido sem agente ativante teve o pior desempenho. Como era de esperar! As observações sobre adsorção de iodo podem ser verificadas pelas curvas de adsorção e as isotermas segundo Freundlich.

5.2.6. Pelas curvas de adsorção pelas isotermas de Freundlich, podemos concluir que o carvão ativo Riedel foi o que apresentou melhor eficiência de adsorção, em seguida foi o carvão obtido com 30% de agente ativante logo após o carvão obtido com 60% de agente ativante e por último, com pior eficiência, o carvão ativo obtido sem agente ativante.

5.2.7. Pela Figura 3 (isotermas segundo Freundlich) concluímos que as 4 amostras seguem a equação de Freundlich.

5.2.8. Considerando as isotermas de Frundlich, concluímos que, exceto a amostra que foi obtida sem agente ativante, todas as outras amostras de carvões ativos possuem um razoável poder de adsorção no meio líquido.

5.2.9. Pelos resultados, podemos concluir que, ao escolher a quantidade de agente ativante entre 30 e 60%, devemos es

colher a de 30%, pois, economizamos reagente e ainda evitamos problemas sérios de corrosão que as concentrações altas de agente ativante podem acarretar nos equipamentos. Além disso, o carvão ativo obtido com 30% de agente ativante demonstrou em vários ensaios, ser mais eficiente do que o obtido com utilização de 60% de agente ativante. Sabemos que o agente químico cloreto de zinco exerce influência somente na fase de desidratação (carbonização) e não na fase de oxidação. A propriedade adsortiva do carvão ativo não é determinada somente pela sua estrutura porosa mas também por sua composição química. O carvão ativo e o solvente competem pelo soluto, consequentemente, algumas das modificações observadas no poder de adsorção que acompanham uma mudança na estrutura molecular, podem ter origem em transformações em propriedades, tais como solubilidade. O aumento de solubilidade na água, acompanhada pela introdução de grupo polar em compostos orgânicos, pode explicar porque esses grupos diminuem a capacidade de adsorção. As características dos carvões ativos variam com a natureza da matéria-prima usada, com as condições de ativação e com a natureza do agente ativante. Vários tipos de centro ativos estão presentes na superfície heterogênea e a adsorção depende muito da distribuição volumétrica dos poros.

5.2.10. Pelos resultados apresentados, constatamos que o carvão ativo dá uma razoável diminuição do potencial poluidor da água de lavagem de cana. A legislação da CETESB, Considera ótima uma redução de DBO de 80%.

5.2.11. O carvão ativo pode ser usado no tratamento de resíduos líquidos, pois, o mesmo tem se mostrado bastante eficiente na remoção de compostos refratários a tratamentos convencionais: clorofenóis, dioxima e inseticidas clorados.

5.2.12. As isotermas dão uma boa indicação da capacidade de adsorção dos carvões. A eficiência relativa de diferentes carvões ativos é diretamente proporcional ao valor de x/m medindo em concentrações idênticas de solução remanescente. Observamos que para o carvão obtido sem agente ativante, para qualquer valor de concentração residual, o mesmo apresenta baixo valor de x/m (pequena eficiência); para o carvão ativo Riedel, para qualquer valor de concentração residual o mesmo apresenta alto valor de x/m (alta eficiência). Os carvões obtidos com concentrações de agente ativantes (30 e 60%) apresentam eficiências intermediárias (valores intermediários de x/m). O carvão obtido utilizando 60% de agente ativante apresenta maior eficiência do que o obtido utilizando 30% de agente ativante a concentração residual de 1,2g/l, após esse valor, existe uma inversão, e para qualquer concentração residual sempre o carvão obtido com 30% de agente ativante, apresenta maior valor de x/m (maior eficiência).

5.2.13. A matéria-prima, bagaço de cana, possue elementos químicos que provavelmente ativam o carvão obtido sem auxílio de agente ativante, de modo a que o mesmo apresente um pequeno (até que razoável) poder de adsorção. Sabemos

que entre os agentes ativantes, destacam-se: cloreto de zinco, sulfeto de potássio, tiocianato de potássio, ácido sulfúrico, hidróxido de sódio, cloreto de cálcio, ácido fosfórico, hidróxido de lítio, hidróxido de potássio e cloreto de magnésio. Na análise efetuada no bagaço encontramos: Al, B, Ca, Cu, Fe, Mg, Mn, P, Zn, K, Li, S.

5.2.14. De acordo com literaturas recentes que evidenciam o grande excesso de quantidade de bagaço e as reais possibilidades de sua aplicação, é primordial a necessidade de implantar-se a curto prazo as operações de uso para o mesmo.

5.2.15. De acordo com as conclusões anteriores expostas, podemos afirmar que em escala de laboratório, o bagaço de cana-de-açúcar poderá ser matéria-prima para obtenção de carvão ativo.

5.2.16. Podemos afirmar que, o carvão ativo é um bom adsorvente em soluções líquidas e ao mesmo tempo poderá ser utilizado em tratamento de resíduos líquidos industriais das Indústrias Sucro-Alcooleiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACTIVATED CARBON BY MEANS OF HIGH TEMPERATURE AND ZINC CHLORIDE. Pittsburgh, Bureau of Mines, 1941 (RI-3548).

2. ALMEIDA, J.R. - Bagaço de cana-de-açúcar. Importância, proporção, composição e análise. Brasil Açucareiro Vol. 6 nº 6 (33-38) Jun., 1948.

3. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Part 22: Sorptive mineral materials; Soap; Engine antifreezes; Wax Polishes; Halogenated organic solvents. Activated carbon, Industrial chemicals. Easton, Md., USA, ASTM, 1970.

4. APOSTILA COPERSUCAR - Combate à poluição: avaliação do programa.

5. APOSTILA COPERSUCAR - Controle químico da fabricação do açúcar.

6. AQUARONE, E.; Borzani, W. e LIMA, U.A. - Biologia - Tópicos de microbiologia, Vol. 2. São Paulo Ed. Edgard Blüchler e EDUSP, 1975. 232p.

7. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - Determinação do poder adsorvente de carvões ativos. Ante-projeto de método: PMB-202 R., Rio de Janeiro, ABNT, 1954.

8. ATCHINSON, J.E. - Moderns methods of purchasing, handling, storage and preservation of bagasse major advances in the sixties; Tappi C.A. Rept. nº 40 (5-29) Oct., 1971.

9. BACTÉRIAS DENUNCIAM A POLUIÇÃO. Química e Derivados: agosto: 35-42 (1974).

10. BAIKOW, V.E. - Manufacture and refining of raw cane sugar, Elsevier publishing Co., Amsterdam, London, New York,1967, 371p.

11. BENOUR, C. et alli - Carvão de acacia negra. Anuário da Associação Brasileirà de Química. Rio de Janeiro,10:277-294, 1951.

12. BENZINGER, H. - Today's bagasse technology Pulp & Paper International (42-44 e 57) June 1975.

13. BOLETIM COPERSUCAR - Seminário sobre Bagaço de cana, 1983.

14. BOND, R.L. - Porous carbon solids, Academic Press, London and New York, 1967, 311p.

15. BORGES, J.M.M.; CAMPOS, R.M. - O mercado potencial do bagaço de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo - Saccharum - Revista Tecnológica da Indústria Açucareira e Alcooleira, 6(24): 21-26 (1983).

16. BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A. - Manual de tratamento de águas residuárias industriais, SP, CETESB, 1979, 764p.

17. BARRET, E.P. - Some granular carbonaceous adsorbents for sugar refining. Ind. Eng. Chem., 43(3):632-654 (1951).

18. BARRET, E.P.; JOYNER, L.G. e HALENDA - Granular adsorbents for sugar refining. Ind. Eng. Chem., 44(8):1827-1830

19. BROW, G.; KATZ, D.; FOUST, A E SCHNEIDEWIND,R. - Adsorção operaciones básicas de la Ingenieria Química, 27, 420, (1963).

20. BROW, G.; KATZ, D.; FOUST, A. E SCHNEIDEWIND, R. - Filtração operaciones básicas de la Ingenieria Química 18, 242, (1963).

21. BROWNING, J.E. - Activated carbon bids for waste water treatment jobs. Chemical Engineering, New York, 7:32-34, 1970.

22. BRUNAUER, S. E EMMETT, P.H. - The use of low temperature van der Waals adsorption isotherms in determining the surface areas of various adsorbents. Journal of American Chemical Soceity, Washington, 59:2682-2689, 1937.

23. BUHRER, N.E. - Estudos para obtenção de carvão ativo vegetal. Revista de Química Industrial, Rio de Janeiro 23 (27c):223-228 (1954).

24. CACEX - Centro de Informações Econômico-Fiscais - Comércio Exterior do Brasil, São Paulo, Cacex, 1977.

25. CASEY, J.P. - Pulp and Paper, Chemistry and Chemical Technology Vol.I e II, Interscience Publishers, N.Y., 1966.

26. CENTURION, R.E.B. et alli - Tratamento de despejos líquidos de usinas de açúcar. VIIº COngresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Salvador, CETESB, 1973.

27. CENTURION, R.E.B.; TARALLI, G. - A experiência adquirida e os programas da CETESB relativos à tratamento e neutrali-

zação de águas residuárias de açúcar e álcool de cana. XVIº Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Santos Domingo, CETESB, 1978.

28. CETESB - Rios Paulistas sob Controle, Química e Derivados, Almanaque do álcool, Julho:38-40 (1984).

29. CHANEY, N.K. et alli - The properties of activated carbon which determine its industrial applications. Industrial and Engineering Chemistry 15(12):1244-54 (1923).

30. CHAPMAN, F.M. - Improvements in efficiency of decolorization using solids adsorbents. Int. Sugar. J., London, 66(791): 352-355 (1964).

31. COPERSUCAR - DIVISÃO INDUSTRIAL - Decantador de águas de lavagem de cana. Boletim Técnico da Copersucar, São Paulo, (13):4-7, set. 1980.

32. COUROULEAU, P.H. - Activated carbon manufacture capacity of adsorption. Use in solvent recovery. Chemical Engineering, March, 112-115 (1948).

33. COX, G.M. E COCHRANE, W.G. - Experimental designs, 2ª ed. New York, John Wiley, 1957

34. DAVIDSON, H.W. et alli - Manufactured carbon, Pergamon Press, 1966, 111p.

35. DEITZ, V.R. - Bibliography of solid adsorbents (1900- 1942). Washington-DC, United States Cane Sugar Refiners and National Bureau of Standards, 1944.

36. DEITZ, V.R. - The surface areas of some solid adsorbents of possible use in chromatography. Anals of the New York Academy of Science, Washington, 49:315-323, 1948.

37. DEITZ, V.R. - Bibliography of solid adsorbents (1943 -1953). New York, U.S. Department of Comerce, National Bureau of Standards, 1970 (Circular 566).

38. DIAS, E.F. - Obtenção e Caracterização, em laboratório, do carvão ativo de casca de coco de babaçu, visando sua utilização no descoramento de caldas no refino de açúcar bruto brasileiro. São Paulo, Escola Politécnica da USP, 1984 Dissertação de Mestrado.

39. EBELING, C. - Circuitos de águas em destilarias autônomas, Álcool e Açúcar 3(12):18-28 (1983).

40. ECKENFELDER JR., W.W. E BURLESON, N.K. - Tertiary treatment of secondary industrial efluents by activated carbon: In: 23rd. Industrial Waste Conference, May 7, 8 and 9, 1968. United States, Purdue University, 1968.

41. EFLUENTES, OS PRINCIPAIS SISTEMAS - Química e Derivados: março:10-29 (1982).

42. EVALUATION OF GRANULAR CARBON FOR CHEMICAL PROCESS APPLICATIONS: DARCO ativated carbons. Wilmington - Dolaware, Atlas Chemicals Industries, 1971.

43. FARMACOPÈIA DOS ESTADOS UNIDOS DO BRASIL. São Paulo, Indústria Gráfica Siqueira, 1959 200p.

44. FORNWALT, H.J. et alli - Activated carbon for liquid- phase

adsorption. Rep. British Chemical Engineering, London, 8: 546-547, Aug. 1963.

45. FORNWALT, H.J. E HUTCHINS, R.A. - Purifying liquids with activared carbon. Chemical Engineering, New York, 73(8): 179-184, 1966.

46. GLORIA, N.A. et alli - Composição dos resíduos de usina de açúcar e álcool e destilarias. Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Álcool, 91 (Jun),78-87, 1973. APVD: Brasil Açucareiro, Rio de Janeiro, Instituto do Açúcar e do Álcool, 1 (Jun): 33-25, 1981.

47. GREEG, S.J. E SING, K.S.W. - Adsorption, surface area and porosity, London, Academic Press, 1967.

48. HALEY, A.J. - An extension of the Nelsen-Eggertsen continuous flow method of surface area measurement. Jorunal of Applied Chemistry, 13, Sept., 1963.

49. HANSEN, R.M. - Bagasse utilization, Sugar Journal 18 nº 2 (32-38) 1955.

50. HARRIS, E.W. - Activated carbon in sugar refining. Ind. Eng. Chem. 34(9):1057-60 (1942).

51. HASHIMOTO, K. et alli - Change in pore structure of carbonaceous materials during activation and dasorption performance of activated carbon. Ind. Eng. Chem. Des. DEv. 18 (1):72-80 (1979).

52. HASSLER, J.W. - Activated carbon. New York, Chemical Publishing Co., 1963 479p.

53. HASSLER, J.W. - Purification with activated carbon, Chemical Publishing Co., Inc., New York, N.Y., 1974.

54. HASSLER, J.W. - The nature of active carbon industrial and Engineering Chemistry, July, 645-49 (1945).

55. HEITZ, F. - Les bases de la filtration, Sucr. belge 94, 488 (1975).

56. HELBIG, W.A. - Activated carbon. Journal of Chemical Education, New York, 23(2):98-102, 1946.

57. HERE'S YOUR INFORMATION ABOUT HYDRODARCO ACTIVATED CARBONS FOR MUNICIPAL WATER TREATMENT. United States, ICI United States Inc., 1973.

58. HESPANHOL, I. - Os efeitos do Programa Nacional do Álcool sobre o meio ambiente. Energia-Fontes Alternativas 1(5): 23-45 (1979).

59. HIRSCHLER, A.E. E AMON, S. - Adsorption. Ind. Eng. Chem. 34 (12):1585-96 (L947).

60. HONIG, P. - Elementos estruturales del bagazo de cana y su significado para los produtos que habean de manufacturar. Memórias de la XXV Conferencia Anual Assoc. Técnica Azucarera (373-387) Cuba, Havana 1951.

61. HYNDSHAN, A.Y. - Selecionando un carbon activado en polvo. Rev. Sugar Y Azucar, May, 85-7 (1975).

62. INDUSTRIAL APPLICATIONS FOR DARCO - Evaluation of granular carbon for waste water treatment. Wilmington-Delaware, Atlas Chemical Industries, Aug.1969, 8p.(Bulletin D-111).

63. JUVILLAR, J.B. - Fabricação de carvão vegetal. Revista Brasileira de Engenharia Química, São Paulo 5(2):22-32(1981)

64. KNAPP, S.B.; MILLIKEN, J.H. E WETHERN, J.D. - Efects of depithing and bagasse variables on pulping characteristics; Tappi Vol. 40 nº 8 (602-609) Aug, 1957.

65. KROGH, G. - Uma nova aproximação ao problema de bagaço de cana 2ª Convenção Anual da ABCP, nº 14 (3-12), 1969.

66. LA FLEUR, R.A. - The sugar factory pollution abatement in Louisiana. In: Industrial Waste Conference, 16,Lafaiette, 1961. Proceedings. Lafayette, Pudur University p.212-6.

67. LAMB III, J.C. - Guidelines for the control of Industrial Wastes; 3. Cane Sugar Industry Wastes, Geneva World Healthy Organization, s.d. (Whowd, 71.8).

68. LATHROP, E.C. E ARONOVSKY, S.I. - Fabricacion de celulose a base de bagazo con especial referencia al procedimento mecano-químico, perspectivas de la industria de papel y celulose en la América Latina, 2ª FAO, México, 2ªP. (338-358) 1975.

69. LATHROP, E.C. E ARONOVSKY, S.I. - The contribution that sugar cane bagasse can make to the paper and board industries. Tappi Vol. 37 nº 17 (24A-58A) Dec. 1954.

70. LEWIS, W.K. E METZNER, A.B. - Activation of carbons. Industrial Engineering Chemistry, Washington, 46(5): 849-851 (1954).

71. LOPES, C.H. - Lavagen de cana e tratamento de seus efluentes. Saccharum, Revista Tecnológica da Indústria Açucareira e Alcooleira 6(27):26-31 (1983).

72. LYNCH, D.F. E GOSS, M.J. - Bagasse cellulose. Industrial and Engineering Chemistry Vol. 24 nº 11 (1249-1254) 1932.

73. MACDONALD, D.G. E NGUYEN, T.G. - Activated carbon from bark for effluent treatment. Pulp and Paper Magazine of Canada, 75(5):97-101, 1974.

74. MAcDONALD, R.C.; FRANKLIN, J.N. - Control, secondary fiber structural board. coating Vol. II (6-21) Pulp and Paper Manufacture McGraw Hill Co., 1969.

75. MANTELL, C.L. - Adsorption, 2ªed., New York, McGraw-Hill,1951

76. MARKETS - Activated carbon keeps up Brisk Pace. Chemical Engineering, New York, 15:32-33, 1960.

77. MARKETS - Activated carbon shows sign of maturity. Chemical Engineering, New York, 19:41, 1961.

78. McCRODDEN, B.A. - Treatment of refinery waste water using filtration and carbon adsorption. In: 29th Industrial Waste Conference, May 7, 8 and 9, 1974, United States, Purdue University, 1974. Part I.

79. MEAD, G.P. E CHEN, J.C.P. - Cane sugar handbook, 10 thed., p. 140, New York, Wiley, 1977.

80. MEAD, G.P.; SPENCER, G.L. - Manual del Azucar de Cana, tradução da 9ª edição Montaner y Simon, S.A. 1967, 940p.

81. MEASURING ADSORPTIVE CAPACITY OF ACTIVATED CARBONS FOR LIQUID PURIFICATION. Wilmington-Delaware, Atlas Chemical Industries, 1963.

82. MECHOSKEY, J.T. E SUAREZ, F. - Processo Peadco. O Papel ano XXXV (47-57) Fev. 1974.

83. MEDEIROS, J. - Estudo comparativo de pastas celulósicas de bagaço de cana critudas pelo processo soda a quente. São Paulo Escola Politécnica da USP, 1983. Dissertação de Mestrado.

84. METCALF E EDDY - Tratamiento y depuracion de las aguas residuales. Labor S.A.

85. MISRA, D.K. - Comparative study of bagasse and wheat straw for pulp and papermaking Tappi C.A. Rept. nº 40 (31-49) Oct. 1971.

86. MODERN CANE SUGAR REFINING WITH DARCO. New York, Darco Corporation, 1940.

87. MONTEIRO, C.E. - Disposição final dos despejos líquidos de indústria açucareira e alcooleira. São Paulo CETESB, 1977

88. MORGANTI, H. - A agroindústria da cana no Estado de São Paulo STAB - Açúcar e Álcool e Subprodutos 2(6):73-88(1984).

89. MORGAN. J.J. E FINK, C.E. - Binders and base materials for active carbon. Ind. Eng. Chem. 38(2):219-227 (1946).

90. MORSY, M.M.S. E GOHBASY, R.A.M. - Comparative studies on the efect of depithing on pulps from Brazilizan and Egyptian

bagasses. Fiber Science and Technology nº 13 (23-27),1980

91. MUKHERJEE, S. E BHATTACHARYA, S. - Effect of chemical treatments on the properties of activated charcoal. Journal Am Chem. Society, New Delhi, 71:1725, 1949.

92. NACCO, R. - Estudo de algumas variáveis na obtenção de carvão ativo a partir de levedura - Tese apresentada à Faculdade de Ciências Farmacêuticas da USP, 1972.

93. NAVARRO JR., L.; LACÔRTE, M.C.F.; BURGI, R. - Bagaço de cana hidrolizado na alimentação de vobinos. Álcool e Açúcar, 5(20):32-37 (1985).

94. NOLAN, W.J. - Processing of bagasse for paper and structural board Tappi Vol. 50 nº 9 (127A-136A) Sept., 1967.

95. OFFICIAL METHODS OF ANALYSIS OF THE ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS. 9ª ed., Washington, AOAC, 1960.

96. OLIVEIRA, E.R. - Bagaço de cana: um combustível que ainda não recebeu a devida atenção. Álcool e Açúcar 2(4):10-18, 1982.

97. OPERATING WITH ACTIVATED CARBON. New York, Darco Corporation 1940.

98. OTHMER, D. E KIRK, R.E. - Encyclopedia of Chemical Technology, 2ª ed., New York, International, 1963. Vol. 1, p. 931 e Vol. 2, p. 41.

99. PATURAU, J.M. - Products of the cane sugar industry. Sugar Series, 3, Elsevier Scientific Publishing Co., New York 1982, 366p.

100. PERSON, W.D. E TRUEMPER, J.T. - Decolorization of raw sugar by activated carbon. Sugar J. 34(1):9-13 (1971).

101. PHILPOT, C.W. - Influence of mineral content on the pyrolysis of plant materials. Forest Science, Washington, 16 (4):461-471, 1970.

102. PHILPOT, C.W. - The pyrolysis products and thermal characte ristics of cotton wood and its components. United States, Department of Agriculture, Forest Service, Sept. 1971, 31p. (Research Paper INT-107).

103. PROPERTIES TO CONSIDER IN SELECTING POWDERED ACTIVATED CARBON. Repr. Chemmuniqué, Feb. 1972.

104. RATNANI, K. et alli - Activated carbon adsorption treatments of spent pickle bring. The Canad. J. of Chem. Eng. 58, 325-331 (1980).

105. RAY, A.B. - Adsorption. Ind. Eng. Chem. 39(1):12-13, 32-34 (1947).

106. RAY, A.B. - Manufacture of activated carbon. Chem. and Metall. Eng. 4(22):977-982 (1924).

107. RINEHART, T.M. E FORTIER, R. - Carbón activado en la refinación de azúcar de caña. El Mundo Azucarero, Mayo 1952, 6p.

108. ROLZ, C. E RUIZ, M. - Activated carbons from sugar cane bagasse. Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Develop, 10(4): 429-32 (1971).

109. ROSSI, H. - Águas residuárias industriais e poluição dos rios. São Paulo, Escola Politécnica da USP, 1972. Tese de Doutorado.

110. SANDERS, M.T. - Evaluation of decolorizing carbons, Chem. Metall. Eng. 21:541-2 (1923).

111. SCHANZ JR., J.J. E PARRY, R.H. - The activated carbon industry. Industrial and Engineering Chemistry 54(12): 24-29 (1962).

112. SHEEHAN, G.J.; GREENFIELD, P.F. - Utilization, treatment and disposal on distillery wastewater. Water Research. 14(3):257-277. Pergamon Press, Great Britain, 1980.

113. SILBERSTEIN, B. - Mechanism of sugar liquor decolorization, by bone char. Int. Sug. H., London, 74(878):36-40(1972).

114. SILBERSTEIN, B. - The effect of bulk density an particle size of bone char on its decolorization performance.Int. Sug. J., London, 73(872):233-5 (1971).

115. SILVA FILHO, J.G. - Estudo da variação da área específica da acidez superficial e do volume do poro de alguns bauxitos brasileiros em função da temperatura de ativação. São Paulo, Escola Politécnica da USP, 1970. Dissertação de Mestrado.

116. SMISEK, M. E CERNY, S. - Active carbon. Amsterdan, Elsevier 1970, 457p.

117. SNELL, F.D. - Encyclopedia of Industrial Chemical Analysis. New Yrok, Interscience, 1969, Vol. 8 p. 170.

118. STATE PHARMACOPEIA OF THE UNION OF SOVIET SOCIALIST REPUBLICS, 9th ed., Moseou, Ministry of health, 1961.

119. STURION, A.C. et alli - Determinação quantitativa de perdas de açúcar na água de lavagem. Álcool e Açúcar 4(15): 18-20 (1984).

120. TANG, W.K. E EICKNER, H.W. - Effect of inorganic salt on pyrolysis of wood, cellulose and lignin, determined by differential thermal analysis. United States, Department of Agriculture, Forest Service, 1968. 30p. (FPL-82).

121. THECNICAL NOTE - Published by the Forest Products nº 63, Jan., 1965 - Activated Charcoal - Its preparation and application.

122. TENDOLKAR, G.S. E THAKOOR, N.R. - Steam activation of coconut shell charcoal. Journal of Science and Industrial Research, 12B:221-223, 1953.

123. THE LABORATORY EVALUATION OF GRANULAR ACTIVARED CARBONS FOR LIQUID-PHASE APPLICATIONS. Pittsburgh, Pa., Pittsburg Activated Carbon Co., Mar., 1966.

124. THOLBERT, N.E. E AMERING, M.A. - Charcoal treatments of brandy. Ind. Eng. Chem. 35(10): 1078-1082 (1943).

125. THOMPSON, H.M. et alli - The decolorization of sugar liquor by bone charcoal. J. Appl. Chem. 7:49-63 (1957).

126. TRATAMENTO DE EFLUENTES. Química e Derivados, Abril 10-27 (1984).

127. TRATAMENTO DE EFLUENTES. Química e Derivados, Julho 12-28 (1983).

128. TS'AI, L.S. E CHANG, K.Y. - Coconut shell charcoal. Industrial and Engineering Chemistry, Washington, 34(7): 812-813, 1942.

129. VALSECHI, O. - Estudos relativos à influência da medula. Tese de concurso para provimento efetivo do cargo de professor catedrático, ESALQ, 1964.

130. VILLAVICENCIO, E.J. - Celulose de bagaço alvejado qualidade comercial. O Papel Ano XXXV (33-40) Fev., 1974.

131. WILSON, H.W. E GARNER, J.H. - Purification of waste waters from beet sugar factories. Surveyor, 74, 185 (1928).

132. WILSON, T.A. et alli - Plant scale evaluation of granular Darco, Wilmington-Delaware, Atlas Chemical Industries, 1961. (Bulletin ID-82).

133. YEHASKEL, A. - Activated carbon; manufacture and regeneration. Noyes Data Corporation, 1978, 319p.

TABELA I - CARACTERÍSTICAS DIMENSIONAIS DAS FIBRAS DE BAGAÇO

	COMPRIMENTO L(u)			DIÂMETRO E(u)			RELAÇÃO
	MÉDIO	MÁX.	MIN.	MÉDIO	MÁX.	MIN.	L/E
FIBRA	1700	2800	800	20	34,1	10,2	85/1
PARÊNQUIMA	—	840	—	—	140	—	—
SEGMENTOS FIBROSOS DA CASCA	—	1350	—	—	150	—	—

u = MICRON

L = COMPRIMENTO

E = DIÂMETRO

TABELA II - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE BAGAÇO INTEGRAL (D_o) E DESMEDULADO (D_1)

BAGAÇO DE	TIPO DE BAGAÇO	UMIDADE %	CINZAS %	LIGNINA %	PENTOSANAS %	CELULOSE CROSS - BEVAN	SOLÚVEIS			OBS.
							NaOH 1%	ÁGUA QUENTE	ÁLCOOL BENSENO	
BRASIL (SÃO PAULO)	D_o	9,2	1,5	18,0	33,0	58,0	5,9	31,1	3,0	BAGAÇO FRESCO
	D_1	7,4	0,9	21,5	34,0	63,2	2,1	27,5	1,5	

TABELA III - ÁREA SUPERFICIAL DE ALGUNS MATERIAIS

MATERIAL	ÁREA (m^2/g)
CARVÃO DE OSSO	120
CARVÃO DE CASCA DE COCO	1.700
DARCO G-60	1.300
DARCO S-51	500
DARCO GRANULAR	620
NORIT	930
SUCHAR	850
COQUE DE PETRÓLEO	0,52
CARBON BLACK	112
COLUMBIA G	800

TABELA IV - CARVÃO ATIVO - MATÉRIA PRIMA

CAMPANHIA	MATÉRIA PRIMA	TIPOS DE CARVÃO ATIVO
AMERICAN NORIT	CARVÃO	DESCORANTE E PURIFICANTE DE LÍQUIDO
ATLAS POWDER	LINHITA, CARVÃO VEGETAL	DESCORANTE E PURIFICANTE DE LÍQUIDO
BARNEBEY-CHE - NEY	CASCA DE COCO, CARVÃO, MADEIRA	PURIFICANTE DE AR E GÁS, DESCORANTE E PURIFICANTE DE LÍQUIDO
CLIFFS DOW	MADEIRAS DURAS	DESCORANTES E PURIFICANTE DE LÍQUIDO
NATIONAL CARBON	COQUE DE PETRÓLEO	PURIFICANTE DE AR E GÁS
PITTSBURGH COKE & CHEMICAL	CARVÃO	PURIFICANTE DE AR E GÁS, DESCORANTE E PURIFICANTE DE LÍQUIDO
WEST VA. PULP & PAPER	MATERIAL RESIDUAL ORGÂNICO DA FABRICAÇÃO DE PASTA	DESCORANTE E PURIFICANTE DE LÍQUIDO

TABELA V - PROPRIEDADES FÍSICAS DE CARVÕES ATIVOS (BAGAÇO-DE-CANA)

CARVÃO ATIVO	% UMIDADE	% CINZA	pH	ÁREA SUPERFICIAL (m^2/g)	DIÂMETRO EQUIVALENTE DA PATÍCULA (cm)
BAGAÇO	3,39	11,39	6,90	24,6	0,0025
BAGAÇO+H_2SO_4	4,62	18,34	5,30	27,4	0,0029
BAGAÇO+H_3PO_4	15,11	12,49	2,50	112,8	0,0026
BAGAÇO+$ZnCL_2$	7,04	11,58	3,30	498,0	0,0030
COCO+$ZnCL_2$	15,28	9,82	2,85	603,0	0,0020
TORTA DE FILTRO +$ZnCL_2$	14,36	26,68	2,90	277,0	0,0038
CARVÃO COMERCIAL a	7,72	11,57	4,60	171,0	0,0030
CARVÃO COMERCIAL b	7,28	5,49	5,90	362,0	0,0030

a - DARCO S - 51, ATLAS CHEMICAL INDUSTRIES, INC.

b - CARBORAFFIN, LURGI GESELLS CHAFT FUR CHEMOTECHNICK

TABELA VI

CONDIÇÕES DE LANÇAMENTO DE DESPEJOS LÍQUIDOS		
INDICADORES	CORPOS-D'ÁGUA	SISTEMA DE ESGOTOS
pH	5,0 - 9,0	6,0 - 10,0
TEMPERATURA ^{o}C	40	40
RESÍDUO SEDIMENTÁVEL ml/l	1,0	20,0
SUB. SOLÚVEIS HEXANA mg/l	100	150,0
$DBO_{5d,\ 20^{o}C}$ mg/l	60	-
ARSÊNICO mg/l*	0,2	-
BÁRIO mg/l	5,0	-
BORO mg/l	5,0	-
CÁDMIO mg/l	0,2	-
CHUMBO mg/l*	0,5	0,5
CIANETO mg/l	0,2	0,2
COBRE mg/l*	1,0	-
CROMO HEXA mg/l*	0,1	-
CROMO TOTAL mg/l	5,0	5,0
ESTANHO mg/l	4,0	4,0
FENOL mg/l	0,5	5,0
FERRO SOLÚVEL mg/l	15,0	15,0
FLUORETO mg/l	10,0	10,0
MANGANÊS SOLÚVEL mg/l	1,0	-
MERCÚRIO mg/l	0,01	0,01
NÍQUEL mg/l	2,0	2,0
PRATA mg/l*	0,02	-
SELÊNIO mg/l*	0,02	-
ZINCO mg/l	5,0	5,0
SULFETO mg/l	-	1,0
SULFATO mg/l	-	1000,0

* - ATÉ 1,5 mg/l DE CADA ELEMENTO, SENDO A SOMA DELES MAIS CROMO TOTAL, ZINCO, ESTANHO E NÍQUEL PERMITIDO O VALOR ATÉ 5,0 mg/l EXCETO O CROMO HEXAVALENTE.

** - NO CASO DE LANÇAMENTO EM CORPOS-DE-ÁGUA, O REGIME DE VAZÃO MÁXIMA DE ATÉ 1,5 VEZ A VAZÃO MÉDIA DIÁRIA.

*** - NO QUADRO ESTÃO INCLUÍDAS AS ALTERAÇÕES DO DECRETO 15 425, de 23.0780.

FONTE: CETESB

TABELA VII

LIMITES ESTABELECIDOS CONFORME AS CLASSES					
INDICADORES			CLASSE		
			I	II	III	IV
MATÉRIAS FLUTUANTES E ESPUMAS		NÃO SERÃO TOLERADOS LANÇAMENTOS		v.a.	v.a.	v.a.
SUBSTÂNCIAS SOLÚVEIS EM HEXANA				v.a.	v.a.	-
SUBSTÂNCIAS QUE COMUNIQUEM GOSTO E ODOR				v.a.	v.a.	NÃO OBJETÁVEIS
AMÔNIA	mg/l			0,5	0,5	-
ARSÊNIO	mg/l			0,1	0,1	-
BÁRIO	mg/l			1,0	1,0	-
CÁDMIO	mg/l			0,01	0,01	-
CROMO TOTAL	mg/l			0,05	0,05	-
CIANETO	mg/l			0,2	0,2	-
COBRE	mg/l			1,0	1,0	-
CHUMBO	mg/l			0,1	0,1	-
ESTANHO	mg/l			2,0	2,0	-
FENÓIS	mg/l			0,001	0,001	1,0
FLÚOR	mg/l			1,4	1,4	-
MERCÚRIO	mg/l			0,002	0,002	-
NITRATO	mg/l			10,0	10,0	-
NITRITO	mg/l			1,0	1,0	-
SELÊNIO	mg/l			0,01	0,01	-
ZINCO	mg/l			5,0	5,0	-
NMP COLI TOTAL/100 ml				5000	20000	-
NMP COLI FECAL/100 ml				1000	4000	-
$DBO_{5d,20^oC}$	mg/l O_2			5	10	-
OD	mg/l			5	4	0,5

(*) - v.a. "VIRTUALMENTE AUSENTES".

Nota - NOS CORPOS-DE-ÁGUA DE CLASSE II E III É TAMBÉM PROIBIDA A PRESENÇA DE CORANTES ARTIFICIAIS QUE NÃO SEJAM REMOVÍVEIS POR PROCESSOS DE COAGULAÇÃO, SEDIMENTAÇÃO E FILTRAÇÃO CONVENCIONAIS.

FONTE:CETESB

TABELA VIII

CONSUMO DE ÁGUA NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO AÇÚCAR (m^3/TCH)

SEÇÃO	FINALIDADE	QUANTIDADE
ALIMENTAÇÃO DE CANA	LAVAGEM DA CANA	5 a 10
MOENDAS	EMBEBIÇÃO	0,25
	RESFRIAMENTO MANCAIS	0,15
CALDEIRAS	PRODUÇÃO DE VAPOR	0,55 a 0,65
SULFITAÇÃO	RESFRIAMENTO DOS GASES	0,10
DOSAGEM	PREPARO DO LEITE DE CAL	0,03
FILTROS	LAVAGEM DA TORTA	0,04
	PRODUÇÃO VÁCUO/CONDENSADORES	0,30
EVAPORAÇÃO	PRODUÇÃO VÁCUO/CONDENSADORES	4 a 6
COZIMENTO	PRODUÇÃO VÁCUO/CONDENSADORES	8 a 10
	DILUIÇÃO DE MEIS	0,06
CRISTALIZADORES	RESFRIAMENTO DA MASSA	0,10
CENTRÍFUGAS	LAVAGEM DO AÇÚCAR	0,01
DIVERSOS	LIMPEZAS GERAIS	0,05
LABORATÓRIO	USOS GERAIS	0,03
ÁGUA POTÁVEL	CONSUMO DOMÈSTICO	0,03
TOTAL		19 a 28

TABELA IX

CONSUMO DE ÁGUA EM UMA DESTILARIA
(m^3/1000 LITROS DE ÁLCOOL PRODUZIDO)

USOS	QUANTIDADE
DILUIÇÃO DO MELAÇO	10
RESFRIAMENTO DORNAS	60
RESFRIAMENTO CONDENSADORES	80
TOTAL	150

TABELA X - EFLUENTES LÍQUIDOS PRODUZIDOS POR UMA USINA DE AÇÚCAR E DESTILARIA ANEXA.

EFLUENTE	VOLUME I/TC	DBO mg/l	TEMPERATURA °C	SOL. SED. ml/l
ÁGUA DA COLUNA BAROMÉTRICA	12.000-16000	10 - 40 500 - 1000*	40 - 45	———
ÁGUA LAVAGEM DE CANA	5.000-10.000	120 - 300 2.000 - 4000*	25 - 35	5 - 10
ÁGUAS CONDENSADAS	600-650	100 - 500	70 - 80	———
ÁGUAS DE LAVAGEM PISOS E EQUIPAMENTOS	30-100	800 - 1.500	25 - 50	———
ÁGUAS CONDENSADORES E DORNAS	1.500-5.000	———	35 - 45	———
RESTILO	180-500	20.000	85 - 90	———

* CIRCUITO FECHADO

TABELA XI - CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS RESÍDUOS DA FABRICAÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR E ÁLCOOL. VALORES RELATIVOS A 15 USINAS DO ESTADO DE SÃO PAULO

	PARÂMETROS							
RESÍDUOS	pH	SÓLIDOS TOTAIS (g/l)	SÓLIDOS DISSOLVIDOS (g/l)	SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS (g/l)	SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS (mg/l)	OXIGÊNIO DISSOLV. (mg/l)	DBO5,20°C (mg/l)	COD DICROMATO (mg/l)
LAVAGEM DE CANA	4,70-5,70	0,400-1,175	0,200-0,500	0,150-0,900	2,0-7,0	0,0-3,0	180-500	220-700
ÁGUA CONDENSADA DOS EVAPORADORES	6,20-6,90	0,140-0,190	0,120-0,150	0,010-0,030	0,1-0,1	0,0	500-1000	850-2300
ÁGUA CONDENSADA DAS COLUNAS BAROMÉTRICAS	6,20-7,20	0,120-0,400	0,110-0,250	0,C20-0,070	0,1-0,5	0,0-4,0	40-140	70-190
RESTILO	3,80-5,00	21000-85000	4000 -31000	3000-13000	15,0-30,0	0,0	13000-26000	15000-27000
LAVAGEM DOS TANQUES DE FERMENTAÇÃO	4,00-4,70	22000-59000	2000-5100	4000-20000	30,0-40,0	0,0	4000-15000	4500-16000

TABELA XII - CARACTERÍSTICAS DE ÁGUAS DE LAVAGEM DE CANA, USINA ESTER, COSMÓPOLIS, ESTADO DE SÃO PAULO

VAZÃO MÉDIA	24.000 m^3/dia
pH	4,8
Resíduo	3,8 ml/l
$DBO_{5\ 20^oC}$	203 mg/l
DQO	428 mg/l
CARGA DIÁRIA DE	
$DBO_{5\ 20^oC}$	4.900 kg/l
EQUIVALENTE	
POPULACIONAL	90.000 HABITANTES

TABELA XIII - ATIVIDADE MICROBIANA EM ÁGUAS DE LAVAGEM DE CANA EM FUNÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES

	CONSUMO DE OXIGÊNIO (mg/l)		
		AMOSTRA "B"	AMOSTRA "C"
TEMPO (MIN)	AMOSTRA "A" SEM ADIÇÃO DE FÓSFORO	DBO N P / 100 = 5 1	DBO N P / 100 = 10 2
10	0,000	0,752	0,750
30	0,763	2,285	2,249
50	1,527	3,810	3,748
70	2,290	4,575	4,498

TABELA XIV - VALORES DE AÇÚCARES, EXPRESSOS EM GRAMAS DE SACAROSE/I, OBTIDOS NAS ANÁLISES DE ÁGUA DE LAVAGEM DE CANA, NA COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS COLORÍMETROS DA ANTRONA, SOMOGY & NELSON E DO ÁCIDO DINITROSALICÍLIO (DNS).

AMOSTRA	MÉTODO COLORIMÉTRICO		
	ANTRONA	DNS	SOMOGYI & NELSON
01	17,20	16,36	14,82
02	17,16	16,24	14,44
03	3,76	4,05	3,90
04	3,82	4,07	4,11
05	4,03	3,89	3,85
06	4,07	3,70	3,82
07	15,86	15,11	15,55
08	16,13	15,11	15,41
09	0,93	0,67	0,77
10	0,99	0,72	0,91
11	0,82	0,54	0,62
12	0,99	0,59	0,73
13	1,47	1,09	1,25
14	1,60	1,27	1,36
MÉDIA	6,35 a	5,96 ab	5,82 b

F = 4,41* dms = ± 0,51 **

* SIGNIFICATIVO A 5%

** SIGNIFICATIVO A 1%

—— MÉDIAS COM A MESMA LETRA NÃO DIFEREM ESTATISTICAMENTE ENTRE SI

TABELA XV - CARACTERIZAÇÃO DOS CARVÕES OBTIDOS

AMOSTRA	TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO (T°C)	%(PESO)DO AGENTE ATIVANTE EM RELAÇÃO AO BAGAÇO SECO ORIGINAL	TEMPO DE CARBONIZAÇÃO (MIN)	RENDIMENTO %	UMIDADE %	pH	% CINZAS	SOLÚVEIS EM ÁGUA %
C_1	500	30	60	43,25	1,32	6,5	4,47	0,25
C_1'	500	30	60	41,83	2,35	6,5	3,29	0,85
C_2	500	30	120	35,88	2,57	6,5	3,47	0,75
C_2'	500	30	120	39,92	3,75	5,8	3,41	0,50
C_3	500	60	60	42,73	1,82	6,9	6,68	1,10
C_3'	500	60	60	40,51	1,35	6,0	4,13	0,80
C_4	500	60	120	36,68	0,98	6,0	5,35	1,05
C_4'	500	60	120	38,99	2,37	6,5	5,27	0,50
C_5	600	30	60	40,44	2,15	7,0	9,73	0,35
C_5'	600	30	60	39,50	1,85	6,0	6,91	0,43
C_6	600	30	120	42,60	2,75	5,8	4,78	0,67
C_6'	600	30	120	40,10	1,95	6,0	6,60	0,78
C_7	600	60	60	38,62	2,45	6,7	8,79	0,85
C_7'	600	60	60	37,67	3,09	6,0	9,40	1,10
C_8	600	60	120	35,15	2,75	6,7	7,15	0,65
C_8'	600	60	120	33,20	3,29	6,0	8,91	0,45
C_9	700	30	60	32,15	1,05	7,0	7,10	0,85
C_9'	700	30	60	29,59	0,95	6,0	9,12	0,65

continua ...

continuação da TABELA XV

C_{10}	700	30	120	30,10	0,95	5,7	10,15	0,59
C_{10}'	700	30	120	29,20	0,83	6,2	9,75	0,70
C_{11}	700	60	60	32,60	1,25	7,0	5,84	1,35
C_{11}'	700	60	60	31,55	1,32	5,9	8,66	0,65
C_{12}	700	60	120	28,75	0,72	6,0	10,15	0,65
C_{12}'	700	60	120	29,10	0,51	6,5	8,95	0,50
C_{13}	500	não usou	60	28,15	1,65	6,2	6,35	0,12
C_{13}'	500	não usou	60	28,30	1,85	5,8	6,40	0,25
C_{14}	carvão alemão	-	-	-	1,00	10,5	4,30	0,17
C_{14}'	carvão alemão	-	-	-	0,95	11,0	4,50	0,16

TABELA XVI - VARIAÇÃO % DE DESCORAMENTO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE CANA

Transmitância a 460 n m
20 minutos de contato a 25°C
Transmitância inicial da água de lavagem = 25

AMOSTRA	TRATAMENTO COM 1% DE CARVÃO	TRATAMENTO COM 1,5% DE CARVÃO
C_1	70,68	102,35
$C_{1'}$	72,75	100,47
C_2	70,37	94,10
$C_{2'}$	70,50	91,80
C_3	75,64	98,22
$C_{3'}$	74,76	99,11
C_4	70,29	93,45
$C_{4'}$	70,32	92,37
C_5	71,27	101,73
$C_{5'}$	71,39	100,65
C_6	71,49	90,73
$C_{6'}$	70,89	89,87
C_7	74,08	100,34
$C_{7'}$	72,85	99,36
C_8	71,04	95,03
$C_{8'}$	70,15	97,15
C_9	73,42	93,92
$C_{9'}$	72,85	96,98
C_{10}	70,05	88,96
$C_{10'}$	69,98	90,15

CONTINUAÇÃO DA TABELA XVI

AMOSTRA	TRATAMENTO COM 1% DE CARVÃO	TRATAMENTO COM 1,5% DE CARVÃO
C_{11}	73,97	92,94
$C_{11'}$	72,68	88,75
C_{12}	69,85	87,38
$C_{12'}$	68,79	89,75
C_{13}	62,37	84,00
$C_{13'}$	62,30	83,00
C_{14}	112,57	158,30
$C_{14'}$	112,60	158,32

TABELA XVII - JUNÇÃO DAS TABELAS XV E XVI

AMOSTRA	T°C	%(PESO) DE AGENTE ATIVANTE EM RELAÇÃO AO BAGAÇO SECO ORIGINAL	TEMPO DE CARBONIZAÇÃO (MIN)	RENDIMENTO %	UMIDADE %	pH	% CINZA	SOLÚVEIS EM H_2O %	VARIAÇÃO % DE T 460nm 20 MINUTOS DE CONTATO A 25°C	
									1% DE CARVÃO Ti = 25%	1,5% DE CARVÃO Ti = 25%
C_1	500	30	60	43,25	1,32	6,5	4,47	0,25	70,68	102,35
C_1'	500	30	60	41,83	2,35	6,5	3,29	0,85	72,75	100,47
C_2	500	30	120	35,88	2,57	6,5	3,47	0,75	70,37	94,10
C_2'	500	30	120	39,92	3,75	5,8	3,41	0,50	70,50	91,80
C_3	500	60	60	42,73	1,80	6,9	6,68	1,10	75,64	98,22
C_3'	500	60	60	40,51	1,35	6,0	4,13	0,80	74,76	99,11
C_4	500	60	120	36,68	0,98	6,0	5,35	1,05	70,29	93,45
C_4'	500	60	120	38,99	2,37	6,5	5,27	0,50	70,32	92,37
C_5	600	30	60	40,44	2,15	7,0	9,73	0,35	71,27	101,73
C_5'	600	30	60	39,50	1,85	6,0	6,91	0,43	71,39	100,65
C_6	600	30	120	42,60	2,75	5,8	4,78	0,67	71,49	90,73
C_6'	600	30	120	40,10	1,95	6,0	6,60	0,78	70,89	89,87
C_7	600	60	60	38,62	2,45	6,7	8,79	0,85	74,08	100,34
C_7'	600	60	60	37,67	3,09	6,0	9,40	1,10	72,85	99,36
C_8	600	60	120	35,15	2,75	6,7	7,15	0,65	71,04	95,03
C_8'	600	60	120	33,20	3,29	6,0	8,91	0,45	70,15	97,15
C_9	700	30	60	32,15	1,05	7,0	7,10	0,85	73,42	93,92
C_9'	700	30	60	29,59	0,95	6,0	9,12	0,65	72,85	96,98

Continua ...

continuação da TABELA XVII

C_{10}	700	30	120	30,10	0,95	5,7	10,15	0,59	70,05	88,96
C_{10}'	700	30	120	29,20	0,83	6,2	9,75	0,70	69,98	90,15
C_{11}	700	60	60	32,60	1,25	7,0	5,84	1,35	73,97	92,94
C_{11}'	700	60	60	31,55	1,32	5,9	8,66	0,65	72,68	88,75
C_{12}	700	60	120	28,75	0,72	6,0	10,15	0,65	69,85	87,38
C_{12}'	700	60	120	29,10	0,51	6,5	8,95	0,50	68,79	89,75
C_{13}	500	não usou	60	28,15	1,65	6,2	6,35	0,12	62,37	84,00
C_{13}'	500	não usuou	60	28,30	1,85	5,8	6,40	0,25	62,30	83,00
C_{14}	carvão comercial(alemão)		-	-	1,00	10,5	4,30	0,17	112,57	158,32
C_{14}'	carvão comercial(alemão)		-	-	0,95	11,0	4,5	0,16	112,60	158,32

TABELA XVIII - NÍVEIS DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO CARVÃO ATIVO.

AMOSTRA CARVÃO	TEMPERATURA (°C)	TEMPO DE ATIVAÇÃO (MIN)	PORCENTAGEM EM PESO DO AGENTE ATIVANTE EM RELAÇÃO AO BAGAÇO SECO ORIGINAL (%)
C1	500	60	30
C2	500	120	30
C3	500	60	60
C4	500	120	60
C5	600	60	30
C6	600	120	30
C7	600	60	60
C8	600	120	60
C9	700	60	30
C10	700	120	30
C11	700	60	60
C12	700	120	60
C13	500	60	NÃO USOU
C14	CARVÃO	ATIVO EM PÓ	(ALEMÃO)

TABELA XIX - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO, TEMPO DE ATIVAÇÃO E CONCENTRAÇÂO DE AGENTE ATIVANTE NO RENDIMENTO.

TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO (°C)	TEMPO DE ATIVAÇÃO (MIN)	PORCENTAGEM EM PESO DO AGENTE ATIVANTE EM RELAÇÃO AO BAGAÇO SECO ORIGINAL(%)	RENDIMENTO(%)		
			1º ENSAIO	2º ENSAIO	MÉDIA
500	60	30	43,25	41,83	42,54
500	60	60	42,73	40,51	41,62
500	120	30	35,88	39,92	37,90
500	120	60	36,68	38,99	37,83
600	60	30	40,44	34,50	39,97
600	60	60	38,62	37,67	38,14
600	120	30	42,60	40,10	41,35
600	120	60	35,15	33,20	34,17
700	60	30	32,15	29,59	30,87
700	60	60	32,60	31,55	32,07
700	120	30	30,10	29,20	29,65
700	120	60	28,75	29,10	28,92
500	60	NÃO USOU	28,15	28,30	28,22

TABELA XX - INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO, TEMPO DE ATIVAÇÃO E CONCENTRAÇÃO DE AGENTE ATIVANTE NO TEOR DE CINZAS.

TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO (°C)	TEMPO DE ATIVAÇÃO (MIN)	PORCENTAGEM EM PESO DO AGENTE ATIVANTE EM RELAÇÃO AO BAGAÇO SECO ORIGINAL(%)	TEOR DE CINZAS (%)		
			1º ENSAIO	2º ENSAIO	MÉDIA
500	60	30	4,47	3,29	3,88
500	60	60	6,68	4,13	5,40
500	120	30	3,47	3,41	3,44
500	120	60	5,35	5,27	5,31
600	60	30	9,73	6,91	8,32
600	60	60	8,79	9,40	9,09
600	120	30	4,78	6,60	5,69
600	120	60	7,15	8,91	8,03
700	60	30	7,10	9,12	8,11
700	60	60	5,84	8,66	7,25
700	120	30	10,15	9,75	9,95
700	120	60	10,15	8,95	9,55
500	60	NÃO USOU	6,35	6,40	6,37
CARVÃO	PADRÃO	(ALEMÃO)	4,30	4,50	4,40

TABELA XXI - NÍVEIS DAS VARIÁVEIS DO PROCESSO DE DESCORAMENTO PARA CADA AMOSTRA DE CARVÃO ATIVO

TEMPERATURA (^{o}C)	TEMPO DE CONTATO (MIN)	% CARVÃO EMPREGADO
25	20	1
25	20	1,5

TABELA XXII - INFLUÊNCIA DO TEMPO E DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO E DA CONCENTRAÇÃO DE AGENTE ATIVANTE NA VARIAÇÃO % DE TRANSMITÂNCIA A (460nm)

T ^{o}C	TEMPO (MIN)	% AGENTE ATIVANTE	VARIAÇÃO DE TRANSMITÂNCIA 1% DE CARVÃO	VARIAÇÃO % DE TRANSMITÂNCIA 1% DE CARVÃO	MÉDIA	VARIAÇÃO % DE TRANSMITÂNCIA 1,5% DE CARVÃO	VARIAÇÃO % DE TRANSMITÂNCIA 1,5% DE CARVÃO	MÉDIA
500	60	30	70,68	72,75	71,71	102,35	100,47	101,41
500	60	60	75,64	74,76	75,20	98,22	99,11	98,66
500	120	30	70,35	70,50	70,42	94,10	91,80	92,95
500	120	60	70,29	70,32	70,30	93,45	92,37	92,91
600	60	30	71,27	71,39	71,33	101,73	100,65	101,19
600	60	60	74,08	72,85	73,46	100,34	99,36	99,85
600	120	30	71,49	70,89	71,19	90,73	89,87	90,30
600	120	60	71,04	70,15	70,59	95,03	97,15	96,09
700	60	30	73,42	72,85	73,13	93,92	96,98	95,45
700	60	60	73,97	72,68	73,32	92,94	88,75	90,84
700	120	30	70,05	69,98	70,01	88,96	90,15	89,55
700	120	60	69,85	68,79	69,32	87,38	98,75	88,56
500	60	—	62,37	62,30	62,33	84,00	83,00	83,50
CARVÃO ALEMÃO			112,57	112,60	112,58	158,30	158,32	158,31

TRANSMITÂNCIA INICIAL =25%

TABELA XXII - INFLUÊNCIA DO TEMPO E DA TEMPERATURA DE CARBONIZAÇÃO E DA CONCENTRAÇÃO DE AGENTE ATIVANTE NA VARIAÇÃO % DE TRANSMITÂNCIA (460nm)

T°C	TEMPO (MIN)	% AGENTE ATIVANTE	VARIAÇÃO % DE TRANSMITÂNCIA 1% DE CARVÃO	VARIAÇÃO % DE TRANSMITÂNCIA 1% DE CARVÃO	MÉDIA	VARIAÇÃO % DE TRANSMITÂNCIA 1,5%DE CARVÃO	VARIAÇÃO % DE TRANSMITÂNCIA 1,5%DE CARVÃO	MÉDIA
500	60	30	70,68	72,75	71,71	102,35	100,47	101,41
500	60	60	75,64	74,76	72,20	98,22	99,11	98,66
500	120	30	70,35	70,50	70,42	94,10	91,80	92,95
500	120	60	70,29	70,32	70,30	93,45	92,37	92,91
600	60	30	71,27	71,39	71,33	101,73	100,65	101,19
600	60	60	74,08	72,85	73,46	100,34	99,36	99,85
600	120	30	71,49	70,89	71,19	90,73	89,87	90,30
600	120	60	71,04	70,15	70,59	95,03	97,15	96,09
700	60	30	73,42	72,85	73,13	93,92	96,98	95,45
700	60	60	73,97	72,68	73,32	92,94	88,75	90,84
700	120	30	70,05	69,98	70,01	88,96	90,15	89,55
700	120	60	69,85	68,79	69,32	87,38	89,75	88,56
500	60	-	62,37	62,30	62,33	84,00	83,00	83,50
Carvão Alemão			112,57	112,60	112,58	158,30	158,32	158,31

Transmitância inicial = 25%

TABELA XXIII - VALORES DE DBO E DQO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE CANA-DE-AÇÚCAR

ÁGUA DE LAVAGEM COLETADA NA TEMPERATURA DE 22°C e pH de 4,45.

	DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	DIMINUIÇÃO % DE DBO	DIMINUIÇÃO % DE DQO
ANTES DO TRATAMENTO COM CARVÃO ATIVO	1705	2350	———	———
TRATADA COM CARVÃO ATIVO (500°C, 60 MIN. CARBONIZAÇÃO, 30% DE AGENTE ATIVANTE).	711	850	58,30	63,83
TRATADA COM CARVÃO ATIVO (500°C, 60 MIN. CARBONIZAÇÃO, 60% DE AGENTE ATIVANTE)	737	1300	56,77	44,68
TRATADA COM CARVÃO ATIVO (500°C, 60 MIN. CARBONIZAÇÃO, SEM AGENTE ATIVANTE)	911	1350	46,57	42,55
TRATADA COM CARVÃO ALEMÃO	637	700	62,64	70,21

OBS.: ANÁLISES EFETUADAS C/ 03 REPETIÇÕES.

TABELA XXIV - PODER ADSORVENTE (ADSORÇÃO DE IODO)

QUANTIDADE DE CARVÃO UTILIZADO (g)	VOLUME GASTO DE TIOSSULFATO DE SÓDIO (ml) PARA TITULAR 25ml DO LÍQUIDO CONTENDO IODO AINDA NÃO ADSORVIDO PELO CARVÃO ATIVO			
	CARVÃO ATIVO 500°C 60 MIN. 30% (AGENTE ATIVANTE)	CARVÃO ATIVO 500°C 60 MIN. 60% (AGENTE ATIVANTE)	CARVÃO ATIVO 500°C 60 MIN. SEM AGENTE ATIVANTE	CARVÃO ATIVO (ALEMÃO)
0,2	20,6	20,7	21,6	16,1
0,4	17,6	18,1	19,6	9,1
0,6	14,6	15,6	17,3	4,1
0,8	11,7	12,1	15,8	1,8
1,0	9,1	10,0	13,7	0,7
1,3	6,3	7,1	11,3	0,2
1,6	4,0	5,2	9,2	0,1
1,9	3,0	4,1	7,4	0
2,5	1,3	1,8	4,8	0
3,0	0,8	1,0	2,9	0
3,5	0,1	0,2	1,5	0
4,0	0	0,1	1,0	0

TABELA XXV - IODO ADSORVIDO NO TRATAMENTO COM CARVÃO ATIVO

QUANTIDADE DE CARVÃO ATIVO UTILIZADO (gramas)	IODO ADSORVIDO (mg) COM CARVÃO ATIVO			
	CARVÃO ATIVO 500°C 60 MIN. 30% AGENTE ATIVANTE m 1	CARVÃO ATIVO 500°C 60 MIN. 60% AGENTE ATIVANTE m 1	CARVÃO ATIVO 500°C 60 MIN. SEM AGENTE ATIVANTE m 1	CARVÃO ATIVO ALEMÃO m 1
0,2	112,2	109,6	86,7	226,9
0,4	188,7	175,9	137,9	405,4
0,6	265,2	249,9	196,3	519,6
0,8	339,1	328,9	234,6	591,6
1,0	405,4	382,5	288,1	619,6
1,3	476,8	456,4	349,3	632,4
1,6	535,5	504,9	402,9	634,9
1,9	561,0	532,9	448,8	637,5
2,5	604,3	591,6	515,1	637,5
3,0	617,1	612,0	563,5	637,5
3,5	634,9	632,4	599,2	637,5
4,0	637,5	634,9	612,0	637,5
	(CURVA 2)	(CURVA 3)	(CURVA 1)	(CURVA 4)

(VALORES UTILIZADOS PARA A CONSTRUÇÃO DAS CURVAS DE ADSORÇÃO - FIGURA 2)

TABELA XXVI - ISOTERMA SEGUNDO FREUNDLICH - CARVÃO PREPARADO EM 500°C, 60 MIN., SEM AGENTE ATIVANTE

QUANTIDADE DE CARVÃO ATIVO m (g)	CONCENTRAÇÃO RESIDUAL DE IODO c (g/l)	QUANTIDADE DE IODO QUE PERMANECE ADSORVIDA x (g)	x/m (g/g)
4,0	11,016	1,734	0,433
8,0	9,996	2,754	0,344
12,0	8,824	3,926	0,327
16,0	8,058	4,692	0,293
20,0	6,988	5,762	0,288
26,0	5,764	6,986	0,268
32,0	4,692	8,058	0,252
38,0	3,774	8,976	0,236
50,0	2,448	10,032	0,206
60,0	1,480	11,270	0,188
70,0	0,766	11,984	0,171
80,0	0,510	12,240	0,153

(CURVA 1 DA FIG. 3)

TABELA XXVII - ISOTERMA SEGUNDO FREUNDLICH - CARVÃO PREPARADO EM 500°C, 60 MIN., 30% DE AGENTE ATIVANTE

QUANTIDADE DE CARVÃO ATIVO m (g)	CONCENTRAÇÃO RESIDUAL DE IODO c (g/l)	QUANTIDADE DE IODO QUE PERMANECE ADSORVIDA x (g)	x/m (g/g)
4,0	10,506	2,244	0,561
8,0	8,976	3,774	0,472
12,0	7,446	5,304	0,442
16,0	5,968	6,782	0,424
20,0	4,642	8,108	0,405
26,0	3,213	9,537	0,367
32,0	2,040	10,710	0,334
38,0	1,530	11,220	0,295
50,0	0,664	12,086	0,241
60,0	0,408	12,342	0,205
70,0	0,052	12,698	0,181
8 0	0	12,750	0,159

(CURVA 2 D A FIG. 3)

TABELA XXVIII - ISOTERMA SEGUNDO FREUNDLICH - CARVÃO PREPARADO EM 500°C, 60 MIN., 60% DE AGENTE ATIVANTE

QUANTIDADE DE CARVÃO ATIVO m (g)	CONCENTRAÇÃO RESIDUAL DE IODO c (g/l)	QUANTIDADE DE IODO QUE PERMANECE ADSORVIDA x (g)	x/m (g/g)
4,0	10,558	2,192	0,548
8,0	9,232	3,518	0,439
12,0	7,752	4,998	0,416
16,0	6,172	6,578	0,411
20,0	5,100	7,650	0,382
26,0	3,622	9,128	0,351
32,0	2,652	10,098	0,315
38,0	2,092	10,658	0,280
50,0	0,918	11,832	0,236
60,0	0,510	12,240	0,204
70,0	0,102	12,648	0,180
80,0	0,052	12,698	0,158

(CURVA 3 DA FIG. 3)

TABELA XXIX - ISOTERMA SEGUNDO FREUNDLICH - CARVÃO ALEMÃO

QUANTIDADE DE CARVÃO ATIVO m (g)	CONCENTRAÇÃO RESIDUAL DE IODO c (g/l)	QUANTIDADE DE IODO QUE PERMANECE ADSORVIDA x (g)	x/m (g/g)
4,0	8,212	4,538	1,134
8,0	4,642	8,108	1,013
12,0	2,092	10,658	0,888
16,0	0,918	11,832	0,739
20,0	0,358	12,392	0,619
26,0	0,102	12,648	0,486
32,0	0,052	12,698	0,397
38,0	0	12,750	0,335
50,0	0	12,750	0,255
60,0	0	12,750	0,212
70,0	0	12,750	0,182
80,0	0	12,750	0,159

(CURVA 4 DA FIG. 3)

TABELA XXX - COMPOSIÇÃO DA CANA E DO BAGAÇO UTILIZADO

CANA :

BRIX = 19,41

POL = 17,19

PUREZA = 88,6

AÇUCARES REDUTORES = 0,61%

BAGAÇO :

1) BAGAÇO ANTES DA SECAGEM : POL = 4,18 UMIDADE = 51,33%

2) BAGAÇO APÓS SECAGEM : CINZA = 1,12% UMIDADE = 12,54%

GRANULOMETRIA DO BAGAÇO UTILIZADO :

>1,68m m	e	<7,00m m = 60,99%
>1,19m m	e	<1,68m m = 8,40%
>0,84m m	e	<1,19m m = 9,44%
>0,59m m	e	<0,84m m = 5,96%
>0,35m m	e	<0,59m m = 5,44%
>0,074m m	e	<0,35m m = 8,52%
		<0,074m m = 1,25%

(MÉTODOS DE ANÁLISES CONFORME A COPERSUCAR)

TABELA XXXI - ESPÉCIES QUÍMICAS

	%					ppm								
AMOSTRAS	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Cu	Mn	Zn	B	Na	Al	Li	Co
BAGAÇO	0,02	0,17	0,06	0,05	0,03	151	12,8	36	27	8	11	89	472	<5,0
CARVÃO ATIVO SEM AGENTE ATIVANTE	0,07	0,24	0,16	0,12	0,05	1649	41,1	119	2673	46	151	621	713	6,1
CARVÃO ATIVO COM 30% DE AGENTE ATIVANTE	0,07	0,02	0,10	0,06	0,06	640	30,3	34	4465	42	29	813	179	< 5,0
CARVÃO ATIVO COM 60% DE AGENTE ATIVANTE	0,06	0,04	0,09	0,06	0,06	1319	30,4	25	6378	45	24	552	279	<5,0
CARVÃO RIEDEL	0,06	0,43	1,20	0,18	0,05	957	16,0	264	41	60	435	1214	1690	<5,0

OBS:- Os resultados são médias de três repetições

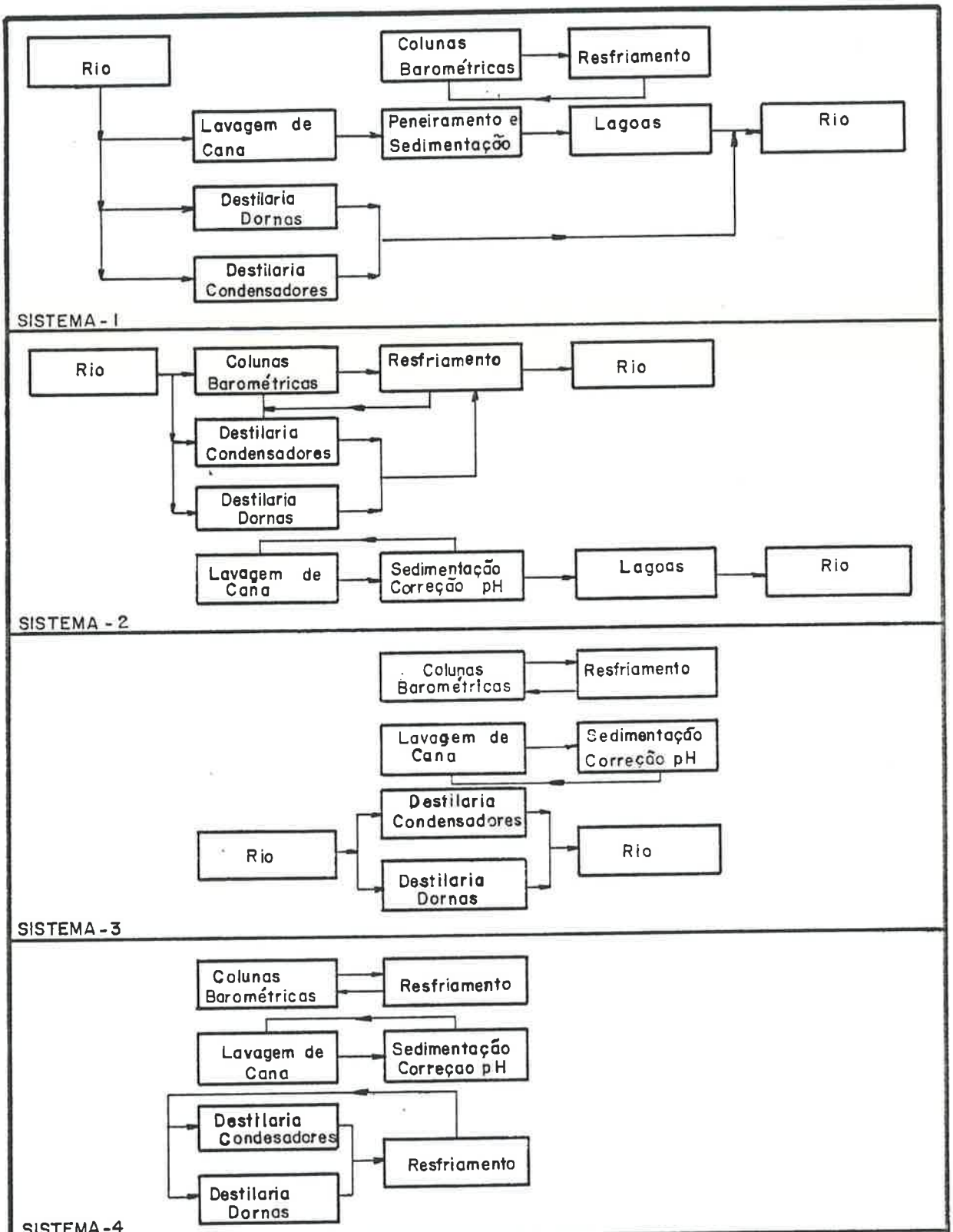


FIGURA 1 SISTEMA DE ÁGUAS UTILIZADO PELAS USINAS

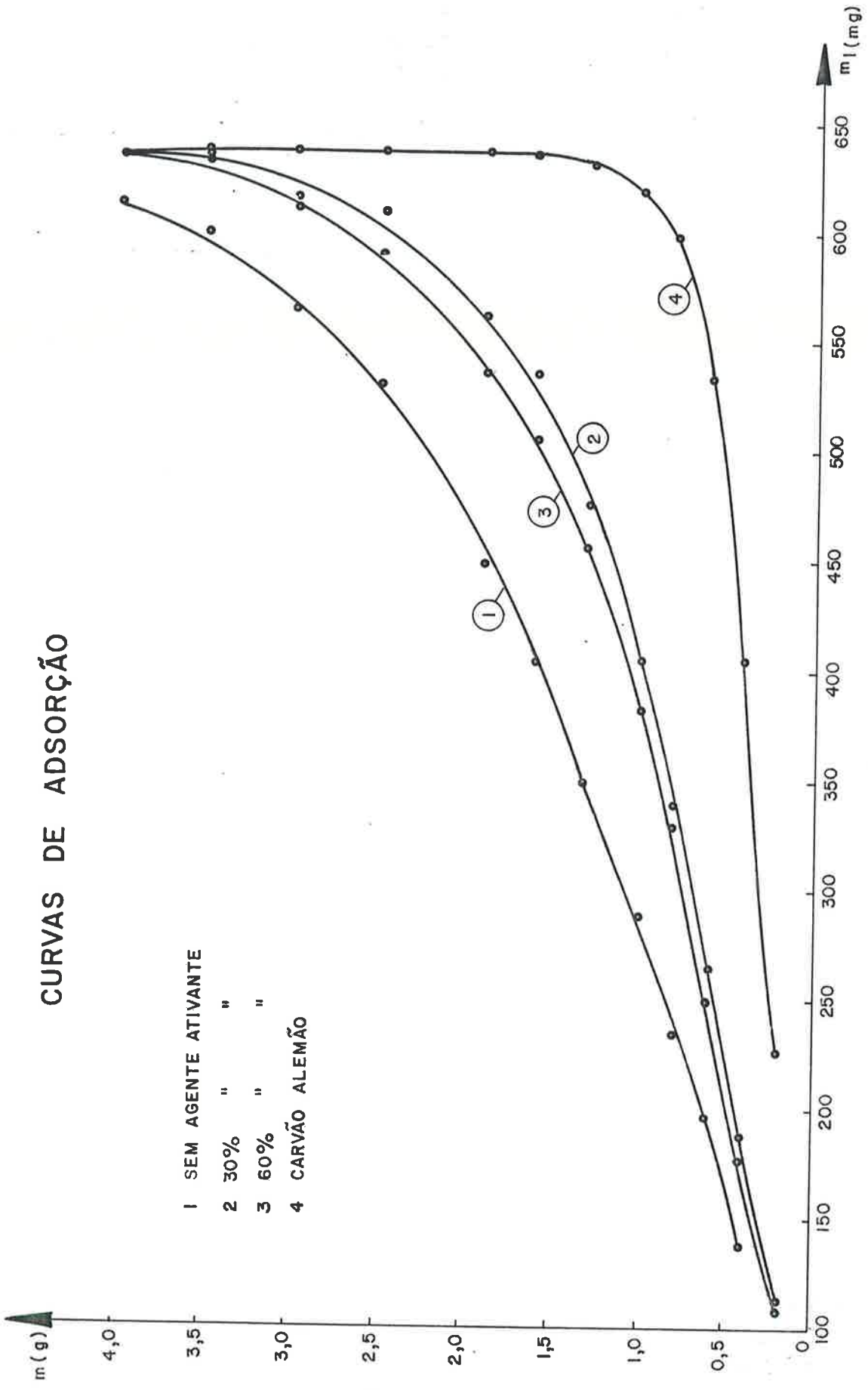


FIGURA 2 CURVAS DE ADSORÇÃO

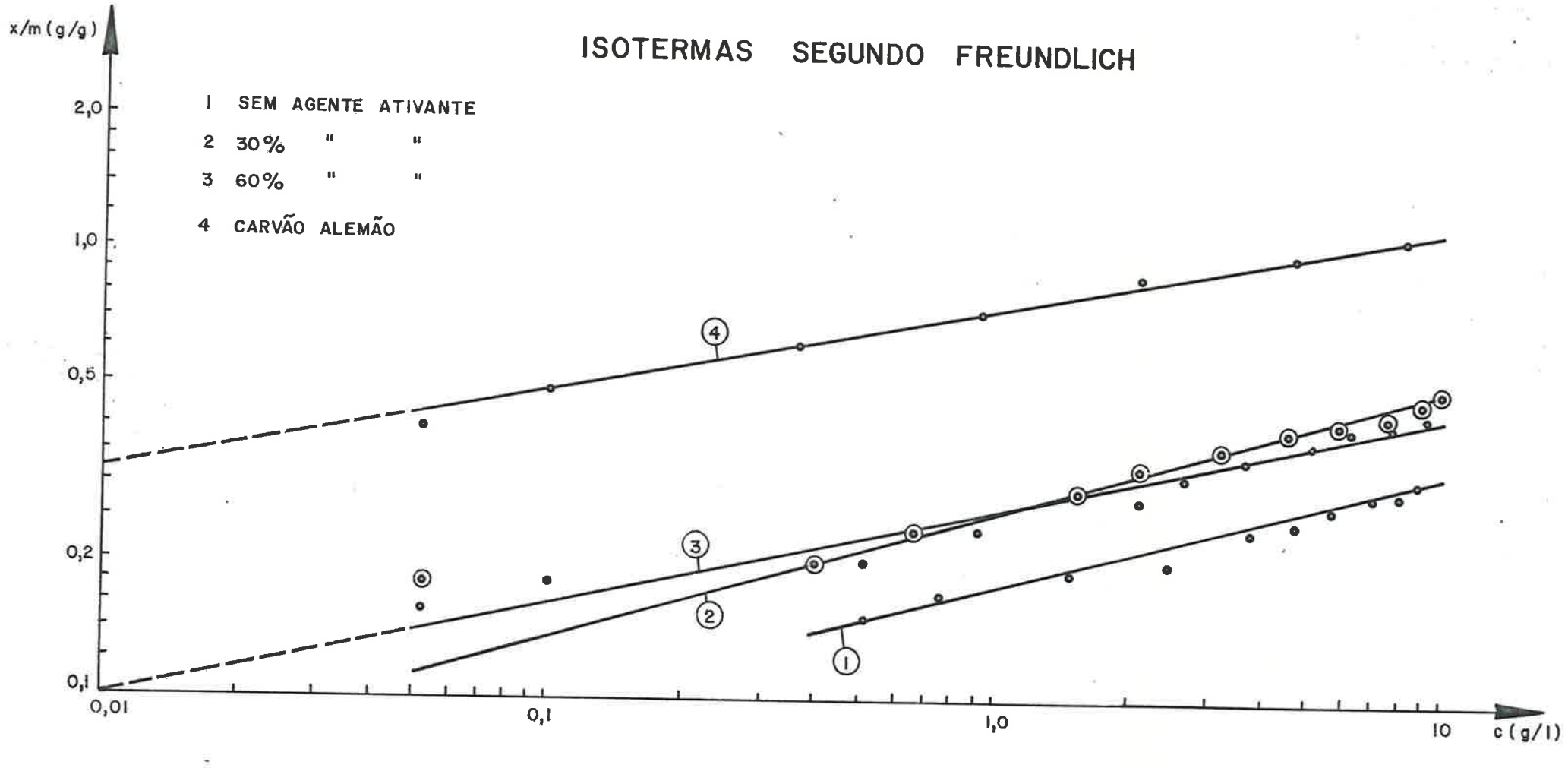


FIGURA 3 ISOTERMAS SUGUNDO FREUNDLICH