

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA
ENERGIA**

**CONSERVAÇÃO DE ÁGUA EM MÁQUINA DE
FABRICAÇÃO DE PAPEL**

O caso da Bahia Sul Papel e Celulose S.A.

DEBORA CRISTINA LEITE NUNES

Itajubá, Setembro de 2007

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA
ENERGIA**

**CONSERVAÇÃO DE ÁGUA EM MÁQUINA DE
FABRICAÇÃO DE PAPEL
O caso da Bahia Sul Papel e Celulose S.A.**

DEBORA CRISTINA LEITE NUNES

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia da Energia como parte dos requisitos para obtenção do
Título de Mestre em Ciências em Engenharia da Energia**

**Setembro de 2007
Itajubá**

FOLHA DE APROVAÇÃO

DEBORA CRISTINA LEITE NUNES

**CONSERVAÇÃO DE ÁGUA EM MÁQUINA DE FABRICAÇÃO DE
PAPEL- O CASO DA BAHIA SUL PAPEL E CELULOSE**

Dissertação defendida e aprovada em 10/09/2007 pela comissão julgadora:

(Prof.Dr. Ivanildo Hespanhol/USP-São Paulo)

(Prof. Dra. Herlane dos Santos Costa/UNIFEI)

(Prof.Dr Roberto Alves de Almeida(Orientador)/UNIFEI)

Dr. Edson da Costa Bortoni
Coordenador da Engenharia da Energia

Aos meus pais Sandra e Sérgio,
ao meu marido Fabrício e ao meu filho Lucas.

Agradeço primeiramente a Deus,
pois sem ele nada podemos.

Agradeço ao professor Roberto Alves de Almeida,
meu orientador, pela confiança e amizade.

Agradeço a Indústria Suzano Bahia Sul Papel e Celulose S.A.,
pela oportunidade proporcionada.

Agradeço aos amigos Thomas Éber Jr., pela colaboração na coleta de dados
e Éder, pelo auxílio e paciência na fase final deste trabalho.

Agradeço à minha família,
pela colaboração, imprescindível para a conclusão deste trabalho.

A todos da UNIFEI que direta ou indiretamente contribuíram para a
finalização deste trabalho, em especial minhas queridas amigas da pós-
graduação (PPG), muito obrigado de coração!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	X
LISTA DE ABREVIATURAS E NOMENCLATURAS	XIII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIV
RESUMO	XV
ABSTRACT	XVI
1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 – Objetivo	2
1.1.1 – Objetivo geral:	2
1.1.2 – Objetivos específicos:	2
1.2 – Metodologia	3
1.3 – Relevância do tema abordado.....	3
1.4 – Estrutura da dissertação.....	4
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1 – Evolução dos problemas mundiais relacionados ao uso da água.....	6
2.2 – Disponibilidade de água no Brasil e no mundo	12
2.3 – Demanda de água por atividade no Brasil e no mundo.....	18
2.4 – Legislação brasileira indutora a conservação do uso da água	24
2.5 – Principais usos da água na indústria.....	32
2.5.1 – Classificação do sistema hídrico industrial.....	32
2.5.2 – Tipos de uso de água na indústria	34
2.6 – Conservação do uso da água na indústria	36
3 – USO DA ÁGUA NA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE	46
3.1 – Despejos industriais nas várias etapas de fabricação de papel.....	46
3.2 – Fabricação de papel.....	51
3.2.1 – Processo de formação da folha	51

3.2.2 – Sistema de circulação de massa e de água branca nas máquinas Fourdrinier	52
3.2.3 – Fechamento do sistema de águas brancas	54
3.2.4 – Recuperação de fibras	55
3.3 – Funcionamento de uma máquina Fourdrinier convencional	55
3.3.1 – Sistema de alimentação da caixa de entrada	56
3.3.2 – Formação e drenagem na máquina Fourdrinier	57
3.3.3 – Prensagem úmida da folha de papel	60
3.3.4 – Secagem de papel e papelão	61
3.3.5 – Enrolamento ou corte	62
3.4 – Conservação de água na indústria de papel e celulose	62
3.4.1 – Requisitos gerais para o uso da água e restrições qualitativas	64
3.4.1.1 – Água para diluição	65
3.4.1.2 – Água utilizada para chuveiros	67
3.4.1.3 – Água utilizada para selagem	68
3.4.1.4 – Água utilizada para aquecimento e resfriamento	68
3.4.1.5 – Usos diversos da água	69
3.4.1.6 – Restrições gerais	69
3.4.2 – Revisão sobre a observação de práticas de reuso e de sistemas de qualidade de água para a máquina de papel	71
3.4.2.1 – A significância de práticas de lavagem de polpas	79
3.4.2.2 – Qualidade da água do estoque de diluição e da caixa de entrada	81
3.4.2.3 – Reuso de água em chuveiros	85
3.4.2.4 – Reuso de água em aplicações de selagem	88
3.4.2.5 – Reuso de água para transferência de energia	90
3.4.2.6 – Problemas gerais associados com reuso de água	91
3.4.2.7 – Benefícios gerais associados com reuso de água	93
3.4.2.8 – Conclusões a respeito da observação de práticas de reuso de água em plantas de produção de papel	94
3.4.3 – Situação atual a respeito da aplicação da água branca reciclada na fábrica de papel	96
3.4.3.1 – Água de selagem, resfriamento, lavagem e vazamento	97
3.4.4 – Conclusão sobre o fechamento de circuitos de água branca na indústria de papéis	100
4 – METODOLOGIA PROPOSTA	101
4.1 – Etapa 1 – Definição do processo	101
4.1.1 – Descrição do processo industrial de interesse	101
4.1.2 – Definição das variáveis de interesse	102
4.2 – Etapa 2 – Diagnóstico hídrico	102
4.2.1 – Fase 1 – Realização das medições das variáveis de interesse	102
4.2.2 – Fase 2 – Análise da consistência dos dados coletados e medidos na empresa	103
4.3 – Etapa 3 – Estudo de conservação de água	103
4.3.1 – Fase 1 – Avaliação de perdas e desperdício	104
4.3.2 – Fase 2 – Reavaliação do diagnóstico hídrico	105

4.3.3 – Fase 3 – Proposição do método de avaliação do potencial da reutilização de efluentes.....	106
5 – ESTUDO DE CASO	110
5.1 – Etapa 1 – Descrição do processo de fabricação de papel	111
5.1.1 – Máquina de papel	111
5.1.2 – Identificação dos pontos de coleta de dados.....	114
5.2 – Etapa 2 – Diagnóstico hídrico	115
5.2.1 – Fase 1 – Medições das variáveis selecionadas.....	115
5.2.2 – Fase 2 – Análise da consistência dos dados.....	117
5.3 – Etapa 3 – Estudo de conservação de água.....	117
5.3.1 – Fase 1 – Avaliação de perdas e desperdícios	117
5.3.2 – Fase 2 – Reavaliação do diagnóstico hídrico	118
5.3.3 – Fase 3 – Proposição do método de avaliação do potencial de reutilização de efluentes.....	118
6 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	123
7 – CONCLUSÃO	127
ANEXO A	129
FIGURAS REFERENTES À MÁQUINA DE PAPEL FOURDRINIER	129
ANEXO B	131
DESCRIPTIVO DA PREPARAÇÃO DA MASSA REFERENTE À MÁQUINA MB-6	131
ANEXO C	149
ANÁLISES QUALITATIVAS REFERENTES À MÁQUINA MB-6.....	149
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	158
APÊNDICE 1	168
DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO PROCESSO KRAFT (SULFATO).....	168

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição das reservas de água no planeta	7
Figura 2 – Escala para relacionar a tendência do surgimento de	8
estresse ambiental e geração de conflitos, em função da	8
disponibilidade hídrica e o aumento da população	8
Figura 3 – Relação entre ICRH e DEA.....	11
Figura 4 – Distribuição de água doce superficial no planeta.....	12
Figura 5 – Distribuição de água doce superficial no continente americano	13
Figura 6 – Classificação mundial dos continentes em função do índice de comprometimento dos recursos hídricos.....	13
Figura 7 – Distribuição geográfica dos recursos hídricos,.....	17
superfície e população por região	17
Figura 8 – Consumo de água mundial por atividade em cada continente	19
Figura 9 – Variação do índice de comprometimento dos recursos hídricos em função da disponibilidade específica de água para o Estado de São Paulo.....	22
Figura 10 – Fluxo de água em uma planta industrial	32
Figura 11 – Setor de utilidades industrial	33
Figura 12 – Potencial de reuso da água.....	108
Figura 13 – Estudo de conservação de água.....	109
Figura 14 – Superposição das quatro linhas da máquina MB-6.....	112
Figura 15 – Entradas e saídas de água da máquina MB-6	119
Figura 16-Máquina Fourdrinier	130
Figura17- Sistema de Circulação de Massa.....	130
Figura 18 – Esquema de um desagregador com rotor do tipo Volkes	134
Figura 19 - Princípio de funcionamento dos Separadores Centrifugos.....	135
Figura 20 – Depuradores (Peneiras pressurizadas).....	137
Figura 21 .– Desagregador de Refugo úmido do Couch Pit e eixo transversal com rotor	140
Figura 22 – Separador Centrifugo de alta consistência com coletor de rejeitos	141
Figura 23– Esquema (esq.) e fotografia (dir.) de um filtro a disco	142

Figura 24 – Sistema de proteção em vários estágios de limpeza	143
Figura 25 - Refinador de disco duplo da Voith Papel	145

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos problemas associados à competição pela água.....	8
Tabela 2 – Associação entre as tendências para o surgimento de estresse ambiental e geração de conflitos e os problemas associados à competição pelo uso da água..	9
Tabela 3 – Relação entre nível de receitas das nações e DEA	11
Tabela 4 – Distribuição dos recursos hídricos por continente.....	14
Tabela 5 – Classificação de disponibilidade, conforme ONU, (m ³ /hab.ano).....	15
Tabela 6 – Situação Hídrica dos Municípios Brasileiros	16
Tabela 7 – Consumo de água doce por Continente.....	19
Tabela 8 – Consumo de água setorial de acordo com o nível de renda	20
Tabela 9 – Demanda de água por atividade nos Estados Brasileiros.....	21
Tabela 10 – Evolução na demanda de água no período de 1990 a 2010.....	21
Tabela 11 – Variação do consumo médio de água por habitante no período de 1990 a 2010	21
Tabela 12 – Categorias de água de acordo com sua qualidade.....	33
Tabela 13 – Exemplo das origens e vazões dos despejos para produzir 350t/dia de celulose	47
Tabela 14 – Reduções dos despejos no processamento.....	48
Tabela 15 – Fonte dos despejos e setores de sua reutilização	49
Tabela 16 – Testes selecionados para caracterizar a qualidade de água para reuso	66
Tabela 17 – Programação para análises de qualidade de água, conforme dados do NCASI (1980).	70
Tabela 18 – Demanda do potencial das fontes de uso da água em torno da área de fabricação de papel	70
Tabela 19 – Práticas de reuso de água para as plantas industriais visitadas.....	73

Tabela 20 – Fábricas que utilizaram o excesso de água branca para lavagem final do licor marrom – Qualidade da água do chuveiro para o estágio de lavagem final.	79
Tabela 21 – Reuso de água em aplicações de selagem.....	88
Tabela 22 – Resumo dos parâmetros de qualidade de água de reuso para selagem em plantas industriais de produção de papel.....	89
Tabela 23 – Resumo dos parâmetros de qualidade da água de reuso para aquecimento e resfriamento em plantas de produção de papel.....	91
Tabela 24 – Apresentação dos problemas relacionados ao reuso de água em 18 máquinas de papel	92
Tabela 25 - Redução de cargas associadas a práticas de reuso em uma planta industrial	93
Tabela 26 – Matérias-primas componentes dos produtos da linha de papéis-cartão da Suzano	112
Tabela 27 – Métodos de coleta de dados quantitativos	115
Tabela 28 – Consumo de água industrial da máquina MB-6	119
Tabela 29 – Geração de efluentes da máquina MB-6.....	120
Tabela 30 – Proposta para reutilização dos efluentes da máquina de papel cartão MB6	121
Tabela 31 – Consumo de água industrial nos diferentes subsistemas da máquina MB6 antes e depois da implementação do estudo de conservação de água	123
Tabela 32 – Geração de efluente industrial nos diferentes subsistemas da máquina MB6 antes e depois da implementação do estudo de conservação de água.	123
Tabela 33 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório de controle ambiental para amostras do canal de vácuo.....	150
Tabela 34 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório Central para amostras do canal de vácuo	150
Tabela 35 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório de controle ambiental para amostras do TQ-14.....	151
Tabela 36 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório Central para amostras do TQ-14	151

Tabela 37 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório de controle ambiental para amostras do TC-4	152
Tabela 38 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório Central para amostras do TC-4.....	152
Tabela 39 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório de controle ambiental para amostras do TC-3	153
Tabela 40 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório Central para amostras do TC-3.....	153
Tabela 41 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório de controle ambiental para amostras do TQ-13.....	154
Tabela 42 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório Central para amostras do TQ-13	154
Tabela 43 – Resultados obtidos nas análises realizadas no laboratório de controle ambiental para amostras do Tanque Flouclin	155
Tabela 44 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório Central para amostras do Tanque Flouclin	155
Tabela 45 – Resultados obtidos nas análises realizadas no laboratório de controle ambiental para amostras do efluente final da máquina MB-6	156
Tabela 46 – Resultados obtidos nas análises realizadas no laboratório central para amostras do efluente final da máquina MB-6	156
Tabela 47 – Características da água industrial, segundo laudo da Suzano	157
Tabela 48 – Características da água industrial, segundo laudo da Suzano	157

LISTA DE ABREVIATURAS e NOMENCLATURAS

ANA	– Agência Nacional de Águas
ANEEL	– Agência Nacional de Energia Elétrica
CNRH	– Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	– Conselho Nacional de Meio Ambiente
CKT	– Circuito
DAF	– Clarificadores de Ar Dissolvido
DBO	– Demanda Bioquímica de Oxigênio
DEA	– Demanda Específica de Água
DQO	– Demanda Química de Oxigênio
ETA	– Estação de Tratamento de Água
ETE	– Estação de Tratamento de Efluentes
FCB	– Fibra Curta Branqueada
FCNB	– Fibra Curta Não Branqueada
FIESP	– Federação Nacional das Indústrias
IBGE	– Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICRH	– Índice de Comprometimento de Recursos Hídricos
NCASI	– National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement
OCDE	– Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS	– Organização Mundial da Saúde
ONU	– Organização das Nações Unidas
OP	– Ordem de Processo
SDT	– Sólidos Dissolvidos Totais
SST	– Sólidos Suspensos Totais
ST	– Sólidos Totais
SVT	– Sólidos Voláteis Totais
UGRH	– Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UFESP	– Unidade Fiscal do Estado de São Paulo
UNESCO	– Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos

LISTA DE SÍMBOLOS

C_{RD}	– concentração de entrada para reuso com diluição (mg/L)
C_{E1}	– concentração do efluente 1 (mg/L)
C_{E2}	– concentração do efluente 2 (mg/L)
C_{En}	– concentração do efluente n (mg/L)
H	– altura da lâmina d'água (m)
m_{RD}	– vazão de entrada para reuso com diluição (m^3/h)
m_{E1}	– vazão do efluente 1 (m^3/h)
m_{E2}	– vazão do efluente 2 (m^3/h)
m_{En}	– vazão do efluente n (m^3/h)
V	– vazão (m^3/h)

RESUMO

Este trabalho traz, como contribuições principais, o estudo de conservação de água e reuso na indústria de papel e celulose, mais especificamente no setor de produção de papel, bem como o desenvolvimento de uma metodologia de conservação de água aplicada à uma máquina de papel, que por sua vez pode ser aplicada em qualquer outro setor da indústria. A metodologia desenvolvida neste trabalho considerou as principais formas de minimização do uso de água, isto é, as mudanças no processo, reuso direto, reciclo e reuso pós-tratamento. A metodologia é composta de três etapas: a primeira etapa consiste na definição do processo, que por sua vez, têm por objetivo a realização do modelo hídrico do processo; a segunda etapa é o diagnóstico hídrico, que se refere à determinação dos pontos de medição, na execução das medições in loco e na análise de consistência dos dados e, finalmente, na última etapa efetua-se a realização do estudo de conservação de água, que contempla a avaliação de perdas e desperdícios, bem como a proposição do método de avaliação do potencial de reutilização de efluentes. A aplicação desta metodologia atende o objetivo proposto e possibilitou a redução de 66% do consumo de água e de 54% da geração de efluentes total da máquina de papel MB6 da Suzano. Os resultados obtidos nesta dissertação confirmaram que indústrias hidroativas, como a do segmento de papel e celulose, possuem um alto potencial de conservação de água.

Palavras-chave: conservação de água; indústria de papel e celulose; máquina de papel.

ABSTRACT

This work brings, as principal contribution, the water conservation analysis in a pulp and paper company, more specifically in the paper production sector, as well a water conservation methodology applied to the paper machine was developed, which can be carried out to any other system in the plant. The methodology developed in this work took into consideration the principal ways of water conservation, which are process change, direct reuse, recycle and reuse after treatment. The methodology is composed of three steps: the first step consists in the process definition, what is important to define the hydric process model; the second step is the hydric diagnostic, which involves the establishment of measurement points, the execution of this measurement and consistency analysis of the this data. Finally, the third and last step is the water conservation study that goes over losses and inefficiency in the water usage and proposition of verification methodology to understand the effluents reuse potential. The application of this methodology made possible reach the objective and brought as a result a reduction proposal of 66% of water consume and a reduction of 54% in the paper machine total effluent generation. The results of this work shows that hydro intensive industries, like paper industries, have a large potential for water reuse and conservation.

Keywords: water conservation; pulp and paper industries; paper machine.

1 – Introdução

A limitação de reservas de água doce no planeta, o aumento da demanda de água, os usos prioritários dos recursos hídricos disponíveis e as restrições que são impostas ao lançamento de efluentes, torna necessária a adoção de estratégias que visem racionalizar o uso dos recursos hídricos. Além disso, a dispersão da distribuição dos recursos hídricos e das populações nas diversas regiões do planeta, e mesmo no Brasil, torna mais difícil o abastecimento de algumas regiões, principalmente as metropolitanas, tendo por consequência aumentos gradativos dos custos de fornecimento de água. A região sul/sudeste, por exemplo, possui uma relativa abundância de recursos hídricos, porém grande parte destes recursos encontra-se comprometido pela poluição de origem doméstica e industrial. Também, há áreas de escassez hídrica, como a região metropolitana de São Paulo.

Neste contexto, as práticas conservacionistas como o uso eficiente da água e o reuso de águas servidas, constituem uma maneira inteligente de poder ampliar o número de usuários de um sistema de abastecimento, sem a necessidade de grandes investimentos.

Um dos maiores desafios da indústria neste século é coexistir pacificamente em tempos de escassez de recursos naturais. A baixa disponibilidade de água utilizada como matéria prima em processos produtivos e as crescentes exigências da humanidade por um ambiente mais saudável têm impulsionado nas últimas décadas a implantação de programas de conservação e reutilização de efluentes líquidos em todo o mundo.

As atividades industriais no Brasil respondem aproximadamente por 20% do consumo de água, sendo que desta parcela, metade é extraída diretamente de corpos d'água e grande parte do efluente gerado é tratado de forma inadequada ou nem sequer recebe tratamento.

Devido à sistemática de outorga e cobrança de uso da água observa-se que a indústria é penalizada tanto no âmbito da captação como no lançamento de efluentes,

por este motivo medidas de racionalização, o reuso e o reciclo da água na indústria passam a se constituir ferramentas de gestão fundamentais para a atividade industrial.

As indústrias hidroativas, isto é, aquelas que necessitam de grandes quantidades de água nos processos industriais, como, por exemplo, as indústrias de petróleo, têxtil, de cerveja e de papel são aquelas nas quais um programa de conservação e reuso de água, faz-se extremamente necessário para sua sobrevivência no mercado.

1.1 – Objetivo

Este trabalho visa desenvolver uma metodologia para a implantação de conservação de água na indústria de papel, com aplicação na Suzano Bahia Sul, mais especificamente, no setor de produção de papel, em uma de suas máquinas de produção de papel. Assim, esta dissertação vem contribuir para a obtenção de uma metodologia padrão para a redução do consumo de água no setor industrial.

1.1.1 – Objetivo geral:

Realizar um estudo visando à conservação de água na indústria de papel e celulose para desenvolver uma metodologia visando à conservação de água em uma máquina de papel cartão.

1.1.2 – Objetivos específicos:

- Desenvolver uma metodologia para diagnóstico hídrico;
- Dimensionar o potencial de economia de água industrial no processo de produção de papel via racionalização do uso, reuso direto, reuso com diluição, recirculação e reuso pós-tratamento; e
- Dimensionar a redução da geração de efluente final;

1.2 – Metodologia

A metodologia utilizada na realização deste trabalho é composta basicamente por três etapas: definição do processo, diagnóstico hídrico e determinação do potencial de conservação de água.

A primeira etapa desta metodologia, visa o conhecimento do processo, realizada através da coleta de informações (mapeamento do processo), tanto em literatura específica, como em documentos da indústria. Esta etapa tem como objetivo gerar um modelo hídrico do processo, sendo que todas as informações que caracterizam e restringem o processo devem ser estabelecidas neste momento.

Na etapa subsequente, realiza-se o diagnóstico hídrico que consiste no levantamento de dados em campo e verificação da consistência destes dados.

A terceira e última etapa consta em determinar o potencial de conservação de água, que inclui desde medidas para racionalização do uso da água, como um algoritmo para implementação de práticas de reuso. Este algoritmo foi elaborado com base no conhecimento acumulado de idéias já provadas e trata-se, portanto, de uma metodologia heurística, onde a seqüência lógica da evolução do fluxograma segue regras geradas com experiências prévias, que visa diminuir o consumo de água e a geração de efluentes. Apesar do fluxograma ter sido desenvolvido para aplicação em uma máquina de papel cartão, pode ser aplicado para qualquer setor industrial.

Este trabalho é finalizado com a estimativa do potencial de redução do consumo de água industrial da máquina de papel, através da aplicação da metodologia proposta e de sugestões para trabalhos futuros, tendo como premissa a otimização do uso da água no contexto industrial.

1.3 – Relevância do tema abordado

Segundo a Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, a água é um bem público e a gestão dos recursos hídricos deve ser participativa, além disso a utilização dos recursos hídricos deve ser feita

de forma racional assegurando sua disponibilidade à atual e às futuras gerações. Este trabalho vem contribuir para o cumprimento desta Lei pelo setor industrial ao desenvolver instrumentos que irá possibilitar conservar a água e reduzir o lançamento de efluentes, sem elevar seus custos de produção.

O setor industrial é o terceiro maior consumidor de água, perdendo para o abastecimento público e para a agricultura. Entretanto, este setor é o que tem maior capacidade de investimento em conservação de água e o que é mais afetado em situação de estresse hídrico, a ponto de a escassez de água ser restritiva à atividade produtiva, quer seja impedindo a expansão da atividade industrial ou mesmo obrigando o fim das mesmas em uma determinada bacia hidrográfica.

A escolha da Companhia Suzano Bahia Sul de Papel e Celulose deveu-se ao fato dela se localizar em uma bacia considerada estressada e ser considerada hidrintensiva.

Face à complexidade da planta industrial e, conseqüentemente, de seus sistemas hídricos, foi consenso que o estudo de conservação e reuso de água fosse aplicado na máquina de papel cartão MB-6, uma vez que ela possui o maior consumo de água industrial dentre as máquinas de papel. Contudo, ressalta-se que a metodologia utilizada para o estudo de conservação de água nesta máquina foi desenvolvido para que possa ser aplicada à toda a planta industrial.

1.4 – Estrutura da dissertação

Após este capítulo introdutório, o segundo capítulo será composto por uma revisão bibliográfica que abordará a evolução dos problemas referentes ao uso da água e os instrumentos legais indutores à conservação de água. Também será abordado o uso da água na indústria e os conceitos básicos de racionalização e reuso de água. Serão apresentadas as metodologias desenvolvidas para fins de conservação de água.

No terceiro capítulo será abordado a indústria de papel e celulose, onde se tratará sobre o consumo de água, despejos produzidos e efluentes passíveis de reuso nos processos de fabricação de papel e celulose, além dos requisitos gerais,

funções e restrições para o uso da água em máquina de papel, bem como as práticas de implementação de reuso neste segmento industrial.

No quarto capítulo, referente à metodologia, será apresentado o algoritmo elaborado para a execução do estudo de conservação de água na indústria de papel e celulose, descrevendo detalhadamente cada etapa necessária para a execução deste processo.

O quinto capítulo, que antecede a conclusão, enfocará o estudo de caso, sendo composto pela caracterização da máquina de papel cartão e pela aplicação da metodologia de diagnóstico hídrico, bem como pela determinação do potencial de conservação de água na máquina de papel.

No sexto capítulo serão apresentados os resultados e discussão e ao final deste trabalho será apresentada a conclusão do estudo proposto juntamente com propostas para trabalhos futuros.

2 – Revisão bibliográfica

2.1 – Evolução dos problemas mundiais relacionados ao uso da água

Segundo MORAN et al. (1985) e BEECKMAN (1998) apud MIERZWA (2002)*, a água, essencial ao surgimento e a manutenção da vida em nosso planeta, é indispensável para o desenvolvimento de diversas atividades criadas pelo ser humano e por esta razão apresenta valor econômico, social e cultural.

Embora três quartos de nosso planeta seja coberto por água, apenas uma pequena parcela, referente à água doce, está disponível para aproveitamento direto, isto é, sem que seja necessário grandes investimentos no que diz respeito à coleta e tratamento de água. A Figura 1, ilustra esta informação, conforme os dados apresentados por MAYS (1996) e MIERZWA (2002).

A disponibilidade de água em qualquer local não é constante (varia de acordo com as condições climáticas de cada região e com o período do ano) e está susceptível a ação das atividades humanas, tanto pela demanda excessiva como por problemas de poluição provenientes do lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais.

Sempre houve grande dependência dos recursos hídricos para o desenvolvimento econômico, fato que pode ser confirmado através do processo de colonização que se desenvolveu ao longo das margens de cursos d'água.

Inicialmente a água era utilizada como recurso abundante e o aumento da população e o desenvolvimento industrial provocaram um aumento significativo no consumo de água mundial. “Além disso, as características do ciclo hidrológico não são homogêneas, daí a distribuição desigual dos recursos hídricos. Atualmente há 26 países com escassez de água e pelo menos quatro países (Kuwait, Emirados

* MIERZWA, J.C. (2002). *O uso racional e o reuso como ferramentas para o gerenciamento de água e efluentes na indústria – o caso da Kodak brasileira*. São Paulo. 367p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Árabes Unidos, Ilhas Bahamas, Faixa de Gaza – território palestino) com extrema escassez de água (entre 10 e 66 m³/hab)” (TUNDISI, 2003).

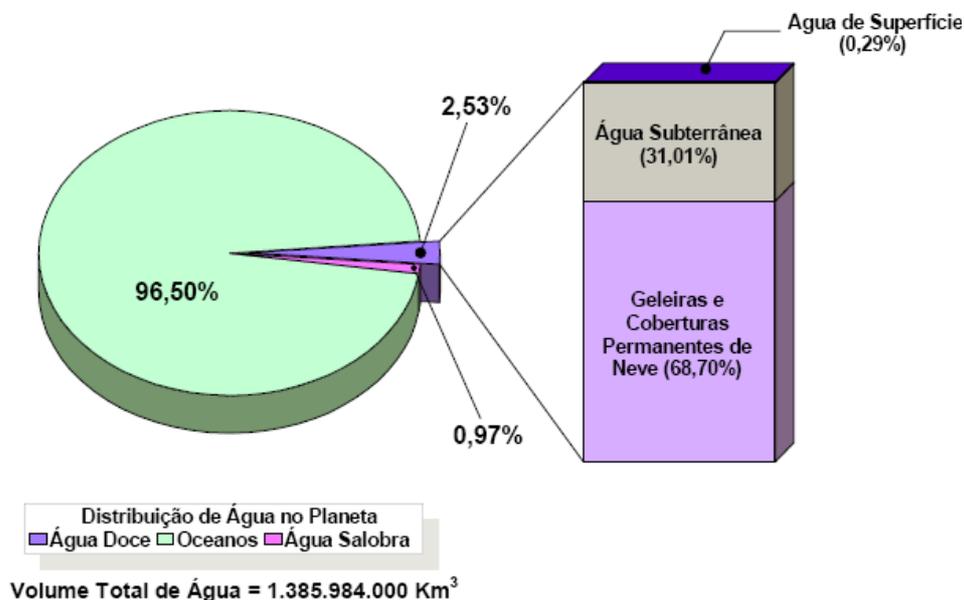


Figura 1 – Distribuição das reservas de água no planeta
Fonte: MIERZWA (2002)

A escassez de água é determinada geralmente por dois fatores principais:

- aumento da população – principalmente em áreas com alta concentração populacional.
- condições climáticas desfavoráveis – baixa disponibilidade hídrica, baixas precipitações e diferentes tipos de climas.

Considerando-se estas duas causas e levando em consideração a existência do incremento da poluição, além de um gerenciamento inadequado dos recursos hídricos, nota-se uma tendência para o surgimento de conflitos em relação ao uso da água, devido à redução da disponibilidade hídrica e ao aumento da demanda de água.

Atualmente, utilizam-se diferentes indicadores para quantificar a predominância de conflitos, de acordo com características de determinada região. Observando-se a escala abaixo (Figura 2), por exemplo, é possível notar a tendência para surgimento de conflitos, através da relação feita entre as condições climáticas de cada região (diretamente relacionadas à disponibilidade hídrica) e o número de habitantes desta região (relacionado à demanda dos recursos hídricos). Nota-se que com o aumento

populacional, a disponibilidade hídrica diminui e, por conseqüência, aumenta a tendência para o surgimento de problemas relacionados ao uso da água.

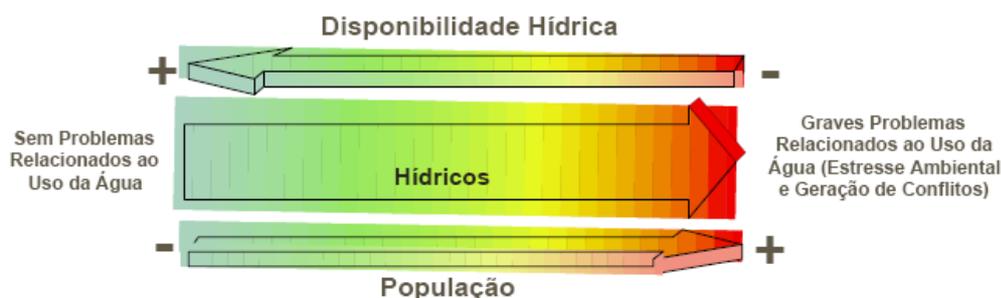


Figura 2 – Escala para relacionar a tendência do surgimento de estresse ambiental e geração de conflitos, em função da disponibilidade hídrica e o aumento da população
Fonte: MIERZWA (2002)

FALKENMARK (1992) apud MIERZWA (2002)* definiu a grandeza denominada unidade anual de fluxo que, por sua vez, equivale a um volume de um milhão de metros cúbicos de água por ano e estabeleceu a relação existente entre esta unidade, o número de consumidores e a tendência para surgimento de problemas relacionados ao gerenciamento hídrico. Assim obteve-se uma classificação de acordo com estas características. Esta classificação é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos problemas associados à competição pela água

Código	Relação entre número de consumidores por unidade de fluxo ($\text{hab}/10^6\text{m}^3/\text{ano}$)	Problemas associados ao gerenciamento hídrico
1	<100	Sem problemas ou problemas limitados
2	100-600	Problemas gerais de gerenciamento
3	600-1.000	Grande pressão sobre os recursos hídricos
4	1.000-2.000	Escassez crônica de água
5	> 2.000	Além do limite de disponibilidade

Fonte: FALKENMARK (1992) apud MIERZWA (2002)*.

* MIERZWA, J.C. (2002). *O uso racional e o reuso como ferramentas para o gerenciamento de água e efluentes na indústria – o caso da Kodak brasileira*. São Paulo. 367p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

De acordo com a tabela 1, pode-se afirmar que quanto maior o número de consumidores menor a “disponibilidade de água” por consumidor, isto é, maior o número obtido através da relação entre o número de consumidores e a unidade de fluxo e maior a tendência para a existência de problemas hídricos nesta região.

Entre os indicadores que atualmente são utilizados para a identificação de problemas referentes à escassez de recursos hídricos, pode-se citar a grandeza denominada de Demanda Específica de Água (DEA) e o Índice de Comprometimento de Recursos Hídricos (ICRH), definidos da seguinte forma:

- DEA: relaciona a disponibilidade anual de água por habitante, expressa em metros cúbicos por ano, por habitante ($m^3/\text{ano.hab}$);
- ICRH: associado à tendência do surgimento de conflitos potenciais e outros problemas ambientais em uma determinada região, número adimensional que pode variar de 1 a 5.

A associação entre DEA, ICRH e a classificação proposta por FALKENMARK (Tabela 1) resultou na Tabela 2.

Tabela 2 – Associação entre as tendências para o surgimento de estresse ambiental e geração de conflitos e os problemas associados à competição pelo uso da água

Índice de Comprometimento de Recursos Hídricos (ICRH)	Disponibilidade Específica de Água (DEA) ($m^3/\text{ano. habitante}$)	Tendência para o surgimento de Estresse Ambiental e Geração de Conflitos	Problemas Associados ao Gerenciamento Hídrico
1	DEA \geq 10.000	Não possui tendência para o surgimento de estresse hídrico. Quantidade hídrica suficiente para satisfazer as necessidades básicas	Sem problemas ou problemas limitados
2	10.000 > DEA \geq 2.000	Tendência para surgimento de pequenos conflitos em relação o uso da água e episódios poluição com efeitos adversos ao meio ambiente	Problemas gerais de gerenciamento

Tabela 2 (continuação)
 Associação entre as tendências para o surgimento de estresse ambiental e geração de conflitos e os problemas associados à competição pelo uso da água

Índice de Comprometimento de Recursos Hídricos (ICRH)	Disponibilidade Específica de Água (DEA) (m³/ano.habitante)	Tendência para o surgimento de Estresse Ambiental e Geração de Conflitos	Problemas Associados ao Gerenciamento Hídrico
3	2.000 > DEA ≥ 1.000	Tendência ao surgimento de estresse ambiental, devido ao comprometimento da capacidade natural de autodepuração e contaminação do ambiente aquático e surgimento de conflitos relacionados ao uso da água, causados por problemas de poluição e podendo reduzir ou interromper certas atividades humanas	Grande pressão sobre os recursos hídricos
4	1.000 > DEA ≥ 500	Possibilidade da ocorrência de graves problemas ambientais, podendo contribuir para a qualidade de vida da população e agravar os conflitos pelo uso da água	Escassez crônica de água
5	DEA < 500	Condição crítica com relação ao estresse ambiental e a geração de conflitos ambientais, devendo priorizar o abastecimento doméstico e a dessedentação de animais e restringir a atividade industrial àquelas extremamente necessárias	Além do limite de disponibilidade de água

Fonte: MIERZWA (2002).

Observando-se esta relação, é evidente que quanto maior o índice de comprometimento dos recursos hídricos de uma região, menor a disponibilidade hídrica desta e maior a degradação dos recursos hídricos, situação considerada propícia à existência de conflitos pelo uso da água.

A relação entre o ICRH e a DEA também pode ser observada na forma do gráfico da Figura 3.

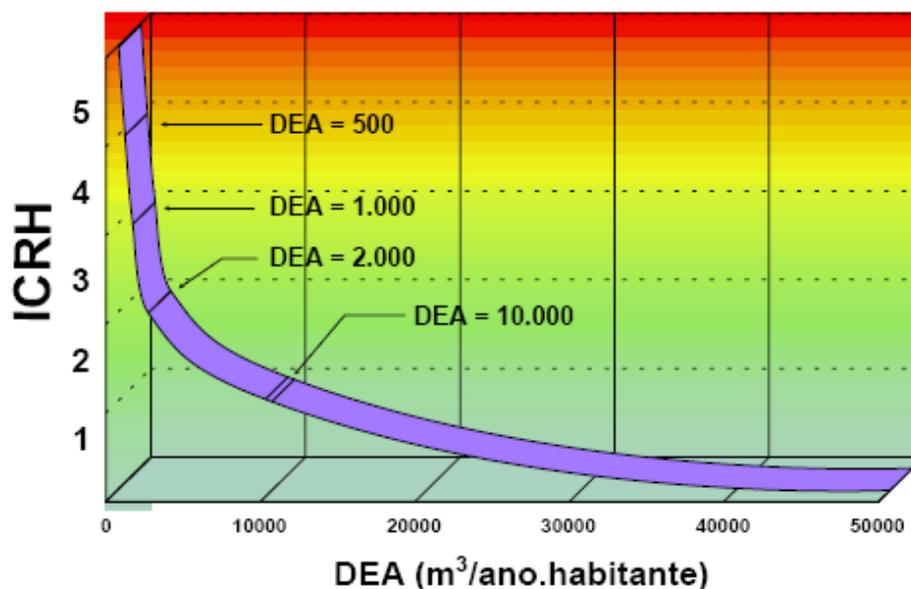


Figura 3 – Relação entre ICRH e DEA
Fonte: MIERZWA (2002)

O consumo de água de uma região, varia de acordo com o nível de renda, geralmente países ou regiões mais ricas tendem a possuir uma maior disponibilidade de água que regiões com nível de renda muito baixa, salvo situações onde existe um alto grau desenvolvimento, que tenha ocorrido também através da exploração desordenada dos recursos hídricos.

A relação entre o nível de receitas e a disponibilidade específica de água está explícita na Tabela 3 .

Tabela 3 – Relação entre nível de receitas das nações e DEA

Tipo de Economia	DEA (m³/ ano. Habitante)
Economia com baixo nível de renda	4.119,63
Economias com nível médio- baixo de receita	11.452,37
Economias com nível médio-alto de receita	22.381,93
Economias com nível alto de receita	9.354,91
Brasil	30.184,58

Fonte: WORLD RESOURCES INSTITUTE (1998-99) apud MIERZWA (2002)*.

* MIERZWA, J.C. (2002). *O uso racional e o reuso como ferramentas para o gerenciamento de água e efluentes na indústria – o caso da Kodak brasileira*. São Paulo. 367p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Observa-se que as nações com maior DEA estão na categoria de Economias com Nível Médio-Alto de Receita, entre elas o Brasil, que apresentam, portanto, maior potencial para aumento de suas receitas. Já as economias com nível alto de receita possuem uma disponibilidade específica de água não muito alta, devido a uma maior exploração os recursos hídricos proveniente de seu desenvolvimento.

Conclui-se, então, que a regiões com nível de receita muito baixo bem como as nações com alto nível de receitas estão mais susceptíveis a apresentar um alto ICRH para estabilizar o seu crescimento.

Enfim, com os dados referentes à disponibilidade hídrica de uma região e com uma projeção do crescimento populacional para a mesma é possível identificar as possíveis áreas sujeitas ao surgimento de conflitos associados ao uso da água e deste modo, pode-se desenvolver programas que visem minimizar os possíveis efeitos adversos aos seres humanos e ao meio ambiente.

2.2 – Disponibilidade de água no Brasil e no mundo

Segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO), na Agência Nacional de Águas (ANA), a distribuição da reserva de água doce no mundo e no continente americano ocorre da forma apresentada nas Figuras 4 e 5.



Figura 4 – Distribuição de água doce superficial no planeta
Fonte: ANA (2006)

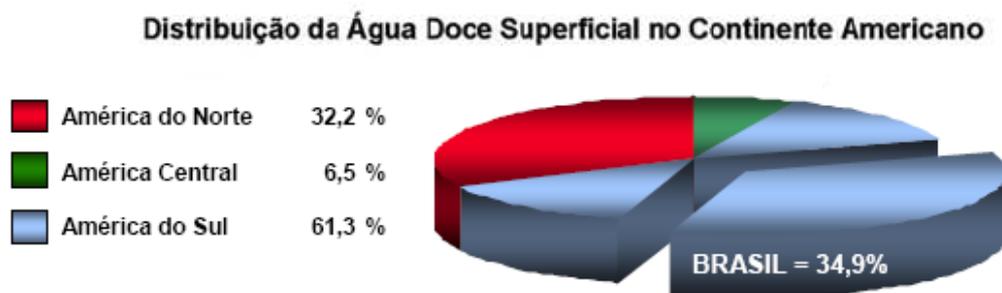


Figura 5 – Distribuição de água doce superficial no continente americano
Fonte: ANA (2006)

Para um diagnóstico das regiões com problemas referentes à disponibilidade de água é necessário analisar, além de dados referentes à distribuição dos recursos hídricos, como fora citado anteriormente, os ICRH's de cada uma destas regiões, bem como a DEA por habitante.

A Figura 6, apresentada por MAYS (1996) em WORLD RESOURCES INSTITUTE (1997 e 1998) e extraída de MIERZWA (2002), relaciona em uma escala o índice de comprometimento de recursos hídricos e a disponibilidade hídrica específica por habitante.

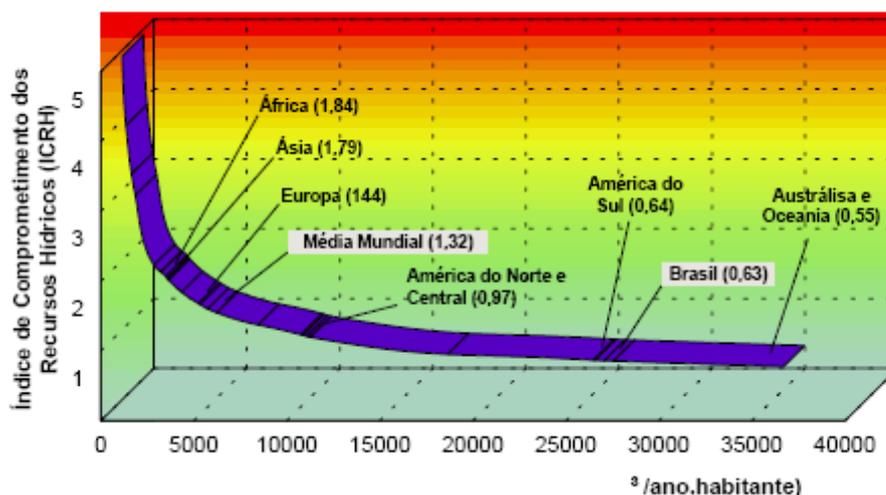


Figura 6 – Classificação mundial dos continentes em função do índice de comprometimento dos recursos hídricos
Fonte: MIERZWA (2002)

Os valores encontrados para o ano de 1995 e a previsão para o ano de 2005, no que diz respeito aos valores de disponibilidade hídrica, populacional e DEA são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Distribuição dos recursos hídricos por continente

Local	Disponibilidade Hídrica	População (milhões de hab)		DEA (m ³ /ano.hab)	
		1995	2025	1995	2025
África	3,95e12	728,074	1.495,772	5.425,27	2.640,78
América do Norte e Central	6,40e12	454,229	615,546	14.089,81	10.397,22
América do Sul	1,19e13	319,790	462,664	37.211,92	25.720,61
Ásia	1,38e13	3.475,957	4.959,987	3.990,80	2.782,27
Austrália e Oceania	1,47e13	28,549	41,027	51.490,42	35.830,06
Europa	7,03e12	726,999	718,203	9.669,89	9.788,32
Brasil	6,95 e12	161,790	230,250	42.956,92	30.184,58
Mundo	4,46e13	5.715,598	8.293,202	7.803,21	5.377,90

Fonte: WORD RESOURCES INSTITUTE (1997-1998) apud MIERZWA (2002)*.

Através de uma análise isolada, isto é, apenas da distribuição de água pelos continentes, é possível que sejamos induzidos a pensar erroneamente, por exemplo, que o continente asiático (segundo maior continente em reserva de água doce) não possui problemas referentes a disponibilidade de água, porém através da observação do ICRH deste continente e da DEA (Figura 6 e Tabela 4), não somos induzidos a este erro.

Analisando os dados da Tabela 4 referentes apenas à distribuição dos recursos hídricos por continente, nota-se que a América Latina apresenta-se como o bloco geo-econômico com melhor disponibilidade de água doce do planeta, possuindo uma quantidade muito superior à média mundial, porém isso não garante a inexistência de problemas de caráter hídrico nesta região, pode-se citar como exemplo disto, a região do nordeste brasileiro.

“Apesar de apresentarem uma boa disponibilidade *per capita*, os países da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), devido ao desenvolvimento produtivo dos setores industrial e agrícola, têm os recursos hídricos já afetados tanto na qualidade quanto na quantidade. Percebe-se que a África e a Ásia apresentam situações preocupantes, devido à grande população que nesses blocos se concentram” (COSTA & BARROS JÚNIOR, 2005).

* MIERZWA, J.C. (2002). *O uso racional e o reuso como ferramentas para o gerenciamento de água e efluentes na indústria – o caso da Kodak brasileira*. São Paulo. 367p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

O caso do Brasil é similar ao citado acima. Considerando-se apenas uma análise holística de sua disponibilidade de água é possível afirmar o seguinte: o Brasil é um país privilegiado no que diz respeito a reserva de recursos hídricos, com cerca de 13% de toda a reserva de água doce do mundo, que representa 35% do total de água doce do continente com maior reserva de água no mundo (Americano) e, portanto, dificilmente terá problemas referentes a escassez de água.

De fato, de acordo com dados da ANA apud MACHADO(2006)*, a disponibilidade média de água por habitante do Brasil está em torno de 33.376 (m³/hab.ano), valor que indica um país rico em disponibilidade de água, como é mostrado na Tabela 5 da Organização das Nações Unidas (ONU). Porém, realizando-se uma análise das micro-regiões brasileiras, ou até mesmo de cada estado brasileiro, é possível identificar facilmente regiões que já possuem, ou que tendem a possuir conflitos devido à baixa disponibilidade de água (Tabela 6).

Tabela 5 – Classificação de disponibilidade, conforme ONU, (m³/hab.ano)

Disponibilidade de Água (m³/hab.ano)	Classificação	Países
100.000	Muito rico em água	Guiana Francesa, Islândia, Gabão, Suriname e Sibéria.
10.000	Rico em água	Brasil (33.376), Austrália, Colômbia, Venezuela, Suécia, Rússia, Canadá, Argentina e Angola.
2.000	Têm apenas o suficiente	Alemanha, França, México, Reino Unido, Japão, Itália, Índia, Holanda, Espanha, Cuba, Iraque e EUA.
1.000	Têm situação regular	Paquistão, Etiópia, Ucrânia, Bélgica e Polônia.
500	Pobres em Água	Egito, Quênia e Cabo Verde.
-	Permanente escassez	Líbia, Arábia Saudita, Israel (470), Jordânia e Cingapura.

Fonte: ANA (2005).

* MACHADO, J. (2006). *A ANA e a Agricultura Sustentável. / Apresentado ao Seminário Desafios à Expansão da Agropecuária Brasileira*. Nov.

Tabela 6 – Situação Hídrica dos Estados Brasileiros¹

Classificação	Estado	Disponibilidade Hídrica (m³/hab.ano)
Muito rico >100.000	AC	289.976,99
	AP	338.785,25
	AM	506.921,47
	PA	203.776,96
	RR	733.085,76
	RO	182.401,59
	TO	109.903,67
	MT	370.338,08
Rico em água >10.000	MA	12.362,35
	PI	10.764,47
	RS	19.426,78
	SC	14.737,50
	GO	29.764,69
	MS	43.694,73
Têm apenas o suficiente > 2.000	BA	5.933,55
	CE	2.667,94
	PB	2.216,60
	RN	2.271,67
	ES	8.016,34
	MG	9.172,50
	SP	2.916,11
	PR	8.946,61
Têm situação regular >1.000	AL	1.349,96
	PE	1.712,77
	SE	1.677,09
	RJ	1.772,27
	DF	1.013,29

Fonte: MACHADO (2006)*.

Dentre as principais causas da existência de regiões com tendência a um cenário de escassez de água em um país rico em disponibilidade de água como o Brasil, pode-se citar além da distribuição heterogênea dos recursos hídricos, a distribuição desigual da população ao longo do país.

A ocorrência da distribuição dos recursos hídricos e da população em cada umas das regiões do país é mostrada na Figura 7. Logo, observa-se que a região com maior disponibilidade de recursos hídricos superficiais é a região norte que abriga apenas cerca de 7% da população enquanto regiões com menor

¹ Os valores apresentados na tabela são aproximados e podem divergir de outras fontes.

* MACHADO, J. (2006). *A ANA e a Agricultura Sustentável*. / Apresentado ao Seminário Desafios à Expansão da Agropecuária Brasileira/.nov.

porcentagem de recursos hídricos como a região Sudeste e Sul, tendem a abrigar uma maior porcentagem da população, devido à migração de pessoas de outros estados para estas regiões consideradas mais desenvolvidas.

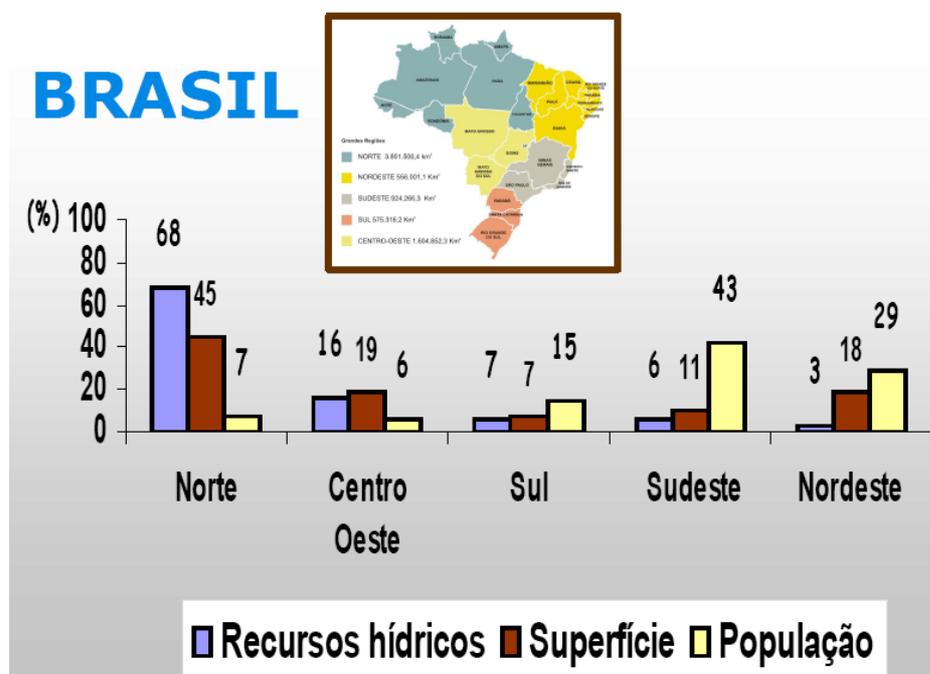


Figura 7 – Distribuição geográfica dos recursos hídricos, superfície e população por região
Fonte: MACHADO (2006)

Observa-se que através da análise dos dados da figura 7 que existe uma grande variação na disponibilidade específica de água entre os diversos Estados que compõem o território brasileiro, constatando-se que a região mais crítica é a região nordeste, seguida pela região sudeste.

É importante estar atento para o fato de que as razões pelas quais estas duas regiões apresentam a menor disponibilidade específica de água são distintas. Na região nordeste o fator preponderante refere-se ao próprio potencial hídrico, principalmente em função das condições climáticas da região, enquanto na região sudeste o principal fator refere-se ao número de pessoas que devem ser atendidas, ou seja, demanda excessiva.

“Atualmente, 81,2% da população do Brasil residem em áreas urbanas, sendo que aproximadamente 40% desta população concentra-se em 22 regiões metropolitanas (IBGE, 2000), através de uma análise deste panorama, identifica-se

facilmente áreas com problemas relacionados a escassez de água, como as áreas metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Porto Alegre” (HESPANHOL & MIERZWA, 2005).

Esta situação evidencia a influência que a demanda excessiva de água exerce sobre a disponibilidade hídrica em várias regiões do país, deste modo é importante lembrar que a quantidade de água de uma região é constante, mas a população não, evidenciando, portanto, que a disponibilidade se reduz à medida que a população aumenta.

2.3 – Demanda de água por atividade no Brasil e no mundo

A água apresenta diferentes usos, dentre os quais pode-se citar o consumo humano; uso industrial; irrigação; geração de energia; transporte; aquicultura; preservação da fauna e flora; assimilação e transporte de efluentes.

A qualidade requerida para cada uma destas atividades difere em características físico-químicas de acordo com os requisitos necessários para cada tipo de uso.

Para que possa ser realizado um planejamento da gestão de recursos hídricos, é necessário obter a demanda de água de acordo com o tipo de atividade.

Geralmente agrupam-se os diferentes usos da água em três categorias distintas: uso doméstico, agrícola e industrial.

Segundo REBOUÇAS (2001), da demanda total de água superficial do mundo 70% é utilizado pelas atividades agrícolas, 20% pelas indústrias e 10% referentes a demanda do consumo doméstico .

A distribuição do uso da água pelos diferentes continentes em valores anuais por metro cúbico é apresentada na Figura 8, extraída da Revista National Geografic de 2001.

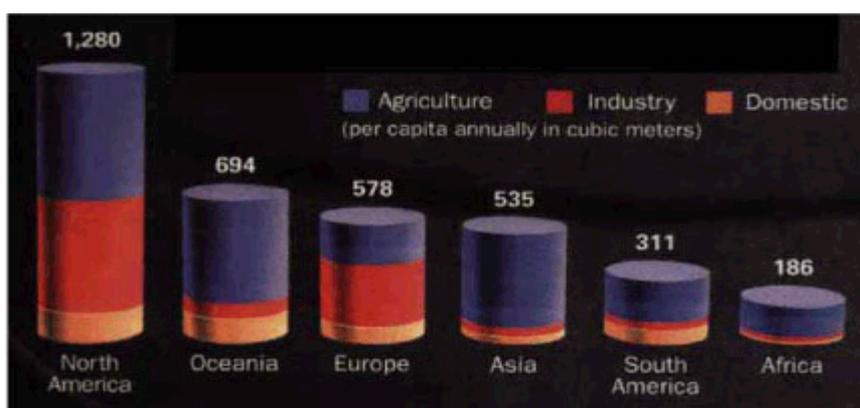


Figura 8 – Consumo de água mundial por atividade em cada continente
 Fonte: National Geographic (2001) apud REBOUÇAS (2001)*

O uso setorial de água em cada um destes continentes é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7 – Consumo de água doce por Continente

Continent	Retirada Total de água Doce (Km³/ano)	Volume de Retirada de água estimada para o Ano 2000 (m³/hab/ano)	Consumo Doméstico (%)	Consumo Industrial (%)	Consumo Agrícola (%)
África	151,99	7738,00	10	4	86
América do Norte e Central	608,93	6868,00	11	33	56
América do Sul	106,21	6164,00	9	6	85
Ásia	1495,65	16252,00	11	7	82
Europa	311,87	13757,00	15	52	33
Antiga União Soviética	269,87	19516,00	7	13	80
Oceania	16,93	1374,00	56	6	38
Total	2961,45	71669,00	-	-	-

Fonte: ANA (2005).

Analisando a tabela 7, conclui-se que o setor agrícola, isto é, de produção de alimentos lidera o consumo de água mundial, seguido pelo setor industrial e por último pelo setor doméstico, porém nem todos os continentes possuem o maior consumo de água concentrado no setor agrícola. Na Europa, por exemplo, o maior

* REBOUÇAS, A. C. (2001). Água e desenvolvimento rural. *Estud. av.*, v.15, n. 43, p.327-44, dez.

consumo refere-se ao setor industrial, seguido pelo setor agrícola, e doméstico, padrão característico, de continentes mais desenvolvidos.

Observa-se claramente que os continentes com maior desenvolvimento tecnológico e industrial como América do Norte e Central, Europa e antiga União Soviética tendem a apresentar consumos considerados altos e discrepantes no setor industrial quando comparados com continentes com menor nível de desenvolvimento, como Oceania, África e América do Sul, que por sua vez tendem a ter um maior consumo no setor agrícola, que geralmente é a base de sua economia.

O consumo doméstico, tende a ser maior, entretanto, em continentes como Europa e Ásia, com maior poder aquisitivo e menor em continentes como América do Sul e Oceania, salvo os casos em que as tecnologias para menor consumo neste setor estão mais avançadas devido a menor disponibilidade de recursos hídricos, como é o caso da América do Norte.

O consumo médio de água no planeta por atividade difere também de acordo com o nível de renda de cada país, este fato pode ser observado na Tabela 8. Países com maior renda tendem a ter um maior consumo de água tanto no setor doméstico como em outros setores.

No Brasil, segundo dados da UNESCO, a distribuição do consumo de água é de 19% pelas indústrias, 22% para uso doméstico e 60% para irrigação da agricultura.

Tabela 8 – Consumo de água setorial de acordo com o nível de renda

Consumo	Uso Doméstico (%)	Uso Industrial (%)	Uso Agrícola (%)
Mundo	8	22	70
Países de Elevado Rendimento	11	59	30
Países de Baixo e Médio Rendimento	8	10	82

Fonte: UNESCO (2003)

Dados de distribuição das maiores demandas de água por atividades brasileiras estão contidos na Tabela 9. Nota-se que grande parte da demanda de água do setor agrícola corresponde aos estados de Minas Gerais e Rio Grande do Sul, enquanto a maior parcela da demanda do setor industrial concentra-se nos estados de São Paulo e Santa Catarina, e a demanda para consumo humano tende a ser maior nos grandes centros como São Paulo, Distrito Federal e Ceará.

Tabela 9 – Demanda de água por atividade nos Estados Brasileiros

Setores de Consumo	Estados Brasileiros							
	MG	SP	CE	BA	RS	SC	DF	Brasil
Doméstico	8,9	32,0	31,6	28,8	6,2	19,9	32,9	21,0
Industrial	0,6	26,8	6,7	8,1	10,3	26,7	1,3	18,0
Agrícola	90,5	41,2	60,5	63,1	83,5	53,5	65,8	61,0

Fonte: CRISTOFIDIS (2001) apud ANA (2006)*.

A indústria escolhida para estudo de caso, nesta dissertação, está localizada no Estado de São Paulo, portanto serão apresentados dados de demanda de água por atividade deste Estado com maior detalhamento.

As Tabelas 10 e 11 extraídas de MIERZWA (2002) apresentam dados da variação do consumo médio de água por habitante no período compreendido entre o ano de 1990 e 2010.

Tabela 10 – Evolução na demanda de água no período de 1990 a 2010

Uso da Água	Demanda em 1990 (m ³ /ano .hab)	Demanda em 2010 (m ³ /ano.hab)	Varição(%)
Doméstico	117,3	149,50	27,45
Industrial	91,80	145,90	58,93
Irrigação	153,50	297,80	94,01
Total	362,60	593,20	63,60

Fonte: WORLDS INSTITUTE (1997) apud MIERZWA (2002)**.

Tabela 11 – Variação do consumo médio de água por habitante no período de 1990 a 2010

Uso da Água	Consumo em 1990 (m ³ /ano.hab)	Consumo em 2010 (m ³ /ano.hab)	Varição (%)
Doméstico	113,43	107,31	-5,40
Industrial	88,77	104,73	17,98
Irrigação	148,44	213,76	44,00
Total	350,65	425,80	21,43

Fonte: WORLDS INSTITUTE (1997) apud MIERSWA (2002)**.

* <http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/InfoHidrologicas/mapasSIH/1->

AAguaNoBrasilENoMundo.pdf

** MIERZWA, J.C. (2002). *O uso racional e o reuso como ferramentas para o gerenciamento de água e efluentes na indústria – o caso da Kodak brasileira*. São Paulo. 367p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Pelos dados apresentados anteriormente é possível constatar que deverá haver um aumento na demanda de água para consumo industrial e para irrigação nos próximos anos, enquanto que a demanda para consumo humano deverá sofrer uma redução, devido principalmente a uma alta densidade populacional desta região.

No Estado de São Paulo observa-se que muitas áreas apresentam uma situação crítica com relação à disponibilidade hídrica estando associados os dois fatores que conduzem aos problemas de escassez hídrica, isto é, alta densidade populacional e degradação dos recursos hídricos.

A relação de áreas que fazem parte das Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRH) do Estado de São Paulo, para que seja possível identificar áreas críticas ao surgimento de conflitos pelo uso da água, é apresentada na Figura 9.

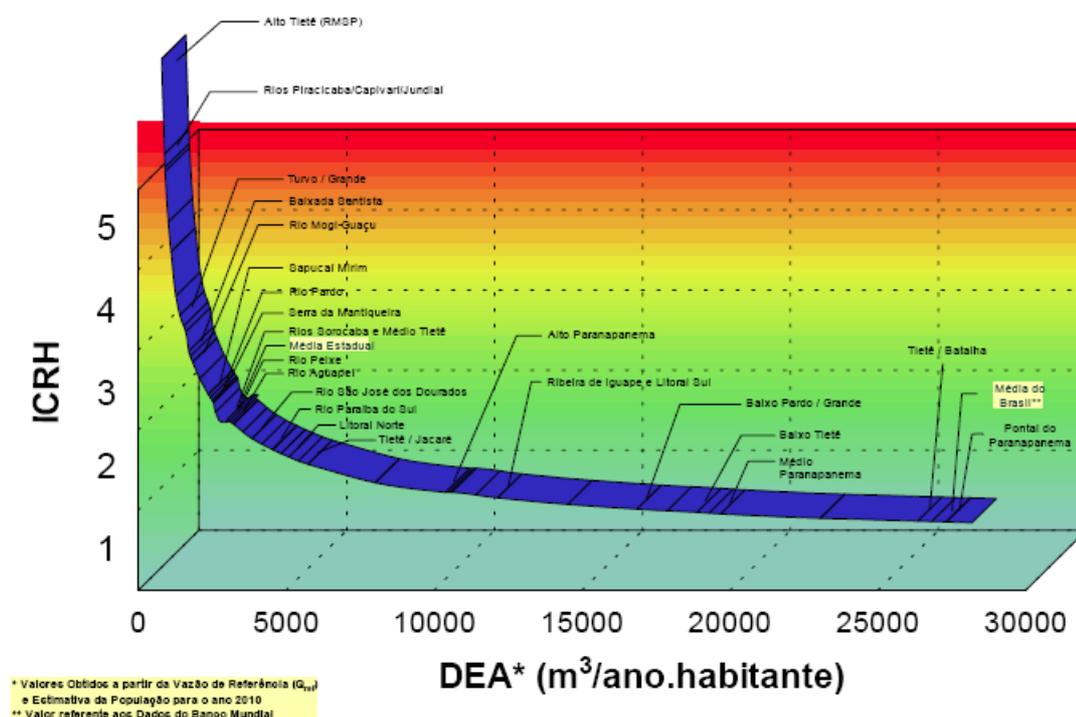


Figura 9 – Variação do índice de comprometimento dos recursos hídricos em função da disponibilidade específica de água para o Estado de São Paulo.
 Fonte: MIERZWA (2002)

Sendo as seguintes UGRH's:

- Rio Paraíba do Sul
- Serra da Mantiqueira
- Litoral Norte

- Rio Pardo
- Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí
- Alto Tietê
- Baixada Santista
- Sapucaí Mirim / Grande
- Rio Mogi Guaçu
- Rios Sorocaba e Médio Tietê
- Ribeira do Iguape e Litoral Sul
- Baixo Pardo / Grande
- Tietê / Jacaré
- Alto Paranapanema
- Turvo / Grande
- Tietê / Batalha
- Médio Paranapanema
- Rio São José dos Dourados
- Baixo Tietê
- Rio Aguapei
- Rio Peixe
- Pontal do Paranapanema

Nota-se que as UGRH's do Alto Tietê (DEA = 179,3 m³/ano.hab) e dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (DEA = 278,9 m³/ano.hab), podem ser consideradas críticas com relação ao surgimento de conflitos pelo uso da água.

Além destas, existem outras, que já se encontram em uma condição de alerta, uma vez que a DEA destas regiões já está se aproximando do valor crítico, exemplo da UGRH Turvo / Grande (DEA = 795,2 m³/ano.hab), UGRH da Baixada Santista (DEA = 1102 m³/ano.hab) e UGRH do Rio Mogi Guaçu (DEA = 1232 m³/ano.hab).

Pelo exposto anteriormente, nota-se que o Estado de São Paulo atualmente é considerado uma região crítica com relação ao surgimento de conflitos pelo uso da água, devido principalmente ao grande conglomerado urbano que se concentra neste estado, principalmente em sua região metropolitana e a grande concentração de indústrias instaladas nesta região.

Segundo HESPANHOL & MIERZWA (2005), este cenário deixa evidente que o entendimento do recurso natural água como um bem econômico e finito deve fazer com que todos a utilizem de forma a maximizar o bem-estar social, seja produzindo com a máxima eficiência, seja consumindo sem desperdícios.

Ao longo das décadas, a degradação ambiental ocorreu de diferentes formas. Na década de 50, foi marcante a depleção de oxigênio; na década de 60, a eutrofização; nos anos 70, a poluição por metais pesados; nos 80, o uso excessivo de micropoluentes orgânicos e pesticidas; nos 90, a contaminação da água subterrânea; e a década de 2000 está sendo marcada pela poluição industrial e pela escassez da água.

Nesse contexto, a legislação urbana no Brasil tem sido ineficaz, e a ocupação de áreas de fácil degradação ambiental tem sido comum nas cidades, sem falar na especulação imobiliária. Os planos diretores têm sido desrespeitados, agravando ainda mais os problemas ambientais urbanos. Algumas regiões do país têm demonstrado acelerado processo de industrialização aliado a uma forte expansão demográfica, trazendo, por um lado, o aumento da riqueza e do bem-estar social, e por outro lado, o agravamento dos problemas ambientais.

A seguir será apresentado um panorama geral do aspecto legislativo brasileiro, que trata do gerenciamento dos recursos hídricos, bem como dos “instrumentos legislativos” existentes na situação atual, que visam a conservação e o uso racional dos recursos hídricos.

2.4 – Legislação brasileira indutora a conservação do uso da água

O estabelecimento de políticas públicas, com a participação da sociedade civil, é a forma mais eficaz de tratamento dos problemas gerados pelos conflitos do uso da água.

Através de um panorama geral, do aspecto legislativo referentes à gestão do uso da água, é possível observar a evolução dos mecanismos, ou melhor dos instrumentos legislativos instituídos até a atualidade que visam o gerenciamento adequado dos recursos hídricos.

As primeiras normas a tratar especificamente da água eram provenientes do Decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934, nomeado “Código de Águas”. Este código veio a definir os diversos tipos de água do território nacional, os requisitos relacionados com as autorizações para a derivação, além de abordar a contaminação dos corpos d’água. (MANCUSO, 2003)

O Código de Águas também previa a propriedade privada de corpos d’água e assegurava o uso gratuito de qualquer corrente ou nascente, porém tratava de conflitos para o uso da água como questões de mera vizinhança.

O Código Florestal, Lei nº 4771 de 15 de setembro de 1965, apesar de não se tratar de uma legislação desenvolvida especificamente para o uso dos recursos hídricos, foi consideravelmente modificado para dar mais proteção aos cursos d’água, através da preservação da vegetação das propriedades urbanas em decorrência da perenização de suas águas.

A resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 20 de 1986, tratava especificamente da classificação das águas doces, salobras e salinas e funcionava como instrumento para controle da qualidade da água, esta resolução foi substituída em 2005 pela resolução CONAMA nº 357.

Em 1988, a Constituição veio a introduzir o conceito de que a água era um bem finito, e assim as águas do território brasileiro passaram a ser consideradas como bens públicos da União ou dos Estados e sua utilização viria a depender de manifestação específica (outorga) do Poder Executivo Federal da União, que por sua vez, poderá delegá-lo aos Estados ou ao Distrito Federal. Pela Constituição de 1988, deixavam de existir, as águas comuns, municipais e particulares, cuja existência era prevista no Código de Águas de 1934.

A outorga de uso da água é um instrumento através do qual o Poder público autoriza o usuário a utilizar as águas de seu domínio por tempo determinado e através de condições estabelecidas

Em 8 de janeiro de 1997 foi sancionada a Lei Federal nº 9.433, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos. Até então o aspecto legislativo enfatizava a

racionalização do uso primário da água e tratava de princípios e instrumentos para a sua utilização, o reuso de água pouco ou quase nunca era citado no aspecto legislativo.

A Política Nacional de Recursos Hídricos, ao instituir fundamentos para a gestão de recursos hídricos, vêm a estabelecer condições jurídicas e econômicas para o reuso de água, que por sua vez vêm a atuar como ferramenta no gerenciamento dos recursos hídricos, concomitantemente a racionalização do uso destes últimos.

O artigo 2º da Política de Recursos Hídricos cita como objetivos desta, a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, além de incentivos a pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais e reafirma em seu artigo 7º que os planos de recursos hídricos devem conter em seu conteúdo metas de racionalização de uso, aumento da quantidade e melhora da qualidade dos recursos hídricos disponíveis.

A Lei nº 9433 utiliza mecanismos de gestão dos recursos hídricos como o enquadramento dos corpos d'água, a outorga de direito de uso e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, para cumprimento de seus objetivos.

A outorga de uso da água é um instrumento através do qual o poder público autoriza o usuário a utilizar as águas de seu domínio, por tempo determinado e condições estabelecidas, e objetiva assegurar o controle qualitativo e quantitativo das águas superficiais e subterrâneas e o efetivo direito de acesso a água.

A cobrança, por sua vez, tem como objetivos: arrecadar recursos financeiros para a conservação e recuperação dos corpos hídricos da bacia, e ser vetor indutor de uso racional dos recursos hídricos.

Para facilitar a implantação dos novos mecanismos instituídos para a gestão dos recursos hídricos, o Ministério do Meio Ambiente criou, em 2000, a Lei nº 9.984, que instituiu a ANA, uma entidade Federal de apoio ao Sistema Nacional de Recursos Hídricos, que segundo seu artigo 3º, possui as seguintes competências: supervisionar, controlar e avaliar ações e atividades decorrentes do cumprimento da legislação federal pertinente aos recursos hídricos, disciplinar em caráter normativo a implementação, operacionalização, o controle e a avaliação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, outorgar, por meio de autorização, o direito de uso dos recursos hídricos de domínio da União, fiscalizar o uso de recursos

hídricos nos corpos de água da União e elaborar estudos técnicos para subsidiar a definição pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), dos valores a serem cobrados pelo uso de recursos hídricos de domínio da União, com base nos mecanismos sugeridos no inciso VI, do art. 38, da Lei nº 9433, de 1997.

Outra lei que é importante mencionar é a Lei de Crimes Ambientais, nº 9.625 de 12 de fevereiro de 1998, que trata, em seu capítulo VI, seção III, de crimes contra o meio ambiente e define como crime “processos que causem poluição de qualquer natureza ou possam resultar em danos para a saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora”, tendo como penalidades multas e até reclusão, e que portanto veio a auxiliar de modo efetivo, na proteção dos recursos hídricos.

O CNRH aprovou em 8 de maio de 2001 a Resolução nº 16, que trata da outorga tanto no nível Federal como Estadual, que diz que a obtenção da outorga é imprescindível nas seguintes condições:

- implantação de qualquer empreendimento que possa demandar a utilização de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos;
- execução de obras ou serviços que possam alterar o regime, a quantidade e a qualidade desses mesmos recursos;
- execução de obras para a extração de águas subterrâneas;
- derivação de água do seu curso ou depósito, superficial ou subterrâneo;
- lançamento de efluentes nos corpos d’água;

Além destes casos citados acima, o uso da água para geração de energia também exige a obtenção da outorga do direito de uso, fato que se encontra explícito na Resolução nº 16 de 2001 do CNRH.

A concessão da outorga do uso da água, como fora dito anteriormente é de competência da União e pode ser delegada aos Estados ou ao Distrito Federal segundo a Política Nacional de Recursos hídricos. A Lei nº 9984 de 2000, responsável pela criação da ANA, definiu que a responsabilidade pela outorga de direito de uso dos recursos hídricos é da própria ANA.

A outorga consiste em uma autorização (quando as obras ou o uso dos recursos hídricos não forem de utilidade pública, requerendo vazões superiores às definidas

como pequenas captações, possuindo validade de 5 anos), ou concessão (quando obras ou o uso dos recursos hídricos for de utilidade pública, possuindo validade de 20 anos) ou ainda uma permissão (quando o uso dos recursos hídricos não for de utilidade pública e, ao mesmo tempo, requerer pequenas captações, possuindo validade de 3 anos), dada ao usuário, para que ele possa fazer uso da água.

A outorga de uso da água apesar de definitiva “não é imutável”, isto é, existem situações em que esta pode ser suspensa, dentre estas:

- não cumprimento pelo outorgado dos termos da outorga;
- ausência de uso por três anos consecutivos;
- necessidade de água para atender situações de emergência;
- necessidade de prevenir ou reverter grave degradação ambiental;
- necessidade de atender usos prioritários de interesse coletivo, para os quais não se dispõe de fontes alternativas, como por exemplo abastecimento das populações;
- necessidade de serem mantidas características de navegabilidade do corpo d'água.
- no caso de ser instituído o regime de racionamento de recursos hídricos;

Além das situações citadas acima, existem outras em que a outorga pode ser extinta, como por exemplo, no caso de indeferimento ou cassação da licença ambiental, quando houver morte do usuário (pessoa física), no caso de liquidação judicial ou extrajudicial do usuário (pessoa jurídica) e até mesmo ao término do prazo de validade de outorga quando não tenha havido tempestivo pedido de renovação.

Os modelos desenvolvidos para obtenção da outorga, devem considerar critérios qualitativos (parâmetros físico-químicos) e quantitativos e partir do pressuposto que os recursos hídricos são utilizados tanto para extração de água, como para a assimilação e transporte de poluentes simultaneamente. Deste modo, possibilita-se a obtenção do volume de água passível de ser outorgado, com a garantia de que não irá ocorrer a degradação do corpo receptor ao longo da Bacia Hidrográfica.

A cobrança pelo uso da água, materializando o princípio do usuário-pagador, objetiva reconhecer a água como bem econômico e fornecer ao usuário uma indicação de seu real valor. A Lei nº 9433, em seu artigo 21, diz que a fixação dos valores a serem cobrados pelo uso dos recursos hídricos devem ser estabelecidos observando o volume retirado e o regime de variação do corpo receptor, nas extrações derivações e captações de água, além do volume lançado e seu regime de variação bem como as características físico-químicas, biológicas e de toxicidade do afluente.

A bacia do Rio Paraíba do Sul foi pioneira no desenvolvimento de um modelo de cobrança para o uso de recursos hídricos para os setores industrial e de saneamento, que levou em consideração os volumes de água captada, consumida e de efluentes lançados no corpo receptor, e baseou-se na eficiência do processo de tratamento para redução da demanda bioquímica de oxigênio. (HESPANHOL & MIERZWA, 2005)

Como pôde ser observado, apesar de pioneiro, o modelo desenvolvido ainda não atende plenamente o artigo citado anteriormente, isto é, segundo este artigo, a utilização da cobrança de recursos hídricos para a assimilação de poluentes deveria ser elaborada com base nas características físico-químicas, biológica e de toxicidade do afluente e não apenas em sua carga orgânica. A importância da consideração deste aspecto, ocorre principalmente, quando trata-se de efluentes industriais, que podem conter baixa carga orgânica e alta toxicidade devido aos demais contaminantes.

Em 21 de março de 2005, a Resolução nº 48 do CNRH regulamentou a cobrança pelo uso da água em todo o território nacional, que estabeleceu os critérios gerais que norteiam a União, os Estados, o Distrito Federal e os Comitês de Bacia Hidrográfica quando da elaboração das respectivas normas para a cobrança de recursos hídricos.

A cobrança pelo uso da água no estado de São Paulo foi estabelecida pelo Projeto de Lei nº 676, de 2000, e o valor a ser cobrado pelo uso dos recursos hídricos teve como limite o valor de 0,001078 Unidade Fiscal do Estado de São Paulo (UFESP) por metro cúbico de água captada, o que equivale a aproximadamente R\$ 0,13 e o início da cobrança estava previsto para janeiro de 2001, mas isto não aconteceu.

Através destes dados observa-se que há a necessidade da implementação e da execução dos mecanismos atuais, bem como da criação de novas estratégias para o gerenciamento de recursos hídricos que garantam a conservação dos recursos hídricos.

“A outorga e o valor da cobrança pelo direito de uso da água deveriam ser fatores indutores de uso eficiente de recursos hídricos.” Segundo FERNANDEZ (1996) em SANTOS (2000), a experiência internacional tem mostrado que a cobrança pelo uso e poluição da água, além de ser utilizada como forma de racionalizar o uso dos recursos hídricos, atua também como mecanismo eficiente de:

- gerenciamento da demanda, aumentando a produtividade e a eficiência na utilização dos recursos hídricos;
- redistribuição dos custos sociais de forma mais eqüitativa;
- localização dos usuários, buscando a conservação dos recursos hídricos;
- promoção do desenvolvimento regional integrado, principalmente nas suas dimensões social e ambiental;
- incentivo à melhoria dos níveis de qualidade dos efluentes lançados nos mananciais,

Destaca-se que a cobrança não pode ser entendida como sendo uma penalização, mas como um fator educador do uso. Entretanto, há de se presentear os usuários mais eficientes e estabelecer valores que promovam a adoção de tecnologias hidricamente mais eficientes” (ALMEIDA & SANTOS, 2003).

O setor industrial representa o maior potencial poluidor dos corpos d'água, principalmente, devido a diversidade de substâncias poluentes que são lançadas no meio ambiente através de seus efluentes, apesar deste ainda ser o terceiro em consumo de água.

No Brasil, observa-se que o setor industrial, é o segundo maior contribuinte para a formação do fundo de recuperação da bacia, e portanto torna-se o setor com maior capacidade de investimento e potencial de racionalização de uso da água.

O setor industrial em uma situação de estresse hídrico é um dos maiores afetados pelos mecanismos legais indutores da racionalização (outorga e

cobrança), uma vez que o uso da água para abastecimento público e dessedentação de animais é preponderante (ALMEIDA & SANTOS, 2003).

A racionalização do uso de recursos hídricos deve ser, portanto, preocupação do setor industrial e dos órgãos gestores da bacia. Também, sendo este setor o que mais emprega mão de obra e o que mais arrecada impostos, uma redução dos níveis de atividade industrial pode acarretar consequências sócio-econômicas e ações políticas, inicialmente no âmbito da bacia hidrográfica.

A racionalização do uso dos recursos hídricos consiste no prolongamento do tempo de permanência da água na planta industrial. Esta “sobrevida quali-quantitativa da água” promove a redução dos volumes captado e devolvido ao corpo d’água. Como exemplo de ações que contribuem para a racionalização do uso dos recursos hídricos pode-se citar, a implantação de programas visando a conservação do uso da água industrial, que abrangem desde a implantação de medidas visando o uso racional da água, como identificação e redução de perdas e desperdício na planta industrial, até o reuso de efluentes internos a planta industrial.

A importância do reuso de água para o processo de outorga, por exemplo, reside no fato de que, a partir da implantação do reuso direto no processo produtivo, fica o usuário automaticamente dispensado de qualquer autorização por parte do poder público para o próprio reuso da água, uma vez que, sua reutilização não se enquadra em nenhuma das hipóteses legais deste tipo de concessão.

A implantação de um programa de conservação de efluentes industrial objetiva, portanto, a redução da captação e do lançamento de efluentes no corpo hídrico da empresa, e para sua efetivação, deve-se obter um profundo conhecimento dos processos industriais, no que se refere aos processos e os parâmetros quali-quantitativos requeridos do insumo água. Uma excelência gerencial é requerida quando a empresa pretende adotar uma política de racionalização do uso da água, eliminando perdas e compatibilizando quantidade e qualidade ao uso.

O setor industrial deve, portanto, receber atenção especial dos órgãos gestores de recursos hídricos no que concerne ao aprofundamento das relações com vistas a efetivação de parcerias, gestão participativa e descentralizada, principalmente, neste momento com a difusão do conceito de empresa cidadã.

A Resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005, que estabelece critérios gerais para o reuso de água potável, é a primeira lei que trata diretamente da questão do reuso, incentivando, por exemplo, questões referentes a critérios de cobrança diferenciados para usuários que adotem medidas de reuso. Conclui-se, portanto, que mecanismos mais efetivos de incentivo à adoção de medidas de racionalização devem ser introduzidos na gestão de recursos hídricos

2.5 – Principais usos da água na indústria

2.5.1 – Classificação do sistema hídrico industrial

Segundo ALMEIDA & SANTOS (2003), do ponto de vista hídrico, uma planta industrial pode ser dividida em utilidades, processo industrial e setores auxiliares, como ilustrado na Figura 10.

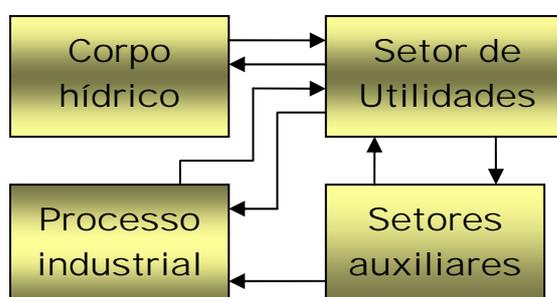


Figura 10 – Fluxo de água em uma planta industrial
Fonte: ALMEIDA & SANTOS (2003)

Os setores auxiliares englobam a administração, almoxarifado, armazéns, expedição, manutenção, combate a incêndio, etc. Estes setores consomem, sobretudo, água potável para higiene e água bruta para o sistema de combate a incêndio. Nas indústrias cuja preocupação com o meio ambiente é mais difundida é muito comum utilizar a água coletada pela rede pluvial da planta industrial para complementar a reserva do sistema de combate de incêndio.

O setor de utilidades é responsável pela captação e tratamento de água, pelo fornecimento dos insumos básicos de produção, notadamente, vapor, potência,

água quente, água gelada, gelo, água bruta e água tratada e pelo tratamento dos efluentes industriais, como apresentado na Figura 11.

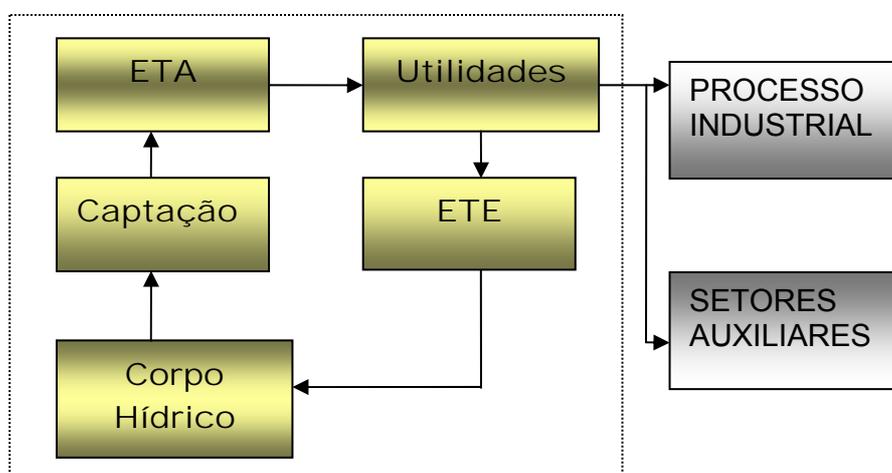


Figura 11 – Setor de utilidades industrial
 FONTE: ALMEIDA & SANTOS (2003)

No processo industrial estão as unidades produtivas, ou seja, aquelas unidades que convertem os insumos em produtos finais ou semi-acabados. Este setor executa a atividade produtiva da indústria.

A estação de tratamento de água fornece basicamente três tipos de água para os setores industriais: água potável; água industrial e água desmineralizada.

A água industrial inclui diversos níveis qualitativos que são definidos pelo processo produtivo. Neste aspecto o processo industrial representa um dos setores que mais podem racionalizar o uso de água, além disso, a adequação qualitativa da água ao seu uso também é um dos pontos que podem reduzir custos e consumo de águas mais nobres. De acordo com sua aplicação e do grau de qualidade requerido para esta, a água pode ser enquadrada em uma das quatro categorias adaptadas da classificação (Tabela 12).

Tabela 12 – Categorias de água de acordo com sua qualidade

Grau de Qualidade	Parâmetros			
	SDT (mg/l) ^a	DQO (mg/l)	SST (mg/l)	Dureza (mg/l) ^b
Tipo I: água ultra pura	<10	<1	0	0
Tipo II: água de processo de alta qualidade	10-60	0-10	0	<30
Tipo III: água tratada	20-60	0-10	0-10	30-75
Tipo IV: água bruta ou reciclada	60-800	10-150	10-100	-

(a) valores baseados nos dados fornecidos pela ANEEL

(b) valores baseados em dados fornecidos pela ANEEL e pela classificação de acordo com a dureza

Fonte: HESPANHOL & MIERZWA (2005)

A classificação da água para aplicações industriais segue características físico-químicas, biológicas e radioativas e varia de acordo com o tipo de aplicação e o tipo de atividade industrial.

2.5.2 – Tipos de uso de água na indústria

“Quanto ao uso da água na indústria, faz-se necessário classificar o uso da água em uso direto e indireto. Por uso direto entende-se aquele que a água está presente no produto final, como, por exemplo, em indústrias de bebidas e refrigerantes. No uso indireto, a água é empregada para aquecimento, resfriamento, diluição, limpeza, ou seja, a água é utilizada e depois retorna para sistema hídrico da indústria ou é perdida para o meio ambiente” (ALMEIDA & SANTOS, 2003).

No âmbito industrial a água pode ter as seguintes aplicações, segundo HESPANHOL & MIERZWA (2005):

- **Consumo humano**

A água utilizada para consumo humano na unidade industrial deve atender os requisitos de potabilidade determinados pela Portaria nº 518 – Norma de qualidade de água para consumo humano de 25/02/2004.

- **Matéria-prima**

A água incorporada ao produto final, como em indústrias farmacêuticas, de bebidas, e do ramo alimentício entre outras, pode apresentar um grau de qualidade variado, sendo que esta não pode ser inferior à qualidade estabelecida para consumo humano e, muitas vezes, requer qualidade superior a esta, com o fim de garantir não apenas a saúde do consumidor, como também de preservar a qualidade do produto.

- **Uso como fluido auxiliar**

Quando utilizada como fluido auxiliar em operações como preparação de soluções e compostos químicos, têm seu grau de qualidade determinado de acordo com características do processo que se destina, geralmente quando apresenta contato como produto final, seu grau torna-se bastante restritivo, caso contrário tende a possuir restrições menores.

- **Uso para a geração de energia**

A água utilizada para geração de energia através da transformação de energia cinética, possui características intrínsecas de sua forma natural e pode ser proveniente de um rio, lago ou outro sistema de abastecimento, sendo monitorada apenas para que materiais de grandes dimensões detritos e substâncias agressivas não danifiquem os equipamentos destinados para tal função como turbinas ou rodas d'água.

A geração de energia elétrica a partir da energia térmica proveniente do aquecimento da água, ou do aquecimento desta através da queima de combustíveis fósseis ou biomassa, requer um grau de qualidade mais restritivo, de modo que, não ocorram problemas nos equipamentos de geração de vapor ou no dispositivo de conversão de energia.

- **Uso como fluido de aquecimento e/ou resfriamento**

No caso da utilização da água na forma de vapor esta requer um alto grau de qualidade, como fluido de resfriamento seu grau de qualidade pode ser menos restritivo, desde que se leve em consideração a proteção dos equipamentos que a água entra em contato.

- **Transporte e assimilação de contaminantes**

A maioria das indústrias utiliza a água para a função de transporte e assimilação de contaminantes, seja em suas instalações sanitárias, na lavagem de equipamentos e ou para a incorporação de subprodutos gerados pelos processos industriais.

A qualidade requerida para cada uma destas funções, dependerá do intuito de utilização da água, podendo ser bastante restritiva dependendo do equipamento que entrar em contato.

Observa-se, portanto que as características físicas, químicas e biológicas da água são específicas para cada tipo de função a que esta se destina.

De acordo como o tipo de indústria, é possível obter requisitos de padrões de qualidade para o uso da água em cada uma de suas atividades, através de dados existentes na literatura, coletados a partir de experiências reais comprovadas *in loco*.

A quantidade de água requerida pelas diversas atividades industriais, é influenciada por vários fatores, como ramo de atividade, capacidade de produção, condições climáticas de cada região, disponibilidade, método de produção, idade da instalação, práticas operacionais e cultura da empresa e da comunidade local.

Constata-se deste modo, que indústrias de um mesmo ramo, podem consumir quantidades de água que variam regularmente, e o consumo global pode ser obtido através de estudos específicos, em documentos disponíveis e na própria indústria.

Na maioria dos casos o consumo de água nestas indústrias está associado aos processos de resfriamento, chegando muitas vezes a representar cerca de 70% de todo o volume de água consumido.

Este fato não serve como regra geral, e sim para aquelas indústrias que demandam grande quantidade de energia na forma de calor para obtenção de seu produto final, por este motivo ocorre a existência de um grande montante de água para resfriamento.

2.6 – Conservação do uso da água na indústria

“A conservação de água, pode ser definida como as práticas, técnicas e tecnologias que propiciam a melhoria da eficiência do seu uso. Conservar água significa atuar de maneira sistêmica na demanda e na oferta de água. Ampliar a eficiência do uso da água representa, de forma direta, aumento da disponibilidade

para os demais usuários, flexibilizando os suprimentos existentes para outros fins, bem como ao crescimento populacional, à implantação de novas indústrias e à preservação e conservação do meio ambiente” (FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP), 2004). Assim sendo, as iniciativas de racionalização do uso e de reuso de água se constituem em elementos fundamentais em qualquer iniciativa de conservação.

O desenvolvimento efetivo de um Programa de Conservação e Reuso de Água exige que sejam considerados os aspectos legais, institucionais, técnicos e econômicos, relativos ao consumo de água e lançamento de efluentes, às técnicas de tratamento disponíveis e ao potencial de reuso dos efluentes, além do aproveitamento de fontes alternativas de abastecimento de água. (FIESP, 2004)

Um estudo que objetiva a implantação de um Programa para reuso de Água industrial deve possuir uma metodologia que contemple a realização do diagnóstico hídrico, o estabelecimento de medidas de racionalização do uso da água (eliminação de perdas e desperdícios) e implementação do reuso de água.

Deve-se observar que para implantação de um Programa de conservação de água na indústria alguns conceitos devem estar bem claros principalmente no que diz respeito à diferença entre perdas, desperdício e as formas existentes de reuso.

Os conceitos de perdas e desperdício podem ser definidos da seguinte forma:

- desperdício – utilização da água em quantidade superior a necessária para o desempenho adequado da atividade consumidora;
- perdas – identifica-se dois tipos de perdas: perdas voluntárias, inerentes ao processo, como por exemplo, purgas de torres de resfriamento ou do sistema de ar condicionado; e perdas involuntárias, que representam a ineficiência do processo e cuja causa deve ser identificada. Esta última perda, por sua vez, pode ser classificada de duas formas: perdas físicas facilmente detectáveis, água que escapa do sistema antes de ser utilizada para uma atividade afim, perceptíveis a olho nu, caracterizadas por escoamento ou gotejamento de água; ou perdas físicas dificilmente detectáveis, aquelas que podem ser constatadas somente através de indícios como manchas de umidade em paredes, pisos, sons de escoamento de água, sistemas de recalque continuamente ligados, constante saída de reservatórios, etc.

“A literatura é bastante rica quanto à terminologia do reuso de água, e em contraposição existe a discrepância entre vários autores, o que dificulta o entendimento desta prática”. (MANCUSO, 2003)

De maneira geral, segundo MANCUSO (2003), o reuso de água pode ocorrer de forma direta ou indireta. Entre as primeiras definições de reuso pode-se citar a definição dada pela Organização Mundial da Saúde (OMS) que classificava três formas de reuso:

- reuso indireto :o caso em que a água utilizada previamente para fins domésticos ou industriais era descartada no corpo receptor e captada novamente para ser reutilizada da forma diluída;
- reuso direto: como o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquíferos e água potável;
- reciclagem interna: reuso da água internamente a instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição;

Outra definição bastante comum referente aos tipos de reuso é a seguinte:

- reuso indireto não planejado da água: a água utilizada nas atividades humanas é descarregada no meio ambiente e reutilizada, a jusante, de forma diluída, de maneira não intencional e não controlada. Estando sujeita a diluição e depuração até atingir o ponto de captação.
- reuso indireto planejado da água: neste caso, os efluentes, depois de tratados, são descarregados de forma planejada nos corpos de águas superficiais ou subterrâneas, para serem utilizados a jusante, de maneira controlada, no atendimento de algum uso benéfico.
- reuso direto planejado da água: os efluentes, após tratamento, são jogados diretamente no local de reuso, não sendo descarregados no meio ambiente. É o caso de maior ocorrência, destinando-se a indústria ou a irrigação;
- reciclagem da água: é uma das maiores aplicações da forma de reuso interno da água. Antes mesmo de sua descarga em um sistema geral de tratamento ou em outro local de disposição, este, porém é um caso de reuso direto planejado da água.

Nota-se, portanto que existe uma diversidade de definições sobre reuso, dada por diferentes autores, dentre estes, pode-se citar: WESTERHOFF (1984), MONTGOMERY (1985), LAVRADOR FILHO (1987), REBHUN & ENGEL (1988), ASANO & MILLS (1990), ASANO & LEVINE (1995), HESPANHOL (1990 e 1997), MANCUSO (2003) etc.

Muitos destes autores apresentam e discutem de uma forma abrangente, as principais categorias de reuso de água e os elementos essenciais ao planejamento e implantação.

Segundo MANCUSO (2003), o reuso para fins industriais pode ser implantado tanto no âmbito interno, como no externo das indústrias. Este autor, classifica estas duas formas de reuso em: reuso macroexterno e reuso macrointerno.

Segundo este autor, o reuso macroexterno pode ser efetuado por companhias municipais ou estaduais de saneamento que fornecem esgotos tratados como água de utilidade para um conjunto de indústrias. Para tanto, o sistema de tratamento adicional, necessário para atender novos padrões de qualidade, mais os de adução e distribuição de efluentes, deve ser técnico e financeiramente viabilizado.

Na maioria dos casos a viabilidade para a implantação deste tipo de reuso, ocorre quando várias indústrias concentradas em uma região em comum, aderem à utilização do programa de reuso.

Segundo HESPANHOL (2003) apud COSTA & BARROS JÚNIOR (2005)*, em algumas áreas da região metropolitana de São Paulo, os efluentes de esgotos vêm sendo tratados objetivando uso não potável para indústrias. O custo da água posta à disposição, ainda em 2003, estava em torno de R\$ 8,00/m³, enquanto que a água de utilidades apresentava um custo de R\$ 4,00/m³. O custo geralmente varia de acordo com o tratamento aplicado e os fatores relativos ao sistema de distribuição.

Na região metropolitana de São Paulo existe um potencial para uso de efluentes das estações de tratamento de esgotos em indústrias. A estação de tratamento de esgoto de Barueri poderia abastecer, com efluentes tratados, uma área industrial relativamente importante, distribuída em Barueri, Carapicuíba, Osasco e ao longo do Rio do Cotia. Da mesma maneira, Suzano poderia abastecer indústrias concentradas na região de Poá, Suzano e, eventualmente, de Itaquaquecetuba e Mogi das Cruzes. (HESPANHOL apud MANCUSO, 2003)

Este tipo de reuso, indicado principalmente para regiões onde a demanda de água de boa qualidade é inferior aos recursos disponíveis, foi aplicado em indústrias do ramo de papel e celulose na África do Sul, na Indústria de Papel e Celulose Sul Africana Pulp Ltda, em moinhos do Ensdra, perto da Cidade de Primavera (HART (1987) apud COSTA & BARROS JÚNIOR (2005)*), porém neste

* COSTA, D. M. A.; BARROS JÚNIOR, A. C. (2005). *Avaliação da necessidade do reuso em águas residuais*. CEFET-RN, Holos, Ano 21, p.100-95, set. <http://www.cefetrn.br/dpeq/holos/anterior/200509/pdf/081-101.pdf>

caso o efluente industrial foi tratado como objetivo de ajudar na oferta de água naquela região. A eficiência do processo adotado conferiu qualidades tão boas para as água tratadas, que passou a ser adotado, como modelo, para todas as fábricas de papel do país.

Observa-se, portanto que o reuso macroexterno, não foi concebido unicamente para o atendimento da demanda industrial, desde que obtenha-se um água de alta qualidade, este sistema de reuso pode atender uma gama de usos urbanos não potáveis.

O reuso macrointerno, realizado internamente às indústrias foi motivado principalmente pelo alto custo da água industrial, particularmente em áreas metropolitanas, estressadas hidricamente, que necessitam de estratégias que minimizem tanto a o consumo de água, como a geração de efluentes.

A tendência do aumento das restrições legislativas, associadas principalmente, aos instrumentos de outorga e cobrança dos recursos hídricos tanto no âmbito da tomada de água como no despejo de efluentes, também é outro fator indutor a racionalização do uso da água na indústria e adoção do reuso macrointerno.

Deve-se ressaltar que a opção pela adoção tanto desta, como de qualquer forma de reuso deve ser avaliada após a aplicação de medidas de otimização do uso da água, pelo fato que estas podem afetar significativamente os efluentes gerados.

A indústria apresenta diversas áreas passíveis da aplicação de reuso, dentre estas:

- refrigeração;
- alimentação de caldeiras;
- água de processo;
- lavagem de pisos e peças;
- irrigação de áreas verdes ;
- construção pesada;

No caso do reuso macrointerno é preciso ter consciência que ele não substitui integralmente a necessidade de água de uma planta industrial, pois existem limitações de ordem técnica, operacional e ambiental que restringem a utilização de sistemas de circuito fechado.

O reuso macrointerno pode ser realizado de duas maneiras, da forma direta (sem tratamento prévio) e da forma indireta (após tratamento).

Utiliza-se o reuso direto, no caso da existência de efluentes gerados em determinados processos industriais, com características compatíveis à entrada de outros processos, este tipo de reuso é denominado também de reuso em cascata.

O tratamento da água industrial, é capaz de produzir água com características físico-químicas e biológicas iguais ou superiores as da água para abastecimento, portanto nota-se que a possibilidade de implantação do reuso pós-tratamento é bastante ampla.

Além destas duas formas de reuso ainda deve-se citar a aplicação do reciclo do efluente, que ocorre quando um efluente gerado em um processo, através de pequenas adequações qualitativas pode ser utilizado para circulação no próprio processo. Um exemplo de aplicação desta prática refere-se à recirculação em sistemas de resfriamento.

O reuso direto, pode ocorrer de duas formas distintas:

- reuso com diluição: utilizado para adequar as características do efluente, aos requisitos de qualidade exigidos para a aplicação na qual pretende-se aplicar o reuso. Pode ser realizado através da mistura de um efluente de melhor qualidade com outro de qualidade inferior ou através da mistura deste último com água de alimentação;
- reuso de apenas uma parcela do efluente: utilizado quando a concentração do contaminante varia com o tempo, ou seja, diminui no transcorrer do processo. Essa situação é comum em operações de lavagem de equipamentos, em que ocorre a alimentação de água e descarte do efluente de forma contínua.

Observa-se, portanto, que existem quatro maneiras de promover a redução do consumo de água e da geração de efluentes: mudanças nos processos; reuso direto, reciclo (pós-tratamento), reuso (indireto) pós-tratamento, de acordo com os seguintes autores: SMITH & PETELA (1994), WANG & SMITH (1994), ROSSITER (1995) e MANN & LIU (1999).

Dentre os exemplos de estratégias de mudanças individuais de processos e de suas utilidades para reduzir a demanda de água na planta industrial, pode-se citar: a mudança da forma tradicional de resfriamento utilizando água para o resfriamento por ar, melhorando o controle da purga de caldeira e de torres de resfriamento, e aumentando o número de estágios nas unidades de extração que empreguem água como seu extrator.

Qualquer que seja a forma de reuso utilizada, deve-se atentar para o fato de que é fundamental o acompanhamento do desempenho da atividade que utiliza

água de reuso (através da utilização de sistemas de monitoramento), de maneira a consolidar ou efetuar ajustes no processo e garantir o sucesso do programa. Para todos os casos recomenda-se a realização de ensaios de bancada e piloto, antes da implantação de toda a infra-estrutura e de um estudo de viabilidade técnica.

No desenvolvimento de soluções de prevenção da poluição para uma dada situação industrial, no caso da minimização do uso da água e geração de efluentes, por exemplo, depara-se com diversas decisões de planejamento, que por sua vez, requerem escolhas de um vasto número de opções.

ROSSITER (1995) e EL-HALWAGI (1997) afirmaram que em muitos casos existem muitas alternativas a considerar, tornando-se necessário desenvolver uma aproximação sistemática do problema ambiental numa perspectiva holística, neste contexto a integração de processos fornece uma ferramenta única que reconhece a unidade de todo o processo.

Segundo PESSOA & QUEIROZ (2005), para a identificação das oportunidades de reuso de água para a planta industrial como um todo, portanto, é possível utilizar metodologias que visam a integração de processos, cuja formulação inclui regras heurísticas, conceitos termodinâmicos e métodos de otimização matemática, com o intuito de atingir o ótimo global, no que diz respeito à minimização de efluentes aquosos.

Segundo ROSSITER (1995), EL-HALWAGI (1997) e FERREIRA & VIDIGUEIRA (2005), existem três componentes chaves na compreensão da metodologia de integração de processos:

- síntese do processo: devido ao vasto número de alternativas do processo é importante que as técnicas de síntese sejam capazes de “extrair” a(s) solução(ões) ótimas;
- análise do processo: as características intrínsecas do processo são diagnosticadas, através de técnicas de análise que podem incluir modelos matemáticos, correlações empíricas ou ferramentas de simulação do processo auxiliadas por computador.
- otimização do processo: que realiza a interação entre síntese e análise.

A integração de massa é um exemplo, de metodologia sistemática que permite um entendimento fundamental do fluxo global de massa dos processos internos a indústria, e aplica este entendimento holístico para a identificação de cenários e otimização, observando os parâmetros ao longo do processo, segundo,

EL-HALWAGI (1997). Uma das áreas de atuação dos procedimentos de integração de massa é na minimização de efluentes.

De acordo com PESSOA & QUEIROZ (2005), as metodologias utilizadas na proposta de minimização de efluentes podem ser divididos em três linhas em função da ferramenta utilizada:

- sistemas especialistas: termo utilizado para descrever os métodos de síntese e de integração de processos construídos com base no conhecimento acumulado de idéias já provadas. Neste conjunto, inclui-se os métodos heurísticos, onde a seqüência lógica da evolução do fluxograma, segue regras geradas com base em experiências prévias. Muitas vezes essas regras permitem a identificação e a avaliação de opções de minimização de rejeitos.
- procedimentos algoritmos: nesta linha pode-se incluir a tecnologia pinch que é uma técnica de análise sistemática do comportamento de correntes de processos industriais baseados em fundamentos da termodinâmica. Esta técnica, além de ser amplamente utilizada para definir possíveis mudanças no processo para a redução do consumo de energia, é aplicada também para indicar opções para a redução do consumo de água de processos em plantas industriais através de seu reuso ou reciclo.
- programação matemática: existe uma grande variedade de abordagens de otimização numérica, que inclui desde a simulação de processos com modelos matemáticos simples até sofisticados métodos de programação matemática.

Os trabalhos em cada uma destas linhas metodológicas, podem ser divididos ainda, em duas abordagens:

- análise de redes de transferência de massa: que utilizam conceitos de força motriz e envolvem processos como absorção, dissorção, troca iônica, adsorção, extração líquido- líquido, lixiviação e stripping;
- análise de redes de equipamentos que utilizam a água, os quais também englobam operações que utilizam água que não podem ser consideradas como operação de transferência de massa, tais como as operações de lavagem.

Nota-se, portanto que, diferentes linhas metodológicas vêm sendo desenvolvidas, utilizadas e aprimoradas para a minimização do uso da água e da geração de efluentes.

A metodologia de pinch, possui ampla aplicação em indústrias do ramo químico, têxtil, petroquímico e de papel e celulose (salvo casos de processos de misturas e separações que tem impedido sua aplicação).

A aplicação deste tipo de análise permitiu, avanços consideráveis, no que diz respeito à melhora da eficiência de processos que utilizam a água e entre os autores pioneiros, nesta área destaca-se EL-HALWAGI (1989) apud CASALPRIM (2005)*

Esta metodologia, no entanto, apresenta certas limitações, para sua aplicação quando considera-se mais de um contaminante, por este motivo, esta metodologia, vêm sendo aprimorada e outras têm sido desenvolvidas com o intuito de resolver este tipo de problema. (DOYLE & SMITH, 1997)

Segundo DOYLE & SMITH (1997); SMITH (2000); MARECHAL & KALITVENTZEFF (2003) apud CASALPRIM (2005)*, uma gama importante de técnicas alternativas, baseadas na otimização de superestruturas, e utilizando programação matemática, têm sido desenvolvidas e aplicadas.

As técnicas baseadas em programação e cálculos matemáticos são variadas e o êxito em sua utilização depende em grande parte do tipo de problema a ser resolvido, do planejamento e dos objetivos a atingir. As formas mais utilizadas para otimização de processo nesta linha são: programação matemática linear e programação matemática não linear, aliadas a algoritmos computacionais.

Dentre outras técnicas utilizadas para a resolução de problemas nesta área, está a utilização de algoritmos genéticos, e dentre os pioneiros pode-se citar GUARRARD & FRAGA (1998). A utilização de métodos computacionais, aliados ao uso de algoritmos genéticos, é um exemplo interessante, de técnica de integração de processos utilizadas para a minimização do consumo de água e da geração de efluentes, em indústrias do ramo químico.

A aplicação de técnicas para integração de processos na indústria de papel e celulose é bastante vasta, de acordo com BÉDARD et al. (2001). Devido às características dos processos de fabricação de papel e celulose, bem como a suas restrições econômicas e ambientais, a indústria de papel, vêm a ser um setor claramente propício a aplicação de técnicas de integração de processos.

A indústria de papel vem sendo pressionada, principalmente nestes últimos anos para que reduza tanto o consumo de água, como também a geração de

* CASALPRIM, X. T. (2005). *Aplicació D'Algoritmes genètics on L'Optimització dels Processos de Fabricació de Paper*. Girona. 247 p. Tesi (Doctoral). Universitat de Girona.

efluentes em seu processo produtivo. Esta situação provoca a necessidade de recuperação e economia de água, realizada apenas através de melhorias na gestão interna da água utilizada na planta industrial. Daí surge então o termo “fechamento de circuitos”, que por sua vez, envolve conceitos de recuperação de água e redução de efluentes, mediante mudanças internas no processo que permitem o aproveitamento da água, utilizada previamente em outros processos.

A indústria de papel, desde os primórdios de sua existência, é considerada uma consumidora intensiva de água. No princípio, um alto consumo de água industrial não representava um problema, porém através de um mapeamento dos problemas referentes à produção de papel, este problema vem a aparecer. Com o aumento da sensibilidade ambiental, no século XX, questões relativas ao uso racional da água, principalmente no âmbito industrial, começam a apresentar relevância considerável. A partir deste momento ferramentas para a integração de processos, possuem um vasto campo para desenvolvimento e aplicação, principalmente em indústrias consideradas hidro-intensivas.

A resolução de problemas referentes à conservação da água na indústria, com intuito de promover a minimização do uso da água e a geração de efluente, pode ser realizada através da experiência e de conhecimentos de profissionais que atuam diretamente nos processos envolvidos, aliados ao desenvolvimento de algoritmos para coleta de dados, da aplicação de metodologias para sua compilação, e da criação de softwares para simulação que busquem a melhor solução.

O conhecimento e as experiências dos processos envolvidos é extremamente importante, para a criação de softwares computacionais, responsáveis pela integração de processos.

3 – Uso da água na indústria de papel e celulose

A indústria de papel, é considerada uma indústria hidroatensiva, devido a seu alto consumo de água, que conseqüentemente provoca uma grande geração de efluentes. Na verdade a geração de efluentes é proporcional ao consumo de água, dado que a água consumida não é incorporada ao produto da empresa, ou seja o papel.

A manufatura do papel é uma ciência complexa e multidisciplinar principalmente devido à variedade de papéis produzidos, às diferentes matérias primas e aos diferentes processos de produção de papel. Além disso, diferentes fibras químicas, água e energia são necessárias para produção de papel.

O uso de água fresca (bruta ou pré- tratada) reduziu-se significativamente durante as últimas décadas, por diferentes razões, dentre estas: limitação da disponibilidade de água fresca, incremento do custo de tratamento de efluentes e devido a razões de marketing ambiental da empresa.

A diminuição do consumo de água na indústria de papel e celulose, têm sido possível, principalmente devido à substituição do uso de água fresca, por água de reuso (ALEXANDERSSON, 2003).

Este capítulo abordará o uso da água na indústria de papel e celulose, os principais despejos gerados durante a fabricação de papel, bem como o detalhamento das diferentes etapas de produção. Além disso, discutirá sobre a conservação de água na indústria de papel e sobre os requisitos gerais para o uso da água e restrições qualitativas, mediante a apresentação de práticas de reuso de água, implementadas na indústria de papel e celulose.

3.1 – Despejos industriais nas várias etapas de fabricação de papel

Segundo BRAILE & CAVALCANTI (1993), os despejos industriais são gerados em duas etapas, isto é, no preparo da polpa e celulose (APÊNDICE I) e na fabricação de papel.

Na fabricação do papel, uma quantidade substancial de pequenas fibras é carregada, através de telas (peneiras) da fabricação, pela água usada no processamento. É inevitável que pequena parte dessa fibra se perca no efluente. Com o material fibroso são perdidos também, materiais de carga, caolim, cola e outros componentes do papel.

A água proveniente da máquina de papel é chamada água branca devido à coloração produzida por sólidos em suspensão.

O carregamento das fibras e do material de carga constitui não apenas um desperdício, mas também, fator de poluição dos cursos d'água, transmitindo cor e turbidez e as fibras orgânicas aumentam a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) dos cursos d'água. A recuperação desse material é prática padrão, sendo normalmente feita por meio de tanques de sedimentação ou flotação (recuperadores de massa). Os sólidos são concentrados por um espessador de lodo no recuperador de massa e recambiados para primeira etapa de fabricação.

A água é reaproveitada, pois a matéria-prima nela contida é de custo elevado e atualmente, as empresas têm feito esforços no sentido da recuperação de água também visando recircular ao máximo, minimizando o efluente produzido e o consumo de água industrial. A tabela 13 contém exemplos de despejos industriais e de sua reutilização visando principalmente a recuperação de matéria-prima.

As fontes principais de despejos e as respectivas vazões, numa indústria típica que produz 350 t/dia de celulose kraft, estão relacionadas na Tabela 13.

Tabela 13 – Exemplo das origens e vazões dos despejos para produzir 350t/dia de celulose

Origens dos despejos	Vazão (m³/d)
Picador	600
Digestores	-
Filtros de lavagens	-
Depuradores	350
Filtro (engrossador)	-
Alvejamento	19.550
Máquina de Papel	2.000
Máquina de celulose	1.700
Caustificação	400
Evaporadores	3.300
Caldeiras de recuperação	800
Compressores	150
Diversos	3800
Total	32.650

Fonte: BRAILE & CAVALCANTI (1993).

Em relação à recirculação e redução de despejos, BRAILE & CAVALCANTI, (1993) afirma que: “considerando-se toda a água utilizada nas fábricas de celulose e papel, a quantidade de água residuária gerada seria muito grande se não houvesse reutilização. Há dados que indicam que a reutilização da água varia de 260 a 320 por cento do consumo efetivo, no caso de fabricas integradas, kraft ou sulfito”.

Segundo este autor, os setores em que podem ser obtidas reduções significativas estão relacionados na tabela a seguir (Tabela 14).

Tabela 14 – Reduções dos despejos no processamento

Processo	Redução de carga residuária (%)	Reduções das quantidades de águas residuárias (%)
Preparação de madeira: - Reutilização da água - Toras longas	80-90 95	70 85
Processo de obtenção de celulose: - Reutilização da água - Recuperação do licor	30 60-90	30 60-90
Peneiração de celulose: - Reutilização de água	20-60	20-60
Lavagem e concentração: - Usos de filtros a vácuo - Filtros a vácuo de múltiplo estágio em contra-corrente	20-60 60-90	20-60 60-90
Alveamento: - Reutilização da água e recirculação em operação de múltiplos estágios	30-80	-
Máquina de Papel: - Recuperação de fibras e reutilização das água brancas	20-70	60-80

Fonte: BRAILE & CAVALCANTI (1993)

A Tabela 15 fornece os setores em que as águas residuárias podem ser recuperadas.

Em resumo, os principais despejos passíveis de reutilização, são oriundos da seguintes fontes: (BRAILE & CAVALCANTI,1993)

- águas de refrigeração.
- águas dos filtros lavadores a vácuo.
- águas do engrossador de massa.
- água branca da máquina de papel
- filtrado dos lavadores da seção de alveamento
- água de lavagem das peneiras grosseiras

- condensados evaporados do setor de recuperação de lixívia.
- água dos canais de toras e dos descascadores.

Tabela 15 – Fonte dos despejos e setores de sua reutilização

Fonte	Reutilização
Digestão, lavagem e peneiração: - Condensados dos recuperadores de calor do “blow-tank”. - Drenagem no separador de terebentina. Água do engrossador. - Condensados em geral. - Condensado da água de refrigeração	Lavagens da celulose como água dos chuveiros, dissolução do fundido, diluição, destintamento, pátio de madeira. Água dos chuveiros do sistema de lama de cal, água de diluição antes das peneiras e limpeza. Diluição da celulose
Água branca da máquina de papel	Máquina de papel, preparação da massa, alvejamento, lavagem da celulose e preparação da madeira
Condensados dos evaporadores	Lavagens da celulose, lavagem dos detritos existentes no licor-verde, filtração de lodo, lavagem em contra corrente do filtro do licor-branco, destintamento, lagoa de água quente de descascamento, lavagem de gás dos moedores (“grinders”) da caldeira de recuperação, decortificador, chuveiros.
Caldeira de recuperação: - Lavagem dos gases antes da precipitação eletrostática. - Caustificação e forno de cal. - Água de lavagem dos gases do forno de cal. - Efluente do decantador da lama de cal	Reciclagem ou lavagens de detritos ou lavagens de lama de cal. Reciclagem. Reciclagem para o lavador de gás do forno de cal
Branqueamento: - Lavagem do filtrado. - Excesso de água do lavador do selo hidráulico. - Água de refrigeração. - Licor exaurido de dióxido de cloro	Diluição de massa, diluição dos selos hidráulicos, água de diluição para as torres de branqueamento, substituição da torta salina, acidulação dos sabões de “tall oil”.
Água de refrigeração da casa de força	Água de processo.
Outras águas de refrigeração	Água de processo

Fonte: BRAILE & CAVALCANTI (1993)

Dentre os principais problemas decorrentes da reutilização dos despejos, pode-se citar (BRAILE & CAVALCANTI, 1993):

- aparecimento de lodo, que dificulta a drenagem, causa perda na produção, entope equipamentos e suja o papel.
- aumento de acidez, resultando em problemas de corrosão, coloração, diminuição da resistência do papel e seu envelhecimento precoce.
- formação de sólidos dissolvidos, causando formação de espuma.
- deposição de piche e/ou cola da massa na linha d'água, nas telas, nos rolos e nos feltros.
- o amido das quebras que contribuem para a formação de lodo e espuma, interfere com a tela de retenção e prejudica a operação dos recuperadores de massa.
- aparecimento de partículas coloidais prejudicando a drenagem e as características da folha.
- aumento de temperatura que pode ou não ser benéfico, dependendo da fase do processamento.

Os sistemas de coleta de efluentes na indústria de celulose kraft são variáveis, dependendo do sistema adotado na indústria. Para reaproveitamento de efluentes, é aconselhável que os mesmos sejam separados, e estes podem ser coletados em 5 subsistemas:

- despejos com baixa concentração de sólidos em suspensão;
- despejos com alta concentração de sólidos em suspensão;
- despejos concentrados;
- esgotos domésticos;
- águas pluviais e águas de refrigeração.

Os despejos com baixa concentração de sólidos em suspensão originam-se dos efluentes do branqueamento e dos condensados dos evaporadores e, geralmente, não necessitam de decantação.

Os despejos com alta concentração de sólidos em suspensão são provenientes dos engrossadores, máquina de papel e do pátio de madeira. O tratamento recomendado consta na passagem por grades de barras, peneiras e decantador.

Os despejos concentrados, coletados nos drenos dos pisos, são provenientes de derrames e dos condensadores concentrados. Algumas indústrias possuem bacias ou tanques de armazenagem para estes despejos, permitindo sua medição

e seu escoamento para as estações de tratamento de esgotos em taxas controladas, a fim de evitar cargas de choque.

As águas pluviais não contaminadas, não necessitam de tratamento e as águas de refrigeração precisam, apenas de torres de resfriamento (BRAILE & CAVALCANTI, 1993).

3.2 – Fabricação de papel

As máquinas de papel modernas, descendentes da inventada por Robert em 1799, são constituídas de várias seções independentes, cada qual com sua função e características próprias. Quase todas as seções da máquina de papel podem ser reformadas e melhoradas, com a exceção da largura que é fixa. Em geral as partes da máquina de papel de fabricação contínua de papel são:

- seção de formação;
- seção de prensagem;
- seção de secagem;
- seção de enrolamento ou corte;
- seção de transmissão de movimento;
- poços e fundações;
- seção de aplicações e tratamento da superfície.

Atualmente, devido à crise de energia, esforços estão sendo concentrados no desaguamento. A remoção da água começa por gravidade, segue por meio de sucção e prensagem e termina por evaporação.

Basicamente, existem dois tipos de seção de formação: a mesa plana ou Fourdrinier e a forma redonda ou tambor rotativo.

Com a evolução da tecnologia surgiram outros tipos de formadoras, cujo funcionamento baseia-se na mesa plana. As mais conhecidas são: Verti-forma, Twinter-former, Sym-former, Speed-former, Arco-fôrma, Duo-Former e Inver-forma (PIRES & KUAN, 1988).

3.2.1 – Processo de formação da folha

A folha de papel é feita pela deposição de fibras de uma suspensão aquosa, com consistência variando de 0,3 a 1,5% sobre a tela da máquina. Até 98,3% da

água pode ser removida por drenagem na tela. As próprias fibras, depositando-se na tela, dificultam a drenagem da água, sendo que pequena parte dela, geralmente os finos, passa pela tela. Existem, no entanto, técnicas para recuperar estas fibras e retorná-las ao processo.

Segundo PIRES & KUAN (1988), é fundamental o conhecimento das propriedades da suspensão de fibras para um perfeito controle da formação da folha. Em qualquer sistema de formação, o principal requisito é o de produzir uma folha que possua distribuição uniforme de fibras, para isso as fibras devem estar relativamente livres para que se disponham uniformemente na tela e deve-se trabalhar com uma consistência próxima a da crítica.

Na prática, isso exige manipulação de grande quantidade de água e causa um custo elevado para a drenagem subsequente. Deve-se, então, procurar trabalhar com uma consistência que se situa em um ponto ótimo entre a qualidade e o custo.

As tarefas básicas a serem realizadas pela seção de formação de uma máquina de papel são as seguintes:

- diluir a massa até uma consistência suficientemente baixa que permita um alto grau de uniformidade na dispersão de fibras. A água de diluição pode ser fresca, porém, é comum o uso da água reciclada da própria seção de formação ou das águas brancas recuperadas ao longo de toda a máquina.
- distribuir a suspensão diluída em fibras na seção de formação, mantendo-as dispersas de forma homogênea.
- depositar individualmente e de maneira uniforme, as fibras sobre a tela, ao mesmo tempo em que se inicia a drenagem da água pela tela.
- compactar o material fibroso enquanto em estado plástico, afim de se obter um contato íntimo com as fibras.
- remover, por meio de sucção, o máximo possível de água das fibras, antes que a folha formada seja transferida para a seção da prensagem.

3.2.2 – Sistema de circulação de massa e de água branca nas máquinas Fourdrinier

A massa composta de fibras refinadas, cargas e aditivos é colocada em um tanque de mistura para ser homogeneizada. Neste tanque, a massa, cuja consistência pode variar de 2 a 4%, é bombeada para um tanque pulmão. Com consistência controlada, a massa passa por uma válvula que regula a alimentação

da máquina. Com uma velocidade constante da tela, a vazão regula, por sua vez a gramatura da folha.

Durante a fabricação do papel, um controle rigoroso da refinação e da consistência é essencial para que se consiga um regime estável em uma máquina Fourdrinier.

Do tanque pulmão, a massa vai até a bomba, e de lá à caixa de entrada. Antes da bomba, a massa é diluída até a consistência desejada, com, água branca provenientes da drenagem de tela e ou do restante da máquina.

Em geral a massa diluída passa por uma série de depuradores para a retirada de detritos finos. Este sistema de depuração compreende, geralmente três ou quatro estágios. A massa depurada é enviada a caixa de entrada, enquanto o rejeito é mandado a um conjunto de depuradores secundário. O aceite do conjunto secundário é misturado com a massa do conjunto primário e seu rejeito vai para um conjunto terciário. O rejeito deste terceiro conjunto é descartado, enquanto o seu aceite é enviado ao primeiro estágio.

Normalmente, após os depuradores centrífugos, a pasta passa por peneira ranhuradas ou perfuradas, que podem ser ou não pressurizadas.

Um sistema de diluição que utiliza uma bomba principal e uma auxiliar é usado quando a massa é tratada em depurador centrífugo, antes de sofrer a diluição final na entrada da bomba secundária. O arranjo permite um fluxo constante de massa ao depurador, independentemente da massa que é enviada à caixa de entrada.

Os circuitos de massa e de água branca, devem ser observados, no que diz respeito à quantidade de ar que entra neste circuito, que por sua vez é responsável pela formação de espuma.

Nas máquinas modernas, o problema do ar e de formação de espuma tem sido contornado, em parte por um desaerador, que é um tanque horizontal que trabalha sobre o vácuo. A massa diluída é borrifada dentro do tanque após o depurador.

Essa agitação vigorosa na presença de vácuo permite a eliminação de grande parte do ar, contribuindo para uma operação mais estável da máquina de papel.

Quando a massa é lançada na tela da máquina, a água de drenagem (água branca) é, geralmente, colhida em bandejas colocadas abaixo da tela. Após a coleta, a água passa por equipamentos de recuperação de fibras, sendo utilizado para a diluição da massa. A água proveniente das caixas de sucção é coletada em recipiente diferente da água da tela, e utilizada, em geral para a lavagem desta.

Uma maior proporção de água branca volta a ser permanentemente utilizada, o que diminui a poluição hídrica, e possibilita uma recuperação de materiais fibrosos e de produtos químicos.

Através do desenvolvimento de chuveiros com desenho especial, é possível recuperar uma parte da água branca não aproveitada, juntamente com as águas da caixa de sucção, na lavagem de tela e dos feltros.

O sistema de coleta de água branca estende-se desde o rolo cabeceira até o rolo de sucção. A água branca é proveniente das seguintes fontes:

- água das bandejas: é recolhida pelas bandejas, que se encontram abaixo da tela, após o rolo cabeceira. Esta água é removida da tela pelos roletes e ou hidrofoils, sendo também chamada de água rica, devido a grande concentração de produtos químicos. Segue para um reservatório e deve voltar a circular o maior número de vezes possível, dentro do próprio circuito de massa.
- água das caixas planas de sucção: é captada por meio de vácuo. Contém menor quantidade de sólidos que a água das bandejas, pois a própria camada de fibras, neste ponto da tela, impede uma maior perda de sólidos.
- água do rolo de sucção: constitui um volume relativamente pequeno, com baixo teor de sólidos e é utilizada nos chuveiros de lavagem.
- refilos úmidos: possuem a mesma consistência e características da folha da mesa plana. Dependendo do projeto, os refilos podem ser reconduzidos ao sistema de água branca através do reservatório, tanque da máquina ou tanque do rolo de sucção.

3.2.3 – Fechamento do sistema de águas brancas

A solução ideal, inicialmente, parecia ser fechar o sistema inteiro de água branca, onde a maior parte do material fibroso é composto de finos.

Razões práticas levaram a conclusão que o sistema nunca deve ser completamente fechado; na falta de entrada de certa quantidade de água branca, surgem problemas de resina e de lodo, porque um sistema completamente fechado constitui um ambiente ideal de proliferação para bactérias de lodo.

O lodo, depositado em encanamentos, tanques ou outras partes do circuito pode soltar-se e penetrar na massa, formando no papel furos e outros defeitos inaceitáveis. Uma forte cloração no circuito pode resolver o problema, porém provoca corrosão devido à formação de ácido clorídrico.

3.2.4 – Recuperação de fibras

Em uma máquina de papel, a quantidade de fibras que passa pela tela situa-se em torno de 5% do total. Portanto sem recuperação, uma fábrica que produzisse 200 t/dia perderia cerca de 10 t/dia de material fibroso. A função de um recuperador é tratar a água e limpá-la, a tal ponto que possa ser usada de novo, e fazer com que o máximo possível de fibras e cargas insolúveis seja devolvido ao sistema de produção de papel, sem afetar sua qualidade. Os requisitos essenciais de um recuperador de papel são:

- conseguir uma boa limpidez, de maneira que a água recuperada possa ser utilizada nos chuveiros inferiores da máquina de papel economizando-se assim, água fresca;
- ser de construção simples e fácil construção;
- ocupar um espaço pequeno e oferecer um fácil acesso para a limpeza, a fim de facilitar a fabricação de papel de cores diferentes;
- ter capacidade de tratar a água, cujo volume e concentração de sólidos variam;
- ter baixo custo de instalação e operação;
- recuperar a massa e a carga, com consistência elevada, para que possam ser diluídas antes de voltarem à caixa de entrada.

Há duas classes de recuperadores, os simples, mais baratos e com baixa eficiência (recuperador “side hill” e Filtro de gravidade cilíndrico”, e os complexos, com maior custo e eficiência (por sedimentação, flotação e mecânicos).

3.3 – Funcionamento de uma máquina Fourdrinier convencional

Uma válvula especial situada antes da caixa de entrada, que é responsável por eliminar ou diminuir variações de fluxo de massa entre esta caixa e a caixa de entrada, além de regular o fluxo de massa entre os depuradores e a caixa de entrada e a velocidade constante deste fluxo. O nível de massa varia de acordo com a gramatura da folha, consistência da massa e velocidade da máquina.

Após os depuradores, a massa vai para o sistema interno de distribuição que a leva até a caixa de entrada. Esta caixa distribui a massa por toda a largura da tela, operação regulada por um lábio, de forma semelhante a uma régua, que

também controla a velocidade da entrada de massa na tela. Dentro da caixa de entrada existem rolos distribuidores que ajudam a espalhar o fluxo mais uniforme e desfazer aglomerados de fibras. A tela da máquina de Fourdrinier é perfeitamente emendada, sem fim, de modo a não deixar marca na folha de papel. Geralmente é feita de bronze fosforoso ou de material sintético.

A tela, após ser instalada, toma a forma da mesa, sendo plana na seção formadora, e repousa sobre os dispositivos de drenagem entre o rolo-cabeceira e o rolo de sucção. Todos estes elementos têm duas funções básicas: remover a água e suportar a tela. Os rolos esgotadores, chamados de roletes de drenagem ou rolos da mesa, são movidos pela tela criando sucção nos pontos de contato rolo/tela. Esta sucção é proporcional ao diâmetro do rolete e a velocidade da tela, geralmente, utiliza-se defletores entre os roletes, para evitar que a água retorne dos roletes para a tela, caso seja desejada uma redução da drenagem, utilizam-se roletes ranhurados.(VER ESQUEMA ANEXO A)

3.3.1 – Sistema de alimentação da caixa de entrada

O sistema de alimentação deve ser projetado para minimizar a ocorrência de defeitos no papel devido possibilidade de ocorrência de formação de bactérias, tanto nas fibras celulósicas como em outros materiais utilizados na fabricação do papel.

- **Caixa de entrada**

A caixa de entrada é o primeiro elemento da mesa plana, e está localizada logo após o sistema de alimentação.

- **Chuveiros da caixa de entrada**

Estes chuveiros são necessários, para evitar a aglomeração de fibra e eliminar a espuma que se forma na superfície da massa. A água neles utilizada, varia de fábrica para fábrica, sendo que algumas utilizam água fresca e outras, água branca filtrada. Em caixas de entrada pressurizadas utilizam-se, em geral chuveiros rotativos.

3.3.2 – Formação e drenagem na máquina Fourdrinier

A função da máquina Fourdrinier é drenar a água de uma suspensão de fibras de baixa consistência (entre 0,3 e 1,5%) e formar a folha.

Na tela da máquina, até 98, 3% da água de suspensão é removida por gravidade e por meio de uma série de elementos. O controle da drenagem é de fundamental importância para a qualidade da folha de papel que está sendo formada, pois influi na orientação das fibras, na distribuição das fibras e da carga, na lisura e na formação da folha. Do total de água drenada na tela da máquina, entre 60 e 75% do total, deve-se à ação dos rolos de drenagem e hidrofoils. Daí a importância do projeto desses dispositivos de deságüe, que varia de acordo com a velocidade da máquina, tipo de fibra, gramatura e características físicas especificadas para a folha de papel.

O vácuo que atua nas caixas de sucção e no rolo de sucção é responsável pela remoção de 25% da água total, figurando portanto, em segundo lugar entre os elementos responsáveis pelo desaguamento.

- **Rolo cabeceira**

Este rolo suporta a tela abaixo da caixa de entrada, sendo suficientemente rígido para reduzir a deflexão e o enrugamento da tela. Geralmente, é feito de aço e revestido com fibra de vidro ou borracha para evitar a corrosão.

- **Mesa de formação**

A mesa de formação, é instalada entre o rolo- cabeceira e os hidrofoils e possui a função de suportar a tela ao receber o jato de massa vindo da caixa de entrada.

- **Roletes esgotadores**

São conhecidos também por rolos da mesa. A idéia inicial de sua instalação era de suportar a tela com um mínimo de atrito. Mais tarde, observou-se que os rolos nos seus pontos de contato com a tela, criam uma sucção que provoca o desaguamento, e é proporcional ao diâmetro do rolo e à velocidade da tela.

Os rolos, geralmente, são construídos de aço, alumínio ou bronze e revestidos de borracha, ou, principalmente, de fibra de vidro.

Às vezes, há a necessidade de se reduzir a drenagem nos primeiros rolos após a mesa de formação. Para isso, usam-se rolos ranhurados, já que somente se estabelece sucção onde há contato entre tela e rolo.

- **Defletores**

Os defletores têm como função principal evitar que a água, drenada dos roletes esgotadores, volte para a tela. São colocados entre os roletes e servem ainda para sustentar a tela. Podem ser simples ou duplos. Seu uso é indispensável para máquinas com velocidades acima de 300m/min.

- **Hidrofoils**

Os hidrofoils, chamados também de foils, são elementos estáticos de desaguamento constituídos de uma lâmina, cuja inclinação varia entre 2 e 5°. Os hidrofoils utilizam o mesmo princípio hidrodinâmico dos roletes de desaguamento para efetuar a sucção. Perto da caixa de entrada são empregados hidrofoils isolados, de grande largura, enquanto que os pequenos são utilizados em grupo de quatro a oito unidades. A intensidade da sucção também pode ser regulada pela inclinação da lâmina, sendo que quanto maior o ângulo, maior a sucção.

A eficiência dos hidrofoils depende diretamente de sua geometria, por isso, deve existir um controle adequado tanto de seu projeto, como de sua fabricação. O material mais utilizado na sua construção é o polietileno, de alta densidade, pois apresenta pouco desgaste e atrito.

Os hidrofoils levam vantagem sobre os roletes de desaguamento, porque apresentam maior capacidade de drenagem, melhor controle da curva de sucção e causam menor turbulência. Sua utilização tem sido cada vez mais difundida, tanto em máquinas novas, quanto na substituição dos roletes das máquinas já em operação.

- **Caixa de sucção**

Dependendo do tipo de material celulósico, dos aditivos, cargas e das condições de operação, geralmente o desaguamento por roletes e hidrofoils é

pouco eficiente para um teor de sólidos entre 10 e 15%. Neste caso, recomenda-se utilizar as caixas de sucção que são colocadas no fim da parte superior da mesa plana, em toda sua largura. Inicialmente feitas de ferro fundido, atualmente são de aço inoxidável, com uma tampa perfurada, ou então, são construídas em tampa de madeira, laminado fenólico ou plástico de alta densidade. As caixas, cuja largura varia de 150 a 380 mm, são usadas em grupo de quatro a oito unidades. O vácuo, a elas aplicado, cresce da caixa para caixa no sentido da tela e pode chegar a 250 mm de mercúrio. As primeiras caixas retiram maior quantidade de água que as últimas e existe uma limitação na sucção aplicada às caixas devido aos problemas que estas podem causar para a tela, como acúmulo de partículas, abrasivos, aumento do atrito e desgaste e sobrecarga do motor.

- **Rolos de sucção**

É o último componente de desaguamento da tela, e é em geral o seu principal elemento acionador. Eventualmente, no caso de máquinas de grande largura, existe após o rolo de sucção, o rolo acionador.

Praticamente todos os rolos de sucção têm uma carcaça cilíndrica, perfurada de maneira adequada, com a finalidade específica de permitir a aplicação de vácuo em seu interior, na faixa de 60 a 82 KPa. Geralmente são de bronze-liga, e podem ser instalados em outros lugares da parte úmida da máquina, como na prensa de sucção, prensa lava-feltro, “pickup” e sucção de feltro.

- **Rolo bailarino**

É de estrutura leve, anticorrosiva, revestido por uma tela de bronze fosforoso e colocado suavemente sobre a tela da mesa plana, entre a segunda e a terceira caixa de sucção, fazendo com que a folha seja pressionada, entre duas telas, fato que produz melhor distribuição de fibras no papel. É usado também para gravar a marca d'água ou filigrana.

Nas máquinas de baixa velocidade, o rolo é acionado pela própria tela da máquina. Em máquinas com velocidade acima de 250 m/min, são acionados independentemente com o intuito de evitar deslizamento sobre a tela. Ainda neste caso, há chuveiros de vapor ou de água, que mantêm a tela limpa, afim de evitar defeitos na folha.

- **Rolo “lump breaker”**

Chamado vulgarmente de lambreta, é um rolo revestido de borracha macia colocado em contato com o rolo de sucção da tela, com o intuito de prensar os eventuais aglomerados de fibras a folha contínua, evitando rupturas posteriores no papel.

- **Retorno da tela**

Dá-se o nome de retorno da tela à parte percorrida pela tela entre o rolo de sucção e o rolo cabeceira. Nesta parte, a tela descreve um percurso em ziguezague, sofre processos de lavagem, direcionamento e estiramento.

3.3.3 – Prensagem úmida da folha de papel

A função primordial da prensagem úmida de uma máquina de papel é remover a quantidade máxima possível de água da folha de papel antes de submetê-la a secagem por calor. Outras funções são: a redução do volume específico e a melhora da lisura da folha. A capacidade da prensa em desempenhar estas funções, sem causar danos ao papel, como esmagamento, perda de finos, rearranjo das fibras e enrugamento depende do projeto da prensa, do feltro e das características operacionais.

Em uma máquina de papel com mesa plana a água é removida em quatro etapas: drenagem da tela da mesa plana, por vácuo aplicado nas caixas e rolo de sucção, prensas úmidas e secagem com aplicação de calor.

Os fatores que afetam a remoção de água por prensagem são:

- pressão do nip (linha de menor distância entre os rolos);
- velocidade;
- características do rolo (dureza da borracha, diâmetro);
- características do feltro;
- umidade do papel na entrada das prensas.

Existem diversos tipos de prensa para a utilização da máquina de papel, cada uma possuindo vantagens e limitações, dependendo da máquina do material processado e do produto final que se deseja obter.

3.3.4 – Secagem de papel e papelão

A secagem é o processo de remoção da água por evaporação aplicando-se calor, o modo convencional é a passagem da folha de papel por cilindros aquecidos a vapor. A folha é mantida em contato, com os cilindros através dos feltros secadores. Geralmente utilizam-se de 40 a 70 cilindros secadores, agrupados em seções, cada uma delas com seu feltro secador.

O rolo móvel, o bailarino, situado no final dos secadores possui a função de amortecer as flutuações de tensão e evitar a ruptura da folha.

A prensa de esmagamento consiste em dois rolos de aço ou aço laminado com cromo, com alto grau de polimento. Estes rolos, às vezes ao aquecidos por vapor ou água quente. A prensa é colocada entre duas seções de secadores, em um ponto onde a folha possui ainda a umidade necessária para ser comprimida e alisada. A prensa alisadora é empregada para remover quase inteiramente as marcas do feltro e da tela da folha, consiste em um par de rolos, colocados após a prensa úmida.

A folha de papel após a secagem pode estar com o teor de umidade abaixo das condições de equilíbrio, sendo portanto, a adição de água antes do enrolamento. Este procedimento melhora o desempenho das calandras e possibilita o enrolamento do papel a uma umidade mais próxima do ambiente. O método mais comum para aumentar a umidade da folha é o emprego do rolo transpirante, dotado de um sistema de spray no seu interior que resfria a superfície e faz condensar vapor na parte externa do rolo, que por sua vez é transferido continuamente para a folha.

Para dar propriedades particulares ao papel, instalam-se equipamentos na parte de secagem da máquina, como os de colagem superficial e de revestimento é comum utilizar-se lâminas raspadoras de limpeza, nos primeiros ou em todos os secadores, este acessórios minimizam a formação de depósitos de pitch, de fibras, de sujeiras que podem causar a ruptura da folha e afetar a transferência de calor do cilindro secador à folha., além de ajudar a preservar o polimento nas superfícies aquecidas.

Utiliza-se também sistemas de vapor, feltros e tecidos especiais par revestimento dos secadores, e sistemas de ventilação para auxiliar a evaporação da água. Nos sistemas e ventilação a secagem de uma tonelada de papel requer a evaporação de praticamente 2 t de água, para cuja remoção são necessárias de 50 a 60 t de ar. A parte da secagem das máquinas de papel está envolta a uma coifa

que controla o ar saturado de vapor de água e estes sistemas podem ser abertos ou fechados.

3.3.5 – Enrolamento ou corte

Esta é a última seção da máquina de papel. Basicamente existem dois princípios utilizados para o enrolamento do papel: enrolamento por acionamento na face e enrolamento por acionamento no eixo. Cada um deles originou uma série de configurações de enroladeiras.

3.4 – Conservação de água na indústria de papel e celulose

Através dos dados apresentados anteriormente, é possível constatar que as fábricas de papel, utilizam quantidades significantes de água fresca, se comparadas com outras indústrias, sendo considerada, portanto, uma “indústria intensiva” neste aspecto.

A água, é utilizada em diferentes setores: no transporte e dispersão das matérias primas, na formação de folha de papel, para limpeza, resfriamento, selagem e lubrificação.

Devido a restrições na disponibilidade de água (outorga), a instituição de cobrança para uso da água de algumas bacias, além de altos custos de instalação e de operação das estações de tratamento de efluentes, capacidade limitada da estação de tratamento de água fresca do efluente, bem como às crescentes exigências impostas pela legislação, às várias fábricas de papel se viram “forçadas” a limitar o consumo de água fresca por tonelada de seu produto. Isto implica em trabalhar com um ciclo fechado de água branca visando um descarte “zero” de efluente.

Anteriormente, a preocupação do reuso de água existia apenas com a finalidade da recuperação dos produtos utilizados na fabricação do papel, atualmente este foco mudou, sendo que a recuperação (conservação de água) tem recebido atenção especial.

A conservação de água, geralmente possui vantagens tangíveis na forma de economia de energia e reagentes químicos, custos reduzidos nos investimentos

para bombas e estações de tratamento e conseqüentemente reduções no custo total de produção, além disso, a reciclagem de água dentro da fábrica também permite recuperação das fibras e das cargas, reduzindo o custo do descarte de resíduos sólidos.

No entanto, existem custos embutidos tanto para a redução da utilização de água fresca, como pela sua substituição por água reciclada (branca, de resfriamento, clarificada, etc).

Em algumas situações estes custos podem sobrepor as economias citadas anteriormente, e especialmente onde se realiza um sistema de fechamento de água de alto nível, portanto, reduções significativas no consumo da água fresca possuem principalmente vantagens de marketing a longo prazo, afinal num futuro próximo, a água fresca (entende-se como aquela que não necessita de tratamento), tende a tornar-se um bem raro, e portanto, um alto consumo desta já vêm sendo considerada uma agressão ao meio ambiente.

Metodologias têm sido desenvolvidas e novas tecnologias têm sido utilizadas, visando o fechamento de circuito parcial e total principalmente de água branca.

Recentemente a literatura especializada fez a seguinte declaração: “zero de efluente líquido é inteiramente alcançável por muitas plantas, que produzem vários tipos de papel, mas como conseguir raramente é óbvio” (WORSTER & COSTA, 1997).

Para obter sucesso, os equipamentos e os métodos devem ser devidamente selecionados e executados pelo pessoal técnico com conhecimento profundo da fábrica, tendo em vista o maior comprometimento ao método científico.

Esta declaração significa que um programa de fechamento de circuitos deve ser antecedido por uma fase de planejamento e que a seleção de pessoal qualificado é um dos fatores mais importantes para o êxito desse projeto.

Uma estratégia para gerenciamento da água precisa ser desenvolvida, uma vez que o fechamento do sistema de água branca impõe limites no uso da água. Devido a este fato, o conhecimento do balanço das operações diárias da fábrica, somados aos valores dos sólidos suspensos e sólidos dissolvidos e das temperaturas da água formarão uma linha que serve de base.

Subseqüentemente, o volume de água absolutamente necessário deve ser estimado baseando-se no julgamento detalhado das experiências realizadas por outras fábricas com máquinas de papel, matérias-primas, processos e tipos de papel semelhantes. Este passo exige a disponibilidade dos fluxogramas detalhados das

linhas de fibra, da água da fábrica, como também dados sobre balanço, vazões, consistência, níveis de tanques, adição e dosagem das substâncias químicas, etc.

O primeiro passo do programa de fechamento do circuito de água, normalmente é voltado de forma intensiva no sentido de reduzir o consumo da água fresca e separá-la da água de resfriamento. A água do processo deve também ser separada da água de resfriamento, pois esta normalmente não é contaminada.

A água reciclada deve satisfazer outras exigências e deve-se atentar ao fato de que embora consultores e fornecedores possam acertar com boa precisão a qualidade necessária a ser alcançada na água branca, a gerência da fábrica deve permitir alguns experimentos (simulações dos processos) onde determinar-se-ão as exigências específicas da vazão e qualidade da água reciclada para os vários pontos de aplicação.

Em vários casos, a água branca deve ser “melhorada” (no que diz respeito a qualidade) para que seja reciclada. Deve-se portanto, examinar a opção mais adequada de tratamento para elevar o nível desta água, bem como o equipamento mais apropriado para tanto, por exemplo, para filtração, depuração ou fracionamento. Adicionalmente mudanças nas tubulações, nas bombas e nos equipamentos similares, provavelmente serão necessárias. Além disso, uma maior capacidade na armazenagem da água branca normalmente será exigida.

Um exame dos valores encontrados na simulação pode fornecer uma boa estimativa sobre a capacidade adicional desejada de armazenagem, levando em conta situações de paralisação, start-up e emergências.

O fechamento do sistema de circuito de água, com certeza mudará a química de “wet end” e também a microbiologia da água branca. Para poder conviver com essas mudanças, técnicos qualificados deverão ser incluídos na equipe do fechamento de circuito (WORSTER & COSTA, 1997).

3.4.1 – Requisitos gerais para o uso da água e restrições qualitativas

Segundo National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement (NCASI) em 1980, para definir as estratégias para reuso de água é necessário examinar os requisitos de qualidade e de quantidade de água de cada ponto individualmente encontrado na planta de industrial, além disso, é necessário identificar quais as possíveis conseqüências em relação à substituição de água fresca por água de reuso.

Para a tomada de decisão deve ser feito um diagnóstico minucioso, das funções desempenhadas pelos diferentes usos da água, como também das restrições de qualidade de água impostas para cada uma destas funções e pelas operações consideradas em geral.

A seguir será feita uma revisão a respeito da qualidade de água requerida, de acordo com sua utilização no processo de fabricação de papel.

3.4.1.1 – Água para diluição

- **Diluição para estoque:**

A diluição de alta densidade de licor marrom necessita de uma grande quantidade de água, para atingir a consistência necessária para a caixa de entrada. Considerando-se que a taxa de consistência do estoque de alta densidade, fica geralmente em torno de 10 e 15 por cento de fibra e a consistência da caixa de entrada entre 0,5 a 1,0 por cento de fibra, a diluição necessária será de aproximadamente de 90 a 193 m³/t.

Relatos de práticas de recirculação da água utilizada para circulação da caixa de entrada, sugerem ser mais apropriado a utilização de água fresca para atender as restrições qualitativas de diluição. Para a redução da quantidade de água necessária para diluição, a solução estoque da máquina de papel necessitaria estar diluída em torno de 3% em fibra, fato que demandaria aproximadamente a mudança da quantidade de água adicionada, isto é, de 23,3 para 26,7 m³/t.

A água utilizada para diluição, desempenha três funções principais:

- possibilitar o transporte de fibras para o papel ou para área da máquina de papel.
- proporcionar as condições necessárias para a realização do pré-tratamento da solução estoque, de modo que produto atinja as características necessárias.
- atuar tanto como meio de transporte, como de diluição de fibras e de outros materiais, que entram na máquina.

Evidentemente, existem poucas restrições qualitativas, quando a água desempenha a função de transporte. Entretanto, para o uso como meio de preparação do estoque, é extremamente necessário o controle de um número de parâmetros, que devem ser compatíveis com a água de diluição utilizada.

Para desdobramento desta função, isto é, para que esta possa atuar, como meio para a preparação do estoque, a água de diluição necessita:

- permitir um baixo custo para controle do pH;
- não interferir em operações de refino;
- permitir uma aplicação satisfatória de alumínio, rosa bengala e de outros aditivos químicos;
- permitir a produção de um produto satisfatório.

Uma variedade de parâmetros de qualidade de água foram identificados para a preparação de uma solução estoque adequada. Os parâmetros são listados na Tabela 16.

Tabela 16 – Testes selecionados para caracterizar a qualidade de água para reuso

Teste	Razão para inclusão
Sólidos totais	Precipitação de sólidos
Sólidos voláteis totais	Acúmulo de sólidos orgânicos
Sólidos totais fixados	Acúmulo de sólidos inorgânicos
Sólidos suspensos	Acúmulo de sólidos fibrosos
Sólidos dissolvidos	Acúmulo de sólidos dissolvidos
Sólidos voláteis dissolvidos	Acúmulo de sólidos orgânicos dissolvidos e balanço de massa inorgânico
Sólidos fixados dissolvidos	Acúmulo de sólidos inorgânicos dissolvidos, balanço de massa inorgânico
Teste de decantação	Análise da partícula do Sieve (peneira), obstrução dos chuveiros
Cálcio	Balanço de cátions, tamanho, escala e retenção
Sódio	Balanço de cátions, sólidos dissolvidos e perda de soda
Alumínio	Balanço de cátions, retenção e tamanho
Cloreto	Balanço de ânions, corrosão
Sulfato	Balanço de ânions, escala, corrosão
Dureza Total	Sólidos de cálcio, transportados pela fabricação da polpa, tamanho, escala e retenção
Dureza ao Cálcio (CaCO ₃)	Sólidos de cálcio, transportados pela fabricação da polpa, tamanho, escala e retenção
Alcalinidade	Proteção ácida, nível de carbonato, corrosão, utilização química
Acidez	Capacidade de acidez, corrosão
pH	Equilíbrio iônico, corrosão
Condutividade	Sólidos dissolvidos, corrosão
Temperatura	Acréscimo de temperatura
Polarização linear e medida da taxa de corrosão	Taxa de corrosão uniforme
Cor	Cor

Fonte: NCASI (1980).

As análises do meio de preparação da solução estoque, realizada através de uma diluição particular, devem incluir uma estimativa dos impactos (efeitos) da água de diluição sobre alguns destes parâmetros.

Após ter provido a preparação adequada de um meio de diluição, a água será responsável pelas características da pasta na mesa de formação.

As condições estabelecidas para esta função desempenhada pela água devem atender os seguintes requisitos:

- a água utilizada deve possibilitar a formação de um papel de qualidade aceitável;
- a água de diluição não deve causar uma taxa de drenagem inaceitável;
- a água de diluição não deve possuir nenhuma característica que possa resultar em problemas no funcionamento da máquina ou em um produto de qualidade inaceitável.

Os parâmetros de qualidade de água que podem vir a causar impactos na capacidade de diluição da água estão listados na Tabela 16, porém, além destes, pode-se incluir: fibras finas e impurezas contidas na água de diluição.

- **Outros usos da água para diluição:**

Dentre outros usos, significativos da água para diluição estão:

- fabricação da polpa;
- decantação em líquidos de limpeza e de rejeição da tela;
- alimentação de soluções químicas.

As características qualitativas da água, importantes para o primeiro e o segundo uso citados acima, estão incluídos na tabela 16. Os requisitos de qualidade de água para a alimentação de soluções químicas irão depender diretamente das características químicas específicas desta.

3.4.1.2 – Água utilizada para chuveiros

Existe uma grande diversidade de chuveiros utilizados em máquinas de papel, e a qualidade da água que pode ser utilizada em cada um destes dispositivos, está relacionada com a quantidade de sólidos suspensos contidos na água e com o tamanho das partículas destes sólidos. A quantidade de sólidos

encontrada na água utilizada em chuveiros, é importante em diferentes aspectos. Primeiramente, no que diz respeito à obstrução dos bocais dos chuveiros e em segundo lugar, nas diferentes aplicações onde são utilizados chuveiros e a presença de sólidos possam vir a causar efeitos prejudiciais sobre os processos desenvolvidos. Os melhores exemplos disto, são para a lubrificação dos feltros e para os chuveiros de limpeza, onde o potencial de entupimento dos feltros devem ser considerados.

3.4.1.3 – Água utilizada para selagem

O uso mais significativo, da água para selagem está associado com a água dos anéis da bomba de vácuo. A função da água utilizada para selagem, é promover vácuo para a água removida das folhas de papel e de feltros. Por isso, para atingir este fluxo de ar, o líquido utilizado para selagem deve atingir a pressão de vapor, e portanto, pode-se afirmar que a temperatura é um parâmetro qualitativo da água muito importante para este tipo de aplicação. Além disso, questões referentes à corrosão e abrasão da bomba estão contidos na lista de parâmetros de qualidade da água de reuso, listados na Tabela 16.

A selagem através da água, também se faz necessária nas glândulas da bomba, porém em menor quantidade do que para a selagem dos anéis das bombas de vácuo. No caso da utilização de água para glândula, uma pequena quantidade de água é utilizada para selar, resfriar e lubrificar o envoltório da bomba.

3.4.1.4 – Água utilizada para aquecimento e resfriamento

As restrições de qualidade da água, utilizada para aquecimento ou resfriamento, irão depender de sua aplicação. Entretanto, pode-se fazer uma generalização, dos requisitos qualitativos para o potencial de entupimento ou corrosão da superfície do trocador de calor, assim como para entupimento de seus canais de fluxo.

Em situações onde o aquecimento ou resfriamento é realizado por contato direto os requisitos de qualidade de água não são muito restritos, devido à técnica utilizada para a geração de água, inicialmente utilizada para aquecimento ou resfriamento, mas também devido à mistura de ambas.

3.4.1.5 – Usos diversos da água

O primeiro uso diversificado da água para a máquina de papel, refere-se à água utilizada para limpeza das tubulações.

3.4.1.6 – Restrições gerais

Existem diversas restrições que devem ser consideradas, para a utilização de água de reuso, nas entradas do sistema hídrico da máquina de papel.

Primeiramente, os materiais de fabricação do sistema hídrico da máquina de papel, devem ser adequados, para evitar corrosão excessiva. Em segundo lugar, para quaisquer circunstâncias, deve-se evitar a deposição de sólidos e o aumento da incrustação. A formação de depósitos de sólidos pode vir a contribuir para a corrosão de pitting e produzir entupimento, ou problemas na qualidade do produto, devido ao aumento de perdas. Além destas, deve-se evitar condições que provoquem a formação excessiva de espuma no sistema hídrico da máquina de papel. Infelizmente os processos físicos, químicos e biológicos que permitem o controle da corrosão, deposição, incrustação e espuma, não são definidos com clareza. Alguns dos parâmetros de qualidade de água que geralmente são utilizados para indicar condições para a ocorrência de corrosão, incremento da incrustação ou potencial para formação de espuma nos sistemas hídricos da máquina de papel, estão apresentados na Tabela 16.

Entretanto, deve-se notar que todo o sistema de entrada na máquina deve ser muito bem examinado, não somente em relação a sua capacidade de desempenho para uma função específica, mas também em termos dos impactos que possam vir a ocorrer sobre o sistema hídrico da máquina de papel. A estimativa destes impactos, bem como de seus efeitos em potencial, pode ser realizada através dos parâmetros indicados na Tabela 16. Estes parâmetros devem ser utilizados para a realização de uma estimativa dos efeitos sobre a máquina, permitindo assim uma melhor compreensão dos processos envolvidos e uma revisão da relação entre os parâmetros de qualidade de água e de todos os efeitos causados por estes.

A Tabela 17, elaborada de acordo com os dados contidos no boletim técnico NCASI (1980), refere-se a práticas de reuso em máquinas de papel em plantas de branqueamento kraft e lista as análises realizadas para caracterização da água.

Tabela 17 – Programação para análises de qualidade de água, conforme dados do NCASI (1980).

Testes executados para todas as plantas industriais	Testes realizados em apenas alguns pontos em torno da máquina	Testes realizados em apenas locais em que foram requisitados
Alcalinidade Acidez pH Temperatura Análises de sólidos totais Análises de sólidos voláteis Análises de sólidos fixos totais Análises de sólidos suspensos Análises de sólidos dissolvidos Análises de sólidos voláteis dissolvidos Análises de sólidos fixos dissolvidos Cloreto Sulfato Dureza total Cor	Teste de decantação Corrosividade	Cálcio Alumínio Sódio

Fonte: NCASI (1980)

A demanda média de água utilizada nas diferentes seções da máquina de papel, está listada na Tabela 18, que também foi elaborada de acordo com os dados contidos no documento citado anteriormente.

Tabela 18 – Demanda do potencial dos pontos de uso da água em torno da área de fabricação de papel

Usos da água na máquina de papel	Demanda de água
1- Uso de água de Diluição (Exceto a água de recirculação da caixa de entrada)	
Diluição estoque	6000 gpt *
Excesso de água de diluição para armazenamento de alta densidade	1370 gpt *
Diluição de limpeza	290-320 gpt *
Pulper makedown	7740 gpt *

Tabela 18 (continuação)
 Demanda do potencial das fontes de uso da água em torno da área de fabricação de papel

Usos da Água na Máquina de Papel	Demanda de Água
2-Uso de água de chuveiro	
Chuveiros diversos da máquina de papel 1- Chuveiros Knockoff 2- Chuveiros de limpeza 3- Chuveiros do rolo de retorno 4- Chuveiros da caixa de entrada 5- Rolo breast 6- Chuveiros trim knockoff e de limpeza 7- Chuveiros internos e externos do Couch roll 8- Chuveiros dos rolos de pressão interna 9- Chuveiros de lubrificação do feltro 10- Chuveiros deckles e trim squirt	3200-3560 gpt *
Chuveiros de pressão para lavagem do feltro	8,1-9,0 gpt *
Chuveiro do rolo	1,1-1,2 gpt *
3-Uso de água para selagem	
Água para selagem da glândula da bomba de vácuo	860-950 gpt *
Selagem da bomba de vácuo	1300-1440 gpt *
4-Uso da água para resfriamento	
Água de resfriamento 1- trocador de calor 2- sistema de secagem 3- unidades mecânicas de resfriamento 4- compressores de ar 5- sistema hidráulico 6- brake drums 7- equipamentos diversos	3400-3780 gpt *
5-Usos diversos	
Limpeza de equipamentos,etc	1070-1190 gpt *

Fonte: NCASI (1980).

*gpt- galões por tonelada

3.4.2 – Revisão sobre a observação de práticas de reuso e de sistemas de qualidade de água para a máquina de papel

Em termos conceituais, as práticas de reuso de água documentadas neste capítulo podem ser classificadas em três linhas. Estas práticas envolvem os seguintes conceitos:

- Reciclagem direta da água branca;

- Mistura de efluentes;
- Segregação de efluentes.

Estas estratégias de reuso de água, são descritas a seguir:

- Reciclagem de água de processo: a prática de recirculação de água de processo internamente aos sistemas de fabricação de papel e celulose ,limitada pelo contato contínuo de água fresca (ex: reutilização da água de selagem do envoltório da bomba, como água de diluição da solução de estoque).
- Mistura de água de processos: a prática de recirculação da mistura entre água de processo e água fresca para uso em diferentes pontos (como por exemplo, a mistura da descarga da bomba de vácuo, do excesso do filtrado de água branca e de água fresca para o reuso na selagem de bombas de vácuo e nos chuveiros da máquina de papel).
- Segregação de água de processo e água de resfriamento: a prática de recirculação limitada pela água e processo de contato ou água de resfriamento para recirculação ou introdução desta internamente ao suprimento de água fresca da planta. (ex: recirculação envolvendo o sistema de água de selagem da bomba de vácuo ou água de resfriamento para o suprimento de água fresca da planta).

Estes modelos de reuso, freqüentemente estão sendo combinados à aplicação de tecnologias que utilizam baixo volume de água (como por exemplo, a utilização de chuveiros de baixo volume de água e alta pressão), como adoção de estratégias individuais para redução do volume de efluentes.

Estas estratégias e aplicações de práticas de reuso dependem das características específicas e cada planta em questão. A Tabela 19, contém um resumo com as práticas de reuso observadas em algumas plantas que serviram como base para este estudo.

Tabela 19 – Práticas de reuso de água para as plantas industriais visitadas no estudo realizado pelo NCASI

Fábrica	Efluente total para tratamento (gpt*)	Descarga da fabricação de papel	Práticas de reuso para diluição	Reuso para água de chuveiro	Reuso para água de selagem	Reuso para aquecimento e resfriamento	Usos diversos
Fábrica G Visita 1 Visita 2	7290-10130 9100-10980	3150-3540 2150-3700	Água de selagem flatbox pit e filtrado de água branca utilizado na maioria das diluições, externas a recirculação da caixa de entrada e o excesso de água branca utilizado na lavagem final	Filtrado de água branca tratado através de refinadores em linha para reuso em chuveiros da seção de formação	–	–	–
Fábrica H máquina de papel nº 1	8160	3890-4510	Excesso de wire pit, ou de água branca “rica” utilizada na maioria dos usos de água de diluição externa a recirculação da caixa de entrada e certa quantidade de água branca utilizada nos chuveiros superiores de lavagem de tela	Filtrados de água branca após serem submetidos a um tratamento de flotação e de peneiramento fino, são utilizados em muitos chuveiros na seção de prensagem	Filtrado de água branca reutilizado no sistema flo-vac	–	–
Fábrica H máquina de papel nº 2	7250-8160	3770-3930	Excesso de wire pit ou água branca rica e filtrado de água branca utilizado na maior parte dos usos par água de diluição externos a recirculação da caixa de entrada e algumas água branca ricas utilizadas sobre os chuveiros superiores de lavagem	Filtrados de água branca reutilizados em muitos chuveiros da seção de formação e dos rolos de pressão	–	–	–

Tabela 19 (continuação)
Práticas de reuso de água para as plantas industriais visitadas no estudo realizado pelo NCASI

Fábrica	Efluente total para tratamento (gpt)*	Descarga da fabricação de papel	Práticas de reuso para diluição	Reuso para água de chuveiro	Reuso para água de selagem	Reuso para aquecimento e resfriamento	Usos diversos
Fábrica I-	10000	–	Excesso de wire pit, água branca rica e filtrado de água branca utilizado em grande parte dos usos para diluição externos a recirculação da caixa de entrada	Filtrado de água branca polido (filtrado de água branca, que passou através de refinadores em linha) e foi reutilizado em chuveiros de retorno do rolo, chuveiros knock-off da seção de formação e chuveiro de pressão .	Sistema de recirculação da torre de resfriamento, compartilhado pelas máquinas de ondulação e linerboard com água fresca do tanque de descarga	–	–
Fábrica A – Visita 1 Visita 2	4300-4320 6130-7110	860-1065 1330-1740	Filtrado de água branca e filtrado do tanque de lavagem utilizados na maioria das diluições externas a recirculação da caixa de entrada e de realimentação do suprimento da fábrica	Suprimento da planta, a mistura de 60% do excesso de água branca e 40% de água fresca utilizada na maioria dos chuveiros durante a primeira visita. Na segunda visita, uma maior porcentagem de água fresca estava sendo usada nesta operação	Suprimento da planta	Suprimento da planta	Suprimento da planta
Fábrica B	13000-13240	–	Fechamento de circuito de água branca utilizada na maior parte dos usos externos a recirculação da caixa de entrada	Utilização de água branca tratada através de filtros a disco somente no chuveiro	Utilização de água branca tratada através de filtros a disco na selagem da bomba de vácuo	–	–

Tabela 19 (continuação)
Práticas de reuso de água para as plantas industriais visitadas no estudo realizado pelo NCASI

Fábrica	Efluente total para tratamento (gpt)	Descarga da fabricação de papel	Práticas de reuso para diluição	Reuso para água de chuveiro	Reuso para água de selagem	Reuso para aquecimento e resfriamento	Usos diversos
Fábrica C -	9070-10180	-	Água branca da fábrica de papel e água do couch pit, utilizada como fonte principal para uso de água de diluição, externamente a recirculação da caixa de entrada	-	-	-	-
Fábrica D-	7090-6820	-	Água do couch pit e água de selagem da caixa de selagem reutilizada para usos de diluição fora do suprimento principal	O suprimento da planta é formado pela mistura de diferentes tipos de água: água de selagem da bomba de vácuo, água fresca e água de recirculação do sistema de resfriamento	Reutilização da água do suprimento de água da fábrica	Reutilização da água do suprimento de água da fábrica	Reutilização da água do suprimento de água da fábrica
Fábrica E-	10380-11470	5570-4390	Excesso de água do wire pit para a caixa d'água e para o armazenamento de água branca reutilizado nos diferentes tipos de diluição externas a recirculação da caixa de entrada	-	-	-	-

Tabela 19 (continuação)
Práticas de reuso de água para as plantas industriais visitadas no estudo realizado pelo NCASI

Fábrica	Efluente total para tratamento (gpt)*	Descarga da fabricação de papel	Práticas de reuso para diluição	Reuso para água de chuveiro	Reuso para água de selagem	Reuso para aquecimento e resfriamento	Usos diversos
Fábrica F máquinas nº 1 e 2. Sendo que a máq. 1 tem suprimento de água separada do sistema de água branca da máq. nº 2; entretanto possuem uma configuração de reuso de água similar	10300-11110	–	O filtrado de água branca e reutilizado na maior parte das diluições externas a caixa de entrada	–	–	–	–
Fábrica K	9070	4690	Reservatório de reuso de água branca para a utilização na maioria das diluições externas a recirculação da caixa de entrada	Filtrado de água branca utilizado na maioria dos chuveiros da seção de formação.	Flo-vac no filtrado de água branca, coleta do sistema de purga de água fresca para o suprimento da planta e da torre de resfriamento, devido ao índice elevado de cloreto contido na água	–	–

Tabela 19 (continuação)
Práticas de reuso de água para as plantas industriais visitadas no estudo realizado pelo NCASI

Fábrica	Efluente total para tratamento (gpt)*	Descarga da fabricação de papel	Práticas de reuso para diluição	Reuso para água de chuveiro	Reuso para água de selagem	Reuso para aquecimento e resfriamento	Usos diversos
Fábrica L	6980-8900	–	Reservatório de reuso de água branca para a utilização na maioria das diluições externas a recirculação da caixa de entrada	Filtrados de água branca utilizados nos chuveiros knock-off da seção de formação. OBS: a água branca também pode ser utilizada em outros chuveiros da seção de formação, porém para garantir uma melhor performance, aconselha-se o reuso em outros tipos de chuveiros	–	–	–
Fabrica M - máquina de papel nº 1	7860-8900	7060-7400	O uso central da água de armazenamento de água Branca, na maior parte das diluições externas a recirculação da caixa de entrada	Filtrados de água branca passados através de refinadores em linha reutilizados no rolo breast, em chuveiros knock-off da seção de formação e chuveiros do rolo de retorno	–	–	–
Fábrica M - máquina de papel nº 2	–	–	O uso central da água de armazenamento de água Branca, na maior parte das diluições externas a recirculação da caixa de entrada	–	Água de selagem da bomba de vácuo recirculada com o sistema de purga de água fresca	–	–

Tabela 19 (continuação)
Práticas de reuso de água para as plantas industriais visitadas no estudo realizado pelo NCASI

Fábrica	Efluente total para tratamento (gpt)*	Descarga da fabricação de papel	Práticas de reuso para diluição	Reuso para água de chuveiro	Reuso para água de selagem	Reuso para aquecimento e resfriamento	Usos diversos
Fábrica N – máquina de papel	15080-15260	–	Filtrado de água branca utilizada na maioria das diluições externas a recirculação da caixa de entrada dos chuveiros superiores de lavagem	Polimento do filtrado de água branca através de refinadores em linha para o uso em chuveiros knock-off da seção de formação	Polimento do filtrado de água branca através de refinadores em linha para o uso na selagem de bomba de vácuo	–	–
Máquina de papel (twin Headbox)	–	–	Filtrado de água branca utilizada na maioria das diluições externas a recirculação da caixa de entrada	Polimento do filtrado de água branca através de refinadores em linha para o uso em chuveiros knock-off da seção de formação	–	–	–

Fonte: NCASI (1980).

gpt= galões por tonelada

3.4.2.1 – A significância de práticas de lavagem de polpas

A concentração de sólidos dissolvidos presente no sistema hídrico da máquina de papel, pode afetar a produção em diversos pontos, portanto, é importante identificar a fonte de sólidos dissolvidos. Dificilmente, é possível descobrir se estes materiais são transportados através da fabricação de polpa, ou se são adicionados na máquina de papel. Entretanto, a necessidade da aplicação de aditivos na fabricação do papel provoca, muitas vezes, o transporte de uma quantidade significativa destes materiais pela polpa de papel. O transporte destes materiais pode duplicar a concentração de sólidos dissolvidos na planta de celulose.

É preciso identificar quais os fatores essenciais para uma boa lavagem da polpa, e quais os impactos que este procedimento pode exercer para a qualidade da água utilizada na máquina de papel.

A qualidade da água dos chuveiros, utilizada para a lavagem final, podem contribuir para o transporte de materiais, por este motivo, deve-se avaliar, quais as características qualitativas da água utilizada inicialmente para este propósito. Geralmente, as plantas de branqueamento do tipo kraft, costumam utilizar água fresca, excesso de água branca, ou condensados de evaporadores para lavagem final da polpa.

Uma série de plantas que utilizaram excesso de água branca para lavagem final de polpa, de acordo com o boletim técnico publicado pelo NCASI (1980), estão listadas na Tabela 20.

Tabela 20 – Fábricas que utilizaram o excesso de água branca para lavagem final do licor marrom – Qualidade da água do chuveiro para o estágio de lavagem final

Indústria	Máquina	Teste	Sólidos dissolvidos totais (ppm)	pH	Alcalinidade total (mg CaCO ₃ /l)	Acidez total (mg CaCO ₃ /l)	Cor	SO ₄ ²⁻	Origem
D	1	1	2360	6.3	149	28	330	900	Flat Box pit (caixa de sucção)
G	1	1	3140	6.6	115	17	380	1740	Filtrada de água branca
		2	6400	6.0	235	47	270	3500	Filtrada de água branca
H	1	1	2220	5.4	65	37	55	1120	Wire pit
	2	1	1820	5.0	75	95	75	950	Wire pit

Fonte: NCASI (1980).

A utilização de água branca para lavagem de polpa pode ser responsável, entretanto, por duas situações:

- Em casos onde a água de chuveiros de limpeza é alterada, esta prática pode vir a contribuir para o aumento da concentração de sólidos no sistema hídrico da máquina de papel.
- Situações de transporte de materiais pela planta de celulose. Esta situação pode resultar da substituição de água fresca por água branca, por exemplo, uma planta que utilizava água branca para lavagem final de polpa foi submetida a uma alteração por água fresca e observou-se o decréscimo da concentração de sólidos dissolvidos de 6200 ppm para 4750 ppm. Este fato, evidencia a necessidade da utilização de água fresca para a lavagem da polpa.

Além do aumento de materiais transportados, o uso de água branca para lavagem do estoque marrom, pode, em certas circunstâncias, provocar um aumento do potencial de introdução de aditivos químicos para fabricação de papel, internamente ao sistema de recuperação. Compostos de alumínio, cálcio e sílica são materiais, que geralmente possuem grande tendência de formação.

Os efeitos gerais da eficiência de lavagem e da qualidade da água para lavagem final e para o transporte de sólidos dissolvidos têm sido discutidos. Os sólidos dissolvidos também podem exercer um impacto indireto sobre a concentração de sólidos dissolvidos da máquina de papel, e por conseqüência, a quantidade de ácido necessária para acertar o pH, e a quantidade de outros aditivos da máquina. Em resumo, os materiais dissolvidos podem ter um grande número de efeitos prejudiciais, até mesmo no que diz respeito a problemas referentes ao aumento do potencial de corrosão.

A quantidade de ácido necessária para o ajuste de pH, na lavagem de polpa, deve ser estimada e testada, isto, é há a necessidade da realização de experimentos ou simulações para o estabelecimento da quantidade correta.

Existem outras diversas substâncias, originadas na produção de polpa de celulose, que possuem importância significativa para a operação da máquina de papel. Uma experiência realizada em, uma planta de celulose, apontou um problema na área de recaustização, que resultou no aumento do transporte de cálcio dentro do licor branco, contribuindo para altos valores de dureza (890-1225 ppm CaCO_3) no sistema hídrico. Este tipo de problema é especialmente significativo, considerando-se por exemplo:

- a afinidade dos cátions para as fibras;
- a desorção de muitos destes materiais, com a introdução de alumínio e ácido;
- a significância de muitos destes cátions para problemas de processo e operacionais nos sistema hídrico da máquina.

Dentre outros problemas relatados pelas indústrias de papel e celulose contidas no boletim técnico do NCASI (1980), pode-se citar:

- o aumento da escala de formação.
- depósitos de sulfato de bário na caixa de entrada, que por sua vez, têm sido apontado como causa de problemas de corrosão em algumas plantas industriais.
- formação excessiva de espuma no sistema hídrico da máquina de papel, problema geralmente atribuído ao transporte de materiais da fabricação de polpa.

Além disso, é possível, que os materiais contidos na polpa mal lavada possam interferir na colagem e possivelmente comprometer a qualidade do produto. A temperatura do sistema de água da máquina, é impactada pela temperatura do estoque. Em resumo, o impacto do transporte sobre a qualidade de água branca em operações de reuso de água da máquina podem ser bastante consideráveis.

3.4.2.2 – Qualidade da água do estoque de diluição e da caixa de entrada

- **Concentração de sólidos dissolvidos**

A qualidade da água de recirculação da caixa de entrada tem grande significância para as práticas de reuso de água em dois aspectos. Primeiramente, esta recirculação deve fornecer um meio apropriado para a preparação de fibras para a máquina e em segunda instância, a qualidade da água de recirculação pode exercer um efeito direto sobre o potencial para reuso de água branca em outras partes da máquina, principalmente em operações sensíveis à sólidos dissolvidos.

A qualidade da água de recirculação da caixa de entrada é determinada pela quantidade e pela qualidade:

- do transporte da polpa de celulose;
- dos aditivos da máquina de papel;

- da água de diluição.

Os dois primeiros itens já foram comentados, anteriormente, nesta seção será apresentada as questões relativas à qualidade da água do estoque de diluição.

Em todas as plantas incluídas nos estudos realizados pelo NCASI (1980), a água primária de recirculação da caixa de entrada, vinha da seção da formação de folha. Um sistema secundário de recirculação de água da caixa de entrada era suprido pela água de selagem da seção de formação de oito máquinas e pela seção de formação de folha de cinco máquinas restantes. Os requisitos de qualidade de água, adicionais referentes ao estoque de diluição, foram satisfeitos de acordo com cada máquina, que utilizou água branca clarificada.

Em algumas plantas observadas, foram adotados equipamentos para recuperação ou separação de sólidos, de modo a atender partes dos requisitos do estoque de diluição. Em 10 máquinas restantes, os requisitos de diluição foram satisfeitos com a combinação de quantidades variadas de água de selagem, da seção de formação de folha e do couch pich.

A qualidade da água branca utilizada para a diluição final, variou de uma máquina para outra, de acordo com sua origem, localização, com a quantidade de água fresca utilizada em cada ponto, e também com a quantidade de materiais transportados e de aditivos da máquina.

As plantas industriais consideradas relataram a existência de uma relação direta entre a quantidade de materiais transportados, a qualidade da água da caixa de entrada e de problemas operacionais do sistema hídrico. Em uma planta industrial, o aumento na concentração de sólidos dissolvidos da caixa de entrada de uma máquina de papel de 3300 para 6000 ppm, foi relacionado diretamente ao incremento da concentração de sólidos dissolvidos da água utilizada na seção de lavagem de polpa, que subiu de 2800 para 8100 ppm. A formação excessiva de espuma, o incremento da escala de formação de limo, o aumento da quantidade de ácido e de alumínio utilizada, e o aumento da taxa de corrosão, foram relatadas por diferentes plantas.

Observou-se que a concentração de sólidos dissolvidos (SDT) da caixa de entrada possui relação direta com a quantidade de água fresca utilizada. Em uma máquina de papel, observou-se que através do aumento da quantidade de água fresca utilizada, que inicialmente era de 1700 gal/ton, para 2300 gal/ton, foi possível reduzir a quantidade de sólidos dissolvidos totais, que situava-se entre 3000 a 3800 ppm, para a valores entre 2200-2400 ppm.

O incremento dos valores de dureza da água, variou de acordo com o aumento da concentração de sólidos.

- **Corrosão**

Um das questões mais importantes referentes à concentração de sólidos dissolvidos no sistema hídrico da máquina de papel, diz respeito a corrosão. Para identificar problemas de corrosão, deve-se observar três aspectos diferentes:

- material de construção dos equipamentos e tubulações que favorecem a corrosão;
- corrosão uniforme em locais observados em experiências relacionadas ao local de utilização de equipamento de polarização linear;
- características qualitativas da água, do sistema de entrada das máquinas de papel.

Experiências relatadas no boletim técnico publicado pelo NCASI (1980) sobre “a relação entre a qualidade da água de processo e o potencial de reuso em plantas de branqueamento kraft e em sistemas de máquina de papel”, mostram dados referentes a máquinas submetidas a análise laboratorial (do potencial dinâmico de pitting e da formação de fendas de corrosão) sobre o aço inoxidável 304 e 316l que por sua vez, constituíam a maioria das máquinas de papel.

Através dos dados obtidos com esta experiência observou-se:

- diminuição da corrosão uniforme com o aumento da utilização de água fresca;
- aumento da corrosão uniforme com o aumento da condutividade
- a relação existente entre a diminuição do pH e o incremento da taxa de corrosão uniforme

A análise de pitting, sugeriu uma margem similar a respeito das margens do potencial de segurança para diferentes tipos de águas testadas. A amplitude desta margem, indica que a corrosão de pitting pode afetar apenas problemas de limitação da recirculação de sistemas de água branca.

A margem do potencial de segurança para depósitos ou “fendas” resultantes da corrosão apresentou-se bastante variado de uma planta industrial para outra. Em uma planta de papel, observou-se que para condições de concentrações de SDT (sólidos dissolvidos totais) maiores que 6000 ppm, a utilização do aço

inoxidável do tipo 304l, foi considerada inadequada. Dados sobre depósitos ou formação de outras formas de corrosão sobre o aço 316l, sugerem que este material não apresenta este tipo de problema com a utilização de água branca. Outras plantas, relatam problemas com este tipo de aço, referentes a depósito de sulfato de bário e a formação de corrosão na caixa de entrada.

- **Temperatura da caixa de entrada-**

Um importante aspecto a ser considerado no fechamento de circuito de água da máquina de papel, refere-se ao efeito provocado pela temperatura da caixa de entrada.

As temperaturas medidas em diferentes plantas observadas estavam entre (40 e 62°C).

- **Estabilidade da circulação da caixa de entrada**

Outro aspecto importante a ser observado, para a reutilização de água, refere-se à estabilidade do sistema de água branca da máquina de papel.

Para determinar o grau de estabilidade da máquina, deve-se considerar diferentes tipos de parâmetros:

- parâmetros que não são controláveis, isto é, independentes de variações normais do processo;
- parâmetros controlados durante a operação normal da máquina;
- parâmetros afetados pela quantidade de materiais transportados através da polpa;
- parâmetros afetados por materiais transportados pela polpa e pela operação da máquina.

Nas plantas industriais observadas, notou-se a existência de uma pequena variação nas variáveis controladas pela máquina, especialmente pH e temperatura. A existência de uma pequena variação na concentração de cloreto, foi atribuída a uma maior adição de cloreto na entrada, que pode ter ocorrido através de sua dissolução na água fresca ou justamente para controle de consistência.

Dentre os parâmetros com maior variabilidade pode-se citar cor e alcalinidade, os quais, estão diretamente ligados à quantidade de materiais transportados através da polpa.

Outro aspecto referente à estabilidade de circulação do sistema da caixa de entrada, refere-se à capacidade de promover a consistência adequada ,através da quantidade de água branca utilizada no estoque de diluição, especialmente durante situações de perturbações e de paradas.

Na maior parte dos sistemas abertos das máquinas, são necessárias quantidades intermitentes de água, supridas geralmente,através da adição de uma grande quantidade de água fresca. Entretanto, muitas plantas que estão realizando fechamento de circuito de água, têm preferido satisfazer esta quantidade de água, com água branca, de modo à manter o balanço do sistema de água e minimizar grandes perdas.

3.4.2.3 – Reuso de água em chuveiros

A quantidade total de água utilizada para chuveiros situa-se em torno de 24,6 m³/ton de produção, desta maneira a utilização de água de reuso em alguns tipos de chuveiros, torna-se um componente essencial para um programa que objetiva a redução do consumo de água fresca, na máquina de papel.

A maioria das plantas observadas, já utiliza o reuso de água pelo menos para aplicação em chuveiros. Com exceção da concentração de sólidos suspensos, a água utilizada para aplicação em chuveiros pode ter as características similares à água de diluição. Entretanto, a concentração de sólidos suspensos totais da água de chuveiros deve estar na faixa de 128 ppm, enquanto o nível de concentração para água de diluição fica em torno de 550 ppm. Esta situação ilustra um uso bastante comum de equipamentos para separação de sólido e líquido como recuperadores, flotores e filtros para reuso de água branca em chuveiros.

Através da observação da aplicação do reuso de água nos diferentes tipos de chuveiros existentes na máquina de papel, em diferentes plantas, constatou-se a existência de condições mais restritivas para reuso de água em alguns tipos de chuveiros, como por exemplo, para chuveiros de feltro e chuveiros do tipo nozzle (que podem sofrer entupimento). Dentre as medidas utilizadas para evitar o entupimento destes tipos de chuveiros pode-se citar:

- a seleção de chuveiros do tipo nozzle com orifícios e pressão de operação apropriados ou a utilização de chuveiros do tipo nozzles auto-limpantes;
- o uso de recuperadores e de pós-recuperadores eficientes. Nove de 11 máquinas aplicaram água branca em chuveiros após a utilização de separadores de sólidos como recuperadores, filtros em linha, ou peneiras finas. Notou-se também a necessidade de utilização de equipamentos adicionais de separação de sólidos na água branca, especialmente para o caso de fechamento de circuito;
- mistura do filtrado de água branca com água fresca;
- projeto de tubulações e de tanques de armazenamento exclusivamente para o uso de água branca para que a acumulação de sólidos possa ser minimizada. É importante estar atento para que elaboração destes projetos garanta subsídios adequados para mudança de velocidade nos chuveiros, nas tubulações e nos tanques de armazenamento, além de programas de manutenção para manter os componentes do sistema de água branca em boas condições de operação.

A respeito das medidas empregadas para minimizar o entupimento de chuveiros, pode-se constatar que a ocorrência de problemas intermitentes é inevitável. Por esta razão, o uso contínuo de água branca nos chuveiros é certamente realçado por:

- projetos de sistemas de água de chuveiros que permitam respostas flexíveis aos problemas ocasionados pelo reuso da água;
- compromisso pessoal de continuidade da planta industrial para com as medidas necessárias para a execução do reuso.

Em resumo, pode-se citar 4 aplicações nas quais deve-se investir em tecnologias ou adotar algum tipo de tratamento (na maioria das vezes para redução de sólidos), para que adote-se o reuso de água branca em chuveiros, as estas:

- chuveiros da caixa de entrada onde a utilização de água clarificada pode acarretar problemas de formação de espuma, porém isto pode ser prevenido;
- chuveiros do rolo dandy onde a aplicação de água clarificada pode resultar em picking;
- os chuveiros cortadores de folha (deckle) que utilizam jatos finos, que por sua vez, não podem conter contaminantes;

- os chuveiros da caixa de condicionamento de feltro para lubrificação com sprays que utilizam jatos finos de 0,8mm e baixo volume e portanto não toleram nenhum tipo de contaminante para a água.

Os chuveiros do tipo needle jet, com pressão de aproximadamente 18 bar e um jato de aproximadamente 1,5 mm, onde a conformidade e a distância são críticas, não podem utilizar água branca e nem clarificada.

Para tal aplicação deve-se adequar os parâmetros como sólidos dissolvidos, pH, e outros parâmetros químicos restritivos, que possam vir a causar problemas para os chuveiros da seção de feltros ou de formação, para que desta maneira, possam vir a garantir 100% do reaproveitamento da água branca. Para esta finalidade, pode-se utilizar filtros de gravidades apropriados para este tipo de operação.

A função destes filtros de gravidade, é evitar que ocorra entupimento ou obstrução dos chuveiros, através da pressão aplicada (pressão diferencial) na passagem da água branca pelos filtros de pressão e através da separação e do fracionamento das fibras mais longas.

Muitas fábricas utilizam equipamentos como flutuadores para reaproveitamento de água branca e recuperação de materiais para posterior reutilização (SOUZA, 2004).

Dentre as aplicações onde é possível a aplicação de água clarificada diretamente, pode-se citar, os chuveiros do tipo knock-off-shower, especialmente em máquinas de grandes dimensões e de alta velocidade, nas quais um alto volume de água é utilizado a alta pressão (aproximadamente de 70 a 120 litros/minuto/metro e a uma pressão de 7 a 12 bar).

Estes chuveiros são denominados de chuveiros com orifícios de jatos largos. O problema referente a estes chuveiros, entretanto, não está relacionada a quantidade de fibras e sim ao comprimento destas. Por exemplo muitas vezes, uma água de retorno de um tipo de processo com apenas 450 ppm de água, pode ser pior que uma água de retorno de outro processo com teores maiores de sólido dissolvidos.

Em algumas áreas específicas da máquina de papel, a aplicação de reutilização de água é questionável, este fato, se deve, não apenas ao teor de sólidos que podem ser removidos através de filtração, mas também ao teor de sólidos que podem ser precipitados, principalmente nos chuveiros de pressão dos feltros. Este problema pode ser impedido, através de novos projetos de feltros,

existentes no mercado, e de um melhor conhecimento químico das interações do sistema.

A reutilização de água branca e clarificada, em chuveiros, bem como o fechamento de circuito deste sistema, permite não só a economia de água fresca, mas também a redução do efluente gerado. Há exemplo de máquinas de papel inicialmente com o consumo de 2023 l/min de água fresca e após o fechamento de circuito deste sistema, o consumo de somente 148l de água fresca e um volume de água clarificada ou reciclada de 3149 l/min. Em outras palavras o volume de água utilizada nos chuveiros aumentou, porém, o volume de água fresca e o de efluente gerado, reduziu-se consideravelmente (MORLEY, 1990).

3.4.2.4 – Reuso de água em aplicações de selagem

Um resumo sobre os parâmetros qualitativos medidos referentes a água de selagem são mostrados na Tabela 21 abaixo:

Tabela 21 – Reuso de água em aplicações de selagem

Planta industrial	Água de selagem (ENTRADA)					Água de selagem (SAÍDA)				
	Temp. (°C)	SDT (mg/l)	SST (mg/l)	pH	Cor (pcu)	Temp. (°C)	SDT (mg/l)	SST (mg/l)	pH	Cor (pcu)
A	26,5	1180	<50	7,1	250	38	1080	100	7,3	250
B	48-49	1270	110-600	6,1-6,5	70-120					
D	29	490	20	7,4	35	40	880	60	7,6	125
H*	44-54	990-2370	20-50	5,3-5,7	30-90					
I	23	250	30	6,7	190	39	420	70	7,4	340
K*	45	2380-2530	20	7,4-7,7	70-80					
M	42	170	40	7,5	25	57	210	60	7,3	30
N	37	590-650	30-50	7,6	50-70					

Fonte: NCASI (1980).

A relação entre qualidade da água de processo e o potencial de reuso em brancas de branqueamento kraft e em sistemas de máquinas de papel.

Os valores médios para oito máquinas observadas encontram-se na Tabela 22.

Tabela 22 – Resumo dos parâmetros de qualidade de água de reuso para selagem em plantas industriais de produção de papel

Parâmetro qualitativo	Tamanho da amostra	Média	Desvio padrão
Temperatura (°C)	16	36,5	8,0
pH	16	7,1	0,5
Sólidos totais (ppm)	16	1066	740
Sólidos cinzas totais (ppm)	16	784	599
Sólidos voláteis totais (ppm)	16	282	184
Sólidos dissolvidos	16	1005	714
Sólidos cinzas dissolvidos (ppm)	16	753	599
Sólidos voláteis dissolvidos (ppm)	16	252	260
Sólidos suspensos (ppm)	16	68	145
Condutividade a 25°C (µmhos/cm)	16	1115	776
Cor (pcu ou ppm)	16	146	107
Dureza total (ppm equivalente a CaCO ₃)	16	141	104
Alcalinidade (ppm equivalente a CaCO ₃) ^a	15	111	65
Acidez (ppm CaCO ₃) ^b	15	7	3
Sulfato (ppm)	16	437	348
Cloreto (ppm)	16	26	17
Água fresca utilizada na planta industrial (gpt)	13	3094	1969
Descarte de Água na planta industrial (gpt)	8	2634	2451
Efluente total planta de papel e celulose	16	8852	3689

(a) análise para o pH de 3,7.

(b) análise para pH 8,3.

Fonte: NCASI (1980).

A qualidade da água de selagem é variável, dependendo de sua aplicação (em bombas de vácuo, “válvulas ou glândulas” ou selagem de flo-vac).

Estudos referentes a oito máquinas que utilizavam água para selagem demonstraram que:

- duas máquinas utilizaram filtrados de água branca em aplicações no sistema de flo-vac (plantas H e K);
- duas máquinas tiveram seu suprimento de água de bombas de vácuo e da selagem de das glândulas da bomba, abastecido pela mistura entre água branca tratada e água fresca (plantas A e D);
- duas máquinas tiveram seu suprimento de água de bombas de vácuo abastecido por água branca polida “Tratada” (plantas B e N);
- uma máquina utilizou um sistema de recirculação da água do selo da bomba de vácuo com uma torre de resfriamento (planta I);
- uma máquina utilizou um sistema de recirculação da água de selagem de bomba de vácuo que água fresca do sistema de tanque de descarga.

Dentre os problemas observados no reuso de água para selagem, pode-se citar: temperaturas elevadas de operação, escamação das correias de flo-vac, entupimento das linhas de selagem, corrosão de partes de aço temperado e acumulação de limo na água de descarga de selagem das bombas de vácuo.

Diversos problemas podem ser minimizados através da limitação do contato entre a água de selagem de bombas de vácuo e água branca da máquina de papel. Em média, a água de selagem aumenta aproximadamente 140 mg do teor de sólidos dissolvidos totais e 30 mg dos sólidos suspensos totais por litro de água utilizado na selagem. O aumento médio de temperatura nas bombas de vácuo é de 18°C.

Os dados contidos na Tabela 22 mostram uma temperatura média da água de selagem de 36,5°C para as máquinas observadas. A planta B foi a única que utilizou água quente para selagem. Outros fatores contribuíram para o sucesso da aplicação de reuso de água para selagem nas máquinas observadas, dentre estes: materiais de aço que minimizavam a corrosão, válvulas de nivelamento para reduzir o entupimento em linha, controle da temperatura sobre a água de selagem, e filtros em linha para tratamento de água visando minimizar o entupimento por sólidos maiores.

Existem atualmente sistemas de selagens alternativos que permitem a redução da utilização de água fresca, que utilizam equipamentos para filtração e trocadores de calor para a reutilização da água de selagem de bombas (MORLEY, 1990).

3.4.2.5 – Reuso de água para transferência de energia

É extremamente complicado realizar uma classificação dos parâmetros da água de reuso aplicada na transferência de energia.

De acordo com NCASI (1980), duas plantas industriais utilizaram uma combinação de água fresca e água branca para transferência de energia. Algumas plantas coletavam água de processo, sem contato direto ou com contato limitado com a máquina de papel, para reuso nos chuveiros dos feltros ou para reintrodução no sistema de suprimento de água fresca. Outras plantas, coletavam água quente e condensados para o uso na planta de produção de papel, nas mangueiras ou na utilização para a redução dos níveis de cloreto na caixa de entrada secundária. A

média dos parâmetros de qualidade de água utilizada para a transferência de energia nas plantas industriais está contida na Tabela 23.

Os problemas associados com a água utilizada para transferência de energia são geralmente associados à qualidade do suprimento de água fresca que limitam a prática de reuso. Dentre os problemas de qualidade de água fresca inclui-se a contaminação, através de cinzas, cascas, transporte de materiais e altos níveis de cloreto, do suprimento de água armazenado.

Tabela 23 – Resumo dos parâmetros de qualidade da água de reuso para aquecimento e resfriamento em plantas de produção de papel

Parâmetro qualitativo	Tamanho da amostra	Média	Desvio padrão
Temperatura (°C)	8	32,5	5,0
pH	8	7,2	0,3
Sólidos totais (ppm)	9	1071	677
Sólidos cinzas totais (ppm)	9	741	377
Sólidos voláteis totais (ppm)	9	330	362
Sólidos dissolvidos	9	1040	621
Sólidos cinzas dissolvidos (ppm)	9	672	388
Sólidos voláteis dissolvidos (ppm)	9	368	407
Sólidos suspensos (ppm)	9	44	86
Condutividade a 25°C (µmhos/cm)	8	950	342
Cor (pcu ou ppm)	8	164	124
Dureza total (ppm equivalente a CaCO ₃)	9	114	83
Alcalinidade (ppm equivalente a CaCO ₃) _T	8	136	56
Acidez (ppm CaCO ₃)*	8	10	1
Sulfato (ppm)	9	372	204
Cloreto (ppm)	8	18	7
Água fresca utilizada na planta industrial (gpt)	7	1383	358
Descarte de água na planta industrial (gpt)	9	2342	2106
Efluente total planta de papel e celulose	9	5612	1283

Fonte: NCASI (1980).

3.4.2.6 – Problemas gerais associados com reuso de água

A redução da quantidade de água fresca utilizada em máquinas de papel, geralmente, pode causar incremento das temperaturas, da concentração de sólidos dissolvidos e de fibras finas no sistema hídrico da máquina de papel. Nota-se problemas de entupimento em bocais e linhas, e dificuldades operacionais, devido ao acúmulo de fibras finas, as quais são responsáveis pelo incremento de água

fresca utilizada. Os problemas operacionais observados em algumas plantas de papel estudadas estão listados na Tabela 24.

Tabela 24 – Apresentação dos problemas relacionados ao reuso de água em 18 máquinas de papel

Problemas referentes ao reuso de água	Número de retornos ao uso de água fresca	Número de tolerâncias ao problema
Acúmulo de sólidos suspensos	3	11
Entupimento de linhas e/ou bocais	2	11
Depósitos internos ou externos aos equipamentos	0	4
Acúmulo de fibras finas na circulação da caixa de entrada	1	3
Aumento de sólidos dissolvidos	0	17
Corrosão	0	14
Formação de espuma	0	16
Formação de escala	0	8
Limo	0	14
Odor	0	3
Aumento da temperatura	0	5
Condicionamento de ar no local da máquina de papel	0	3
Excesso de água aquecida	0	0
Aumento da temperatura em água de selagem	0	2

Fonte: NCASI (1980)

O acúmulo de fibras finas geralmente é controlado através de:

- purga das fibras, por meio do sistema na linha superior;
- utilização de refinadores;
- aplicação de técnicas de remoção de sólidos finos.

Muitas plantas industriais de produção de papel apontam à recuperação de vapor como causa tanto do incremento de temperatura como da redução de água fresca. Algumas vezes, o aumento da temperatura pode causar problemas nos locais de sistemas de ar condicionado da máquina de papel e na operação dos anéis da bomba de vácuo.

O aumento da concentração de sólidos dissolvidos pode causar muitas dificuldades operacionais. Pode-se prever, por exemplo, a corrosão e a formação de espuma.

Muitas plantas industriais mencionam a importância dos sistemas de limpeza e de lavagem para a diminuição da concentração de sólidos dissolvidos. Os depósitos de bário e de cálcio, quando identificados, merecem atenção especial. Inibidores da formação de limo podem aumentar o potencial de reuso de água branca.

3.4.2.7 – Benefícios gerais associados com reuso de água

A mudança da utilização de água fresca por água de reuso pode acarretar também a redução da produção de efluentes da planta industrial. Além disso, a recuperação de energia e a redução de cargas podem estar associadas a estas práticas de reuso. Algumas plantas industriais que adotaram o fechamento do circuito de água branca tiveram como resultado a recuperação de 20% do vapor em excesso por tonelada de produção.

Dados históricos a respeito da carga do efluente primário de uma planta industrial antes e depois da aplicação do reuso podem ser observados na Tabela 25. Neste caso, a relação existente entre o volume, DBO e sólidos suspensos pode ser claramente observada. Entretanto, a relação entre a redução da carga destes parâmetros e da quantidade de água reutilizada depende intrinsecamente da maneira de como é realizado o reuso e das características de produção de cada planta industrial.

Tabela 25 - Redução de cargas associadas a práticas de reuso em uma planta industrial

	Média mensal (antes da implementação do reuso)	Média mensal (após a adoção do reuso)
Efluente total (gpt)*	9110	5400
DBO (#/ton)	32	25
Sólidos suspensos totais(#/ton)	41	21
Cor (#/ton)	-	-

Fonte: NCASI (1980)

gpt=galões por tonelada

3.4.2.8 – Conclusões a respeito da observação de práticas de reuso de água em plantas de produção de papel

Segundo NCASI (1980):

- em uma revisão de práticas de reuso realizada em 18 plantas de branqueamento kraft para produção de papel e em máquinas de papel de 14 plantas distintas que produziam entre (4300 e 15250 gal/ton) de efluente (aproximadamente 18,2-63,5 m³/ton) constatou-se que:
 - em todos os casos, a água branca da máquina de papel era usada para o suprimento de parte ou de todo o estoque de diluição;
 - 11 máquinas tinham barras de chuveiros operando com filtrado de água branca; em 9 dos 11 casos, equipamentos para recuperação de sólidos eram utilizados para produzir água de qualidade adequada para os chuveiros;
 - a água dos anéis da bomba de vácuo estavam operando utilizando água de reuso em 8 máquinas. O resultado da redução de água fresca dependia diretamente do modo de implementação do reuso.
- a taxa de corrosão uniforme no aço temperado 1020 variou de máquina para máquina. A taxa de corrosão estava entre 8 a 90 mili-polegadas por ano. Estas taxas aumentaram de acordo com a redução da quantidade de água fresca utilizada e, além disso, ocorreu o aumento da condutividade. O potencial de corrosão das fendas do aço 304 inoxidável foi constatado para o uso de água branca contendo concentrações de sólidos dissolvidos acima de 6000 ppm. Água branca com concentrações menores que 4500 ppm de sólidos dissolvidos não apresentaram este potencial. Algumas plantas apresentaram problemas de potencial de corrosão sobre depósitos de sulfato de bário no aço 316L inoxidável.
- as medidas mais altas de concentrações de sólidos dissolvidos que não apresentavam problemas operacionais de caráter inaceitável estavam na faixa entre 3500 e 4500 ppm. Entretanto, concentrações menores causaram dificuldades operacionais, de acordo com a natureza dos materiais dissolvidos. A temperatura mais alta encontrada na caixa de entrada foi de 62°C.
- o transporte de materiais pelas plantas de celulose foi apontado como causa direta ou indireta do aumento da concentração de sólidos dissolvidos no sistema hídrico da máquina de papel. A variabilidade da qualidade da água da

caixa de entrada tem sido apontada como uma das causas para a existência de transporte de materiais.

- o sucesso do uso de água branca em chuveiros tem sido associado com:
 - a seleção de chuveiros do tipo nozzle, com os bocais e orifícios apropriados para o uso de água branca, além do ajuste da pressão de operação destes chuveiros. Além disso, a utilização de chuveiros auto-limpantes permitiu o uso de água branca com sucesso;
 - a utilização de recuperadores (flotadores/filtros), antes e depois da utilização dos chuveiros;
 - a utilização da mistura de água fresca e água branca em algumas situações;
 - sistemas de suprimento de água para chuveiros flexíveis, projetados para o uso de água branca;
 - manutenção adequada;
 - compromisso pessoal, tanto de pessoas responsáveis pelo gerenciamento, como pela manutenção destes equipamentos.
- as reduções dos valores de cargas totais relacionadas com a quantidade de água fresca utilizada foram difíceis de constatar; porém, experiências realizadas em algumas plantas demonstram, entretanto, uma relação direta entre a redução da quantidade de água fresca utilizada e a redução das cargas totais do efluente final.
- os resultados deste estudo demonstram a necessidade de investigação de três aspectos, relacionados ao reuso de água:
 - a definição dos destinos e dos impactos causados tanto por materiais contidos no transporte da polpa de celulose como também pelos aditivos da máquina de papel;
 - a demonstração de métodos que permitam o dimensionamento da capacidade máxima de estoque de água branca para atingir o ótimo de reuso;
 - a necessidade de mais experiências a respeito dos métodos mais eficazes para separação de sólidos destinados ao tratamento da água branca aplicada para reuso.

3.4.3 – Situação atual a respeito da aplicação da água branca reciclada na fábrica de papel

Segundo COSTA & WÖRSTER (1997), a água do tanque de água branca e de “pit” de tela da máquina de papel já está sendo usada em muitas aplicações na maioria das fábricas modernas. As aplicações incluem diluição no hidropulper para todos os materiais fibrosos e para controle de consistência e água de diluição no sistema de preparação da polpa.

“Existem vários tipos de equipamentos para remover sólidos suspensos, como os “finos” da água branca, tais como engrossadores, peneiras e filtros” (COLDICOTT, 1986 apud COSTA & WÖRSTER, 1997*). Os engrossadores têm um papel de grande importância na fábrica de papel, como na recuperação das fibras e também da água branca clara, às vezes chamados filtrado claro. Um engrossador bem controlado pode fornecer filtrado de alta qualidade que pode ser usado em chuveiros, tais como os chuveiros para “Trim” e “Knock-off”, rolos que retornam a tela, rolo breast, rolos sulcados, caixa de entrada e aplicação de produtos químicos.

SPRINGER (1993) apud COSTA & WÖRSTER (1997)* diz que “aparentemente a água branca clarificada vinda do engrossador está sendo usada com êxito também como água de chuveiros de feltros na manufatura de papelão combinado e de papel tissue”. Já BARTON et al. (1996) apud COSTA & WÖRSTER (1997)* afirma que “em algumas fábricas, a água branca passa por um filtro com ranhuras ‘slotedd strainers’ ”. Filtros de pressão, juntamente com engrossadores a disco e flotação, normalmente oferecem a eficiência máxima para remoção de finos. De qualquer forma, engrossadores por flotação aparentemente não trabalham bem com a água que contenha alta porcentagem de cargas.

De acordo com a citação feita acima, a qualidade do filtrado claro vindo do engrossador pode ser melhorada por filtração adicional com um filtro de gravidade, peneiras ou filtros em linha. Para que se tenha uma filtração eficiente, o tamanho, a forma, a densidade, a retenção de água das partículas e a concentração do material a ser removido, devem ser considerados, durante a escolha do tamanho apropriado das aberturas do equipamento de filtração, por exemplo, o tamanho da ranhura longitudinal de um filtro “strainer”.

* COSTA, M. M.; WÖRSTER, H. E. (1997). *Fechamento de Circuito da Água Branca em Indústrias de Papéis*. /Apresentado ao Seminário Internacional sobre Fechamento de Circuito, Vitória, 1997/.

A filtração feita por ranhuras normalmente é preferida quando comparada àquela realizada pela malha de arame, porque materiais fibrosos tendem a agarrar nas malhas e tampá-las. Deve ser mencionado a existências de pontos no sistema dos chuveiros com a finalidade de realização da purga. Eles são baseados em um arranjo mecânico para aumentar o diâmetro do bocal do chuveiro momentaneamente, fato que permite uma remoção muito rápida de impurezas.

Bocais auto-limpantes são usados em chuveiros de alta pressão e do tipo “needle jet” para limpar telas com água branca clarificada contendo concentrações muito baixas de sólidos suspensos.

3.4.3.1 – Água de selagem, resfriamento, lavagem e vazamento

Segundo COSTA & WÖRSTER (1997), pelo menos uma fábrica de papel ondulado localizada no Canadá substituiu com êxito a água fresca pela água do processo para selagem de bombas de vácuo, depois da instalação de uma unidade de resfriamento para poder controlar os níveis de vácuo necessários.

Entretanto, antes dessa mudança, foi observado que a água de selagem das bombas de vácuo era contaminada, pois apresentava elevados valores de sólidos suspensos, de demanda bioquímica de oxigênio e de toxicidade.

“Sete, das nove fábricas de papelão reciclado avaliadas nos Estados Unidos há dois ou três anos, também usavam a água do processo com uma temperatura de 50 a 60 ° C para a água de selagem das bombas de vácuo” (BARTON et al., 1996 apud COSTA & WÖRSTER, 1997*).

Essas fábricas, sacrificavam a eficiência das bombas em troca de poder controlar o balanço de água. A fonte de água utilizada no processo geralmente é o tanque de água clarificada, que normalmente não possui limpeza mecânica como filtração.

Em uma das fábricas, a água de selagem antes de ser utilizada nas bombas de vácuo passava por uma peneira tipo “side-hill screen de 200 mesh” feita de aço inoxidável. Todas as sete fábricas avaliadas descartavam a água de selagem contaminada pelas bombas de vácuo no sistema da água de processo.

* COSTA, M. M.; WÖRSTER, H. E. (1997). *Fechamento de Circuito da Água Branca em Indústrias de Papéis*. /Apresentado ao Seminário Internacional sobre Fechamento de Circuito, Vitória, 1997/.

Um sistema separado de circulação foi sugerido para diminuir os grandes volumes de água usados na selagem das bombas de vácuo. Isso envolveu o recolhimento de toda a água de selagem em um tanque localizado abaixo das bombas, resfriamento da água, de preferência em uma torre de resfriamento, e em seqüência voltá-las às bombas. Um sistema de separação de vapor-líquido também foi considerado necessário antes das bombas no sistema de recirculação.

MCCLEAN (1993) apud COSTA & WÖRSTER (1997)* descreveu o sistema de selagem das bombas de vácuo da empresa Coledonian Paper na Inglaterra. O sistema precisava somente de 40m³ de água fresca para a produção de 580 toneladas de papel tipo LWC por dia.

Os componentes do sistema eram um tanque de água, com uma bomba para fornecer água a nove tipos de bomba tipo Nash 904, um sistema para controlar a pressão e a temperatura no tubo de descarga da bomba do tanque, uma calha de água abaixo da bomba de vácuo, duas bombas para transferir a água da calha a uma torre de resfriamento, uma peneira para remover contaminações e um tanque de coleta de água.

O nível desse tanque de coleta de água era controlado automaticamente, conforme a água fresca era fornecida. Para reduzir ao mínimo a corrosão da manta das bombas feita de aço comum, o valor de pH da água de processo, deve ser mantido acima de 5,5.

A melhor estratégia é manter a água de resfriamento completamente separada para se evitar a contaminação com agentes químicos, fibras e água branca. Uma sarjeta separadora é necessária onde a água será descartada sem tratamento a menos que exceda a temperatura permitida. Caso seja preciso, que passe por um processo de resfriamento antes de descartá-la, talvez uma combinação de um trocador de calor para aquecer a água fresca seguida por uma torre de resfriamento pode ser um compromisso atrativo em algumas situações. Este caminho oferece uma outra opção para recircular água.

Conforme BOLICK & YOLTON (1966) apud COSTA & WÖRSTER (1997)*, em uma fábrica com circuito fechado de água, uma torre de resfriamento pode evaporar um volume significativo de água, desta forma podendo aumentar a necessidade de reposição de água fresca.

* COSTA, M. M.; WÖRSTER, H. E. (1997). *Fechamento de Circuito da Água Branca em Indústrias de Papéis*. /Apresentado ao Seminário Internacional sobre Fechamento de Circuito, Vitória, 1997/.

Com relação ao resfriamento do equipamento ao ar livre e aplicações não relacionadas ao processo como aparelhos para ventilação de edifícios, a água de resfriamento tipicamente é usada para lubrificação e para unidades de circulação hidráulica de óleo.

ENGLISH (1994) apud COSTA & WÖRSTER (1997)*, relata ser possível realizar a coleta desta água, realizando a separação da água e do óleo através de um equipamento desenvolvido para esta finalidade. Deste modo é possível utilizar esta água, para reposição de água fresca consumida no processo ou recirculá-la parcialmente por um trocador de unidade hidráulica. Caso adote-se esta ação, o autor recomenda que o fluxo frio de reposição de água fresca, utilizado no circuito de água de resfriamento seja controlado, para que a temperatura da água circulada seja limitada e utilize-se o menor fluxo de água, evitando assim o crescimento biológico no circuito de água de resfriamento.

Em ambos os casos, o fluxo dessa água deve fazer parte da unidade hidráulica servidora. Em muitas instalações, desenhos de refrigerador a ar podem ser escolhidos para caixas de cambio, freios condicionadores de ar e transformadores elétricos para poder reduzir a demanda de água de resfriamento.

A água clarificada do engrossador pode substituir parte da água fresca usada para limpeza. Mas uma quantidade indeterminada de água fresca sempre será necessária para que se possa manter tanto a produção de papel como a qualidade deste a um nível satisfatório. Depois do uso, a água de limpeza pode ser tratada (clarificada), para a remoção de sólidos suspensos antes desta passar por um tratamento adicional, para recircular a água, por exemplo, coagulação e precipitação dos contaminantes seguido de decantação e da passagem da água por um adensador de lodo. No entanto, esse processo aumenta a quantidade de resíduos sólidos que teriam de ser descartados em um aterro.

Nas fábricas com circuitos fechados, o transbordo obviamente não poderá ser descartado, por isso, valas e tanques devem ser instalados e interligados com diques de tanques, silos e caixas de água e de polpa.

Esses materiais recuperados através da coleta do transbordo, em seguida, podem ser retornados ao processo dependendo do tipo de papel e dos equipamentos da fábrica. A água branca transbordada pode ser reciclada ao

* COSTA, M. M.; WÖRSTER, H. E. (1997). *Fechamento de Circuito da Água Branca em Indústrias de Papéis*. Apresentado ao Seminário Internacional sobre Fechamento de Circuito, Vitória, 1997/.

processo com ou sem clarificação. Nas fábricas novas, tanques e silos maiores podem ser instalados para poder reduzir a possibilidade de transbordo.

3.4.4 – Conclusão sobre o fechamento de circuitos de água branca na indústria de papéis

Após a discussão anterior baseada em revisões de literatura, a respeito dos pontos a serem considerados em fechamento de circuitos de água branca em indústrias de papéis e dos principais passos a serem tomados para este fim, pode-se concluir que, embora existam vários passos a serem tomados em direção ao fechamento de circuito da água branca, estes serão específicos para cada fábrica e processo individualmente, assim como as potenciais consequências e impactos potenciais ao funcionamento das fábricas.

Entretanto algumas regras básicas podem ser confirmadas. Elas podem incluir, mas não são limitadas às seguintes atividades:

- planejamento intensivo baseado em conhecimento detalhado da fábrica e da engenharia do processo;
- comprometimento aos métodos científicos;
- como primeiro passo, redução intensiva do consumo de água fresca;
- substituição de água fresca pela água branca em vários estágios juntamente com algumas séries de experimentos;
- aumento da qualidade da água branca (ou em outros casos u de outro tipo de água- ex: água clarificada), por exemplo a redução de finos da água branca através da filtração antes desta mesma ser utilizada em chuveiros da máquina de papel;
- recirculação separada e tratamento adequado às águas de resfriamento e selagem.

4 – Metodologia Proposta

Este capítulo trata da metodologia proposta para a realização de um estudo visando à implantação de conservação de água na indústria de papel e celulose.

Esta metodologia será aplicada especificamente para um estudo de conservação de água em uma máquina para produção de papel cartão. As etapas necessárias para a realização deste estudo serão descritas a seguir.

4.1 – Etapa 1 – Definição do processo

Para a execução de qualquer tipo de estudo científico, é necessário o levantamento de uma revisão bibliográfica referente ao enfoque do estudo realizado.

Esta etapa tem como objetivo gerar um mapeamento, um modelo hídrico do processo, sendo que todas as informações que caracterizam e restringem o processo devem estar estabelecidas.

No caso de um estudo para aplicação de conservação de água em uma indústria ou processo específico, deve-se coletar informações referentes à:

4.1.1 – Descrição do processo industrial de interesse

Consta na realização da descrição minuciosa do processo em questão: componentes e equipamentos, tecnologias, operações, insumos, enfim, deve-se descrever todas as características intrínsecas do processo, desde a entrada dos insumos até a obtenção do produto final. As informações necessárias para esta etapa, devem ser obtidas tanto de literatura específica, como de documentos da própria empresa, portanto é preciso:

- Levantar fluxogramas do processo;
- Desenhos de equipamentos;

- Levantar procedimentos operacionais;
- Levantar dados históricos sobre o processo (variáveis de interesse);
- Definir os parâmetros restritivos para o processo, produção e qualidade do produto.

4.1.2 – Definição das variáveis de interesse

Após o mapeamento detalhado do processo e da obtenção de dados históricos referentes às variáveis de interesse, deve-se:

- definir as variáveis a serem medidas, dentre estas:
 - dados de produção do processo;
 - dados referentes aos fluxos hídricos do processo:
 - parâmetros físicos: vazão, temperatura, etc;
 - parâmetros qualitativos: Sólidos suspensos, pH, DBO, DQO, entre outros;
- localizar os pontos de medição: Após a elaboração do fluxograma do processo e de uma planta do processo como um todo, é necessário definir quais os pontos de medição, sua localização, e a partir destes dados, quais os métodos de medição mais adequados.

4.2 – Etapa 2 – Diagnóstico hídrico

A realização de um diagnóstico hídrico da forma correta depende diretamente do levantamento de dados realizado anteriormente. Este deve conter todas as informações necessárias para a realização das etapas subseqüentes, que podem ser divididas em duas fases:

4.2.1 – Fase 1 – Realização das medições das variáveis de interesse

Nesta fase será realizado um levantamento de dados in loco, isto é, no(s) equipamento(s) do processo em questão. Nesta fase deve-se:

- definir os instrumentos de medição para cada local identificado:(como por exemplo: tipos de medidores de vazão, pressão e temperatura);
- instalar instrumentos de medição;
- estabelecer o número de amostras necessárias para caracterizar o sistema (para levantamento dos parâmetros qualitativos: DBO, DQO, sólidos suspensos, etc);
- coletar dados.

4.2.2 – Fase 2 – Análise da consistência dos dados coletados e medidos na empresa

Muitas vezes, é possível ocorrer uma relação discrepante entre os dados obtidos em documentos da empresa e os dados coletados em campo. Quando isso ocorre, deve-se identificar a causa deste “desencontro de informações”. Segundo, (HESPANHOL & MIERSWA, 2005), dentre as possíveis causas para esta situação, podem estar:

- falta de atualização nos documentos da empresa;
- realização das medições da forma incorreta(por uma das partes);
- medições realizadas em pontos distintos;
- medições realizadas em situações atípicas de produção da empresa.

Deve-se ressaltar que, maneiras distintas de execução das medições podem produzir uma pequena diferença entre os valores encontrados, porém esta situação não denota uma situação anormal (com grande discrepância de dados), que possa representar algum tipo de falha.

4.3 – Etapa 3 – Estudo de conservação de água

Como já fora dito anteriormente, um estudo de conservação de água na indústria, possui como objetivo a otimização do uso da água industrial e portanto inclui: medidas de racionalização do uso da água, recirculação do uso da água e reuso de águas servidas (FIESP, 2004).

A racionalização do uso da água, visa minimizar perdas e desperdícios, através da identificação destas, de suas causas e da implantação de medidas

corretivas, já a decisão pela adoção de procedimentos de recirculação e de reuso de água, torna-se mais complexa, devido a um número maior de variáveis que devem ser consideradas.

Deve-se estar atento para o fato de que, apenas após a adoção de medidas visando a racionalização do uso da água, é que deve-se partir para a hipótese de implementação do reuso e da recirculação de efluentes. A seguir será descrita cada fase desta etapa.

4.3.1 – Fase 1 – Avaliação de perdas e desperdício

Nesta fase, é necessário investigar a existência de perdas, desperdício e diferenciá-los. Anteriormente, na seção 2. deste trabalho de dissertação, definiu-se a diferença básica entre ambos e denominou-se dois tipos de perdas:

- perdas voluntárias, inerentes ao processo;
- perdas involuntárias, que ocorrem devido a ineficiência do processo.

Além desta denominação, a respeito da definição dos tipos de perdas, classificou-se estas em:

- perdas facilmente detectáveis: perceptíveis a olho nu;
- perdas dificilmente detectáveis: detectadas apenas através de manchas de umidade, ruídos, etc.

Para a realização desta fase deve-se realizar a:

- segregação dos fluxos hídricos;
- balanço de massa;
- análise do balanço de massa;
- identificação dos pontos onde ocorrem perdas ou desperdícios;
- classificação dos tipos de perdas;
- quantificação das perdas ou dos desperdícios identificados;
- identificação das causas;
- proposição das ações corretivas.

Segundo HESPANHOL & MIERZWA (2005), dentre as possíveis causas para a existência de perdas e desperdícios, pode-se citar :

- mau funcionamento de dispositivos;
- uso inadequado de equipamentos ou de dispositivos;

- condições operacionais inadequadas;
- vazamentos em tubulações, torneiras e acessórios;
- falta de manutenção nos dispositivos de armazenagem, transporte e distribuição de água;
- uso de equipamentos com elevado consumo;
- realizações de operações simultâneas por um mesmo operador;
- ausências de instrumentos para monitoração das variáveis do processo;
- prevalência da cultura de que a água é um bem infinito, nos diferentes níveis hierárquicos das indústrias.

Dentre as ações corretivas para minimizar perdas e desperdício estão:

- mudança nos procedimentos operacionais;
- treinamento de operadores;
- mudança de equipamentos que utilizam alto volume de água;
- substituição de dispositivos e equipamentos em más condições;
- alteração do método de produção, de preferência para forma contínua e automatizada;
- reaproveitamento de perdas ou de desperdícios, no próprio processo, através uma avaliação para implementação do reuso, por exemplo;
- adoção de medidas de otimização do processo para perdas voluntárias, como por exemplo, para controle de purgas em sistemas de resfriamento e de operações de lavagem.

4.3.2 – Fase 2 – Reavaliação do diagnóstico hídrico

Após a implementação das medidas para “correção” de perdas e desperdício, é necessária uma nova avaliação do diagnóstico hídrico.

Deve-se realizar uma avaliação dos impactos causados, ao modelo elaborado na etapa de diagnóstico hídrico, devido ao desdobramento das ações para redução de perdas e desperdício, no que diz respeito aos valores de vazão e de concentração dos fluxos hídricos.

4.3.3 – Fase 3 – Proposição do método de avaliação do potencial da reutilização de efluentes

A metodologia utilizada para proposição do método de avaliação do potencial de reutilização de efluentes deste trabalho de dissertação, pertence à linha heurística, isto é, foi desenvolvida de forma lógica, baseando-se no conhecimento acumulado de estratégias já comprovadas.

Este modelo fornece as alternativas para reutilização de efluentes, com base em suas características qualitativas (parâmetros físico- químicos) e quantitativas (vazão).

Os passos que antecedem à aplicação desta metodologia são:

- classificação das categorias de água de alimentação do processo (fluxo de entrada), com base nos parâmetros qualitativos, coletados na etapa de diagnóstico hídrico;
- classificação dos efluentes do processo de acordo com parâmetros qualitativos;
- obtenção dos dados a respeito dos parâmetros restritivos (físico- químicos) dos fluxos hídricos de cada processo envolvido.

De posse destes dados, é possível obter uma orientação para a escolha da melhor alternativa para reaproveitamento de efluentes, baseando-se nos parâmetros restritivos de cada processo envolvido.

O algoritmo elaborado para determinação do potencial de reutilização de efluentes, adotou o seguinte nível de prioridade:

- Reuso direto: considerada a primeira e melhor opção de reutilização de efluentes, principalmente devido a possuir custo zero no que diz respeito a tratamento. Pode ser adotada, quando a concentração dos parâmetros do efluente para reuso, são menores ou iguais aos parâmetros de entrada de um processo, e portanto não se faz necessária nenhuma adequação qualitativa.
- Reuso direto com diluição: esta opção, que não deixa de ser uma aplicação de reuso direto, também apresenta custo zero relativo a tratamento. Pode ser aplicada, quando os parâmetros do efluente são compatíveis aos parâmetros de entrada de um determinado processo, porém a vazão deste efluente não for suficiente para suprir a vazão de entrada requerida. Neste caso, pode-se optar pela mistura deste efluente com outro, de melhor qualidade ou adicionar água fresca, de modo que este atenda a vazão necessária. Para testar esta possibilidade, é preciso realizar um balanço de massa simples, que permite

obter a simulação de diferentes porcentagens de mistura, bem como a concentração de entrada obtida para cada uma destas possibilidades. A eq. 1 utilizada para o balanço de massa é a seguinte:

$$m_{RD} \cdot C_{RD} = m_{E1} \cdot C_{E1} + m_{E2} \cdot C_{E2} + m_{En} \cdot C_{En} \quad \text{eq.1}$$

onde :

m_{RD} = vazão de entrada para reuso com diluição (m^3/h)

C_{RD} = concentração de entrada para reuso com diluição (mg/l)

m_{E1} = vazão do efluente 1 (m^3/h)

C_{E1} = concentração do efluente 1 (mg/l)

m_{E2} = vazão do efluente 2 (m^3/h)

C_{E2} = concentração do efluente 2 (mg/l)

m_{En} = vazão de efluente n (m^3/h)

C_{En} = concentração do efluente n (mg/l)

- Reciclo: a opção tratada como reciclo, neste trabalho de dissertação, refere-se à reutilização do efluente para a mesma função original. Deve-se optar por esta opção, no caso do efluente gerado no próprio processo possuir parâmetros qualitativos muito próximos a água de alimentação. Neste caso, nem todos os parâmetros precisam ser adequados para sua reutilização, porém é imprescindível a utilização de alguma forma de “tratamento” para a adequação deste efluente. A concentração limite de entrada do parâmetro mais restritivo do sistema é que determinará o número máximo de ciclos.
- Reuso pós-tratamento: esta é a forma de reutilização de efluentes adotada em última instância, caso não exista a possibilidade da implementação das alternativas anteriores, isto é, quando os parâmetros do efluente possuem concentrações relativamente maiores que os requisitos de entrada de água do processo, deve-se optar pela opção de reuso pós- tratamento. Para tanto, deve-se listar quais as opções de tratamento existentes e escolher dentre estas a mais viável.

É importante ressaltar que este trabalho não aborda a questão custo, na decisão de implementação, devido ao fato, do estudo de caso ser realizado apenas em um setor da empresa e não na planta industrial como um todo, portanto, sem os subsídios necessários para a execução de um estudo com enfoque econômico e segundo porque têm como objetivo o desenvolvimento de uma metodologia para

implementação do reuso a partir dos aspectos qualitativos e quantitativos de uso da água, deixando a critério da indústria a escolha da melhor opção a partir de aspectos econômicos.

O algoritmo desenvolvido para a determinação do potencial de reuso de água está apresentado na forma de fluxograma das Figuras 12 e 13.

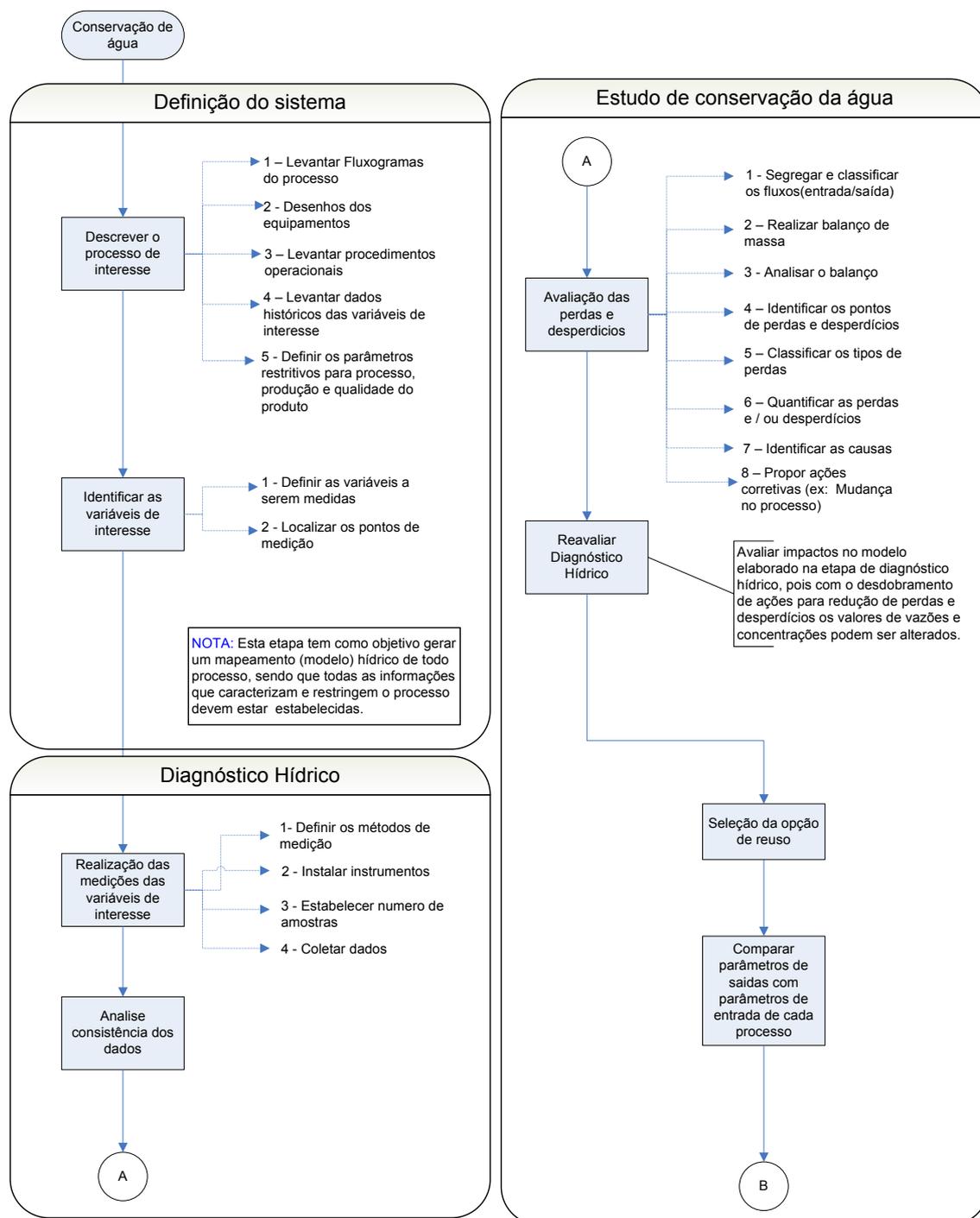


Figura 12 – Potencial de reuso da água

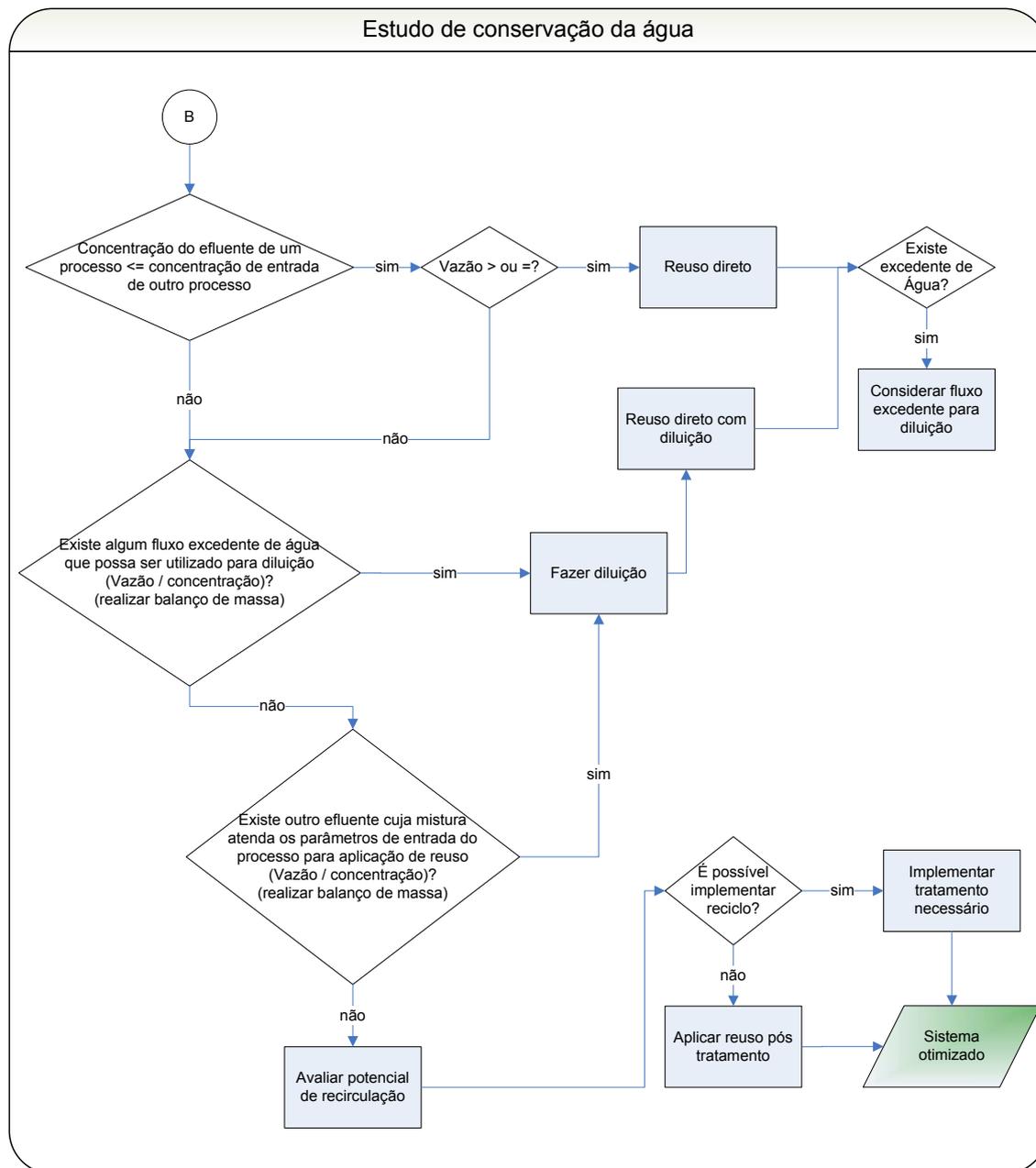


Figura 13 – Estudo de conservação de água

5 – Estudo de caso

Este trabalho apresentará um estudo de caso na indústria de papel e celulose, visando avaliar o potencial de aplicação da conservação e reuso de água na máquina de papel cartão MB-6 da unidade localizada na cidade de Suzano-SP, da indústria Suzano Bahia Sul Papel e Celulose S.A., abaixo referida como Suzano.

Esta máquina foi escolhida como objeto de estudo pelos engenheiros da Suzano por ser responsável pelo maior valor de consumo água ($388 \text{ m}^3/\text{h}$) e pela maior parcela de efluentes dentre as máquinas de papel ($500 \text{ m}^3/\text{h}$).

A indústria de papel e celulose, escolhida para estudo de caso, têm sua captação de água proveniente da bacia do Tietê, considerada com alto nível de estresse hídrico. A cobrança ainda não foi implementada, nesta bacia, mas o projeto de cobrança está em discussão.

Esta indústria utiliza em torno de $40 \text{ m}^3/\text{ton}$ de produção acabada (celulose de mercado e papel), consome cerca de $3340 \text{ m}^3/\text{h}$ e o volume de efluente gerado, situa-se em torno de $2970 \text{ m}^3/\text{h}$, incluindo água pluvial, e sem segregar efluentes sanitários de industrial.

A parcela do consumo de água industrial, referente ao consumo de máquinas de papel corresponde a cerca de 24% do total, sendo que a máquina determinada para a realização deste estudo de caso, é responsável pelo consumo de quase metade desta porcentagem e é a que possui a maior geração de efluentes, isto é, 17% da parcela total.

Para se realizar um estudo como este é necessário que se tenha profundo conhecimento a respeito do processo em questão, com todas as particularidades específicas da máquina MB-6 localizada na fábrica da Suzano. Só assim, é possível definir com certeza os pontos de geração de efluentes e de consumo realmente relevantes, os parâmetros de qualidade a serem adotados bem como os pontos e métodos de medição de vazão.

Sendo assim, a primeira etapa foi composta por uma definição do sistema, isto é, por um levantamento de todo o tipo de informação relacionada ao funcionamento da máquina de papel e do processo de preparação de massa, através de desenhos técnicos (fluxogramas de processo), desenhos do software de operação da máquina e uma revisão da literatura disponível na biblioteca da Suzano.

A segunda etapa, refere-se à realização do diagnóstico hídrico da máquina de papel, que inclui a identificação dos pontos de coleta de dados, a realização das medições e das análises necessárias e finaliza-se com a análise de consistência de dados entre as medições e análises realizadas neste estudo e os dados obtidos através de documentos da indústria.

A terceira e última etapa diz respeito ao estudo de conservação de água, isto é, inicia-se com a caracterização e a classificação de todas as entradas e saídas de água da máquina de papel cartão MB-6, de acordo com os dados qualitativos e parte para a determinação do potencial de racionalização de água (identificação de perdas e desperdícios) e do potencial de reuso da máquina de papel MB-6.

5.1 – Etapa 1 – Descrição do processo de fabricação de papel

A evolução tecnológica do processo de produção do papel é fundamentalmente dependente da evolução de cada de seus itens e dos dispositivos que permitem a operação coordenada dos mesmos. A produtividade e a qualidade do papel produzido são decorrentes da tecnologia que se dispõe em um dado momento. As etapas de preparação da massa que antecedem a entrada da máquina MB-6 estão contidas no ANEXO B.

5.1.1 – Máquina de papel

A máquina MB-6, onde são produzidos os papéis-cartão, permite a formação simultânea de quatro folhas ou camadas que, superpostas, formam o produto (Figura 14). Na mesma máquina, este cartão recebe recobrimento superficial através de pintadoras em linha.

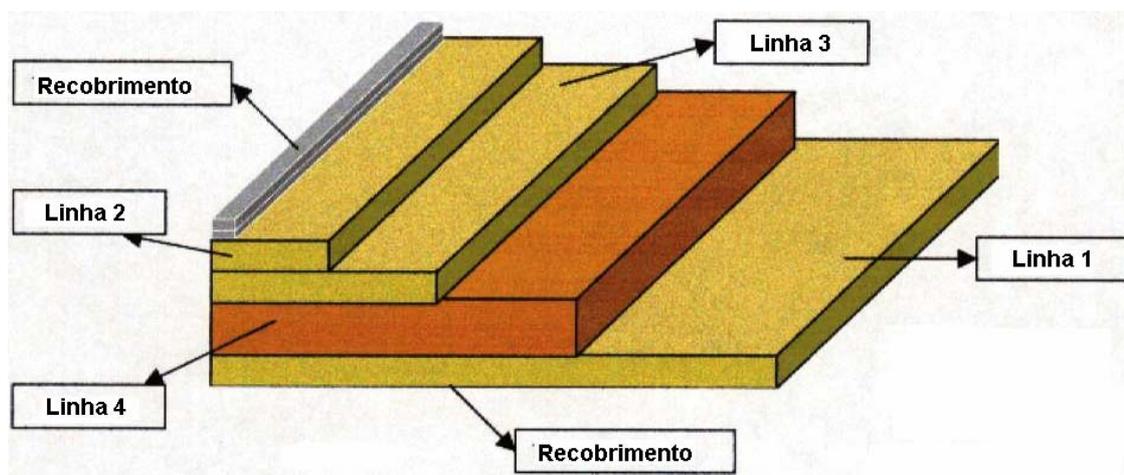


Figura 14 – Superposição das quatro linhas da máquina MB-6

Em função da matéria prima utilizada, o papel cartão pode ter as quatro camadas de celulose virgem e branqueada (BEKP) formando um cartão branco de alta qualidade, duas camadas externas de celulose branqueada (BEKP) e as camadas internas de pastas de alto rendimento (PM, CTMP), uma camada de celulose branca (BEKP) e as camadas internas de pastas de alto rendimento (PM, CTMP) e uma de celulose não branqueada (O₂-SBEKP), ou ainda uma camada de celulose branca (BEKP), as camadas internas de fibras recicladas e uma de celulose não branqueada (O₂-SBEKP). Estas combinações formam a atual linha de produtos da Suzano (Tabela 26).

Tabela 26 – Matérias-primas componentes dos produtos da linha de papéis-cartão da Suzano

	SBS	TRIPLEX	DUPLEX
LINHA 2	BEKP	BEKP	BEKP
LINHA 3	BEKP+APARAS	BEKP+APARAS	O ₂ -SBEKP+APARAS
LINHA 4	BEKP+BCTMP	BEKP+MP+CTMP	O ₂ -SBEKP+MP+CTMP
LINHA 1	BEKP	BEKP	O ₂ -SBEKP

A MB-6 é uma máquina moderna em termos de largura e estrutura mecânica, apesar de ter sua instalação realizada há cerca de trinta anos (1974), e sido reformada há nove anos.

A parte da fabricação de Papel desde a caixa de nível até a saída do conjunto de prensas. Seu objetivo é obter a perfeita formação da folha, diluindo a

massa a uma consistência suficientemente baixa, que permita um grau uniforme de distribuição das fibras, mantendo-as de forma homogênea, ao mesmo tempo em que inicia a drenagem da água.

A drenagem da água ocorre pela ação da gravidade e das bombas de vácuo sobre a massa depositada na tela, removendo o máximo possível da água das fibras, antes que a folha passe para a seção de prensagem.

Na prensagem o objetivo é remover grande parte da água da folha para se obter economia na secagem e produzir uma folha mais seca, mais resistente e menos sujeita a quebras. O processo é controlado através do ajustes dos perfis de gramatura das telas, das consistências das caixas de entrada, relação jato/tela, vácuos das mesas planas e outros pontos conforme a receita de fabricação.

Existe uma parte da máquina, onde se aplica a tinta (à base de látex e pigmentos minerais) na superfície do cartão, cujo o objetivo consiste na melhora da folha. A aplicação de tinta é controlada através do ajuste do ângulo e pressão do encosto das lâminas, ajuste do perfil de aplicação através dos manípulos acompanhando os resultados apontados no Measurex (Sistema de Controle Eletrônico que auxilia o processo de produção e operação da máquina). São verificadas as condições de limpeza dos rolos aplicadores e rolos guias, desgaste das lâminas, limpeza das peneiras, calhas e tanques e é feito o acompanhamento visual constante do cartão para identificar defeitos de superfície de forma a garantir a qualidade do produto acabado.

O processo contínuo de remoção de água do papel por evaporação, através da aplicação de calor, é basicamente composto por: cilindros secadores (dispostos em grupos), sistema de vapor e condensado, prensa de cola, sistema de amido, calandra, enroladeira, sistema aquatrol, sistema CalCoil, sistema aerotérmico, telas secadoras e desagregadores.

O processamento da parte de Secagem é subdividido em:

- pré-secagem: compreende os secadores antes da calandra size press;
- secagem final: compreende os secadores após a siza press;
- calandra: consiste em dar acabamento superficial ao papel, determinar a espessura e obter alisamento final;
- enrolamento: consiste em bobinar toda a produção dando condições ao papel de receber posteriormente os testes de qualidade, corte e acondicionamento conveniente.

A pré-secagem e a pós-secagem são efetuadas em ambiente fechado, a fim de evitar a entrada de correntes de ar e troca de calor com o exterior.

A capota que isola o ambiente de secagem denomina-se coifa e proporciona maior eficiência na evaporação da água do papel.

Nesta área são controladas as pressões de vapor dos vários grupos, conforme a receita de fabricação, de forma a obter a umidade e encanamento especificado. Controla-se também a concentração de amido, para obter a resistência superficial necessária, e as pressões de trabalho das calandras, conforme a receita de fabricação, para atingir a especificação do produto. São checadas as condições físicas dos rolos, funcionamento das raspas de toda área, filtros e peneiras das prensas de colagem, limpeza das telas secadoras e monitora-se as tendências e perfis do cartão quanto aos parâmetros de qualidade, dentre estes, espessura, gramatura e umidade, através dos quatro scanners da máquina.

A parte da máquina composta pelo desenrolador, pelos rolos guia e pelas facas rotativas têm como função transformar os rolos jumbo, produzidos na máquina de papel, em bobinas com larguras e diâmetros especificados.

No acabamento as bobinas são embaladas em sistemas semi-automáticos ou então cortadas em folhas de formato, conforme pedido. As folhas são empilhadas em pallets e também são embaladas em sistemas semi-automáticos, onde se mantém um padrão elevado de higiene e limpeza.

Após a obtenção da descrição operacional das etapas do processo da máquina de papel cartão MB-6, obteve-se os desenhos e fluxogramas a respeito deste processo existentes na indústria.

5.1.2 – Identificação dos pontos de coleta de dados

Após a coleta de informações e compreensão do processo por inteiro, foram elaborados fluxogramas detalhados do processo e do circuito de água da máquina MB-6. A análise dos referidos fluxogramas possibilitou uma visão mais holística da MB-6, e viabilizou a identificação dos pontos relevantes de coleta de dados quantitativos e qualitativos.

Os dados identificados para medição foram vazão e parâmetros qualitativos: cálcio, DBO, DQO, pH, cor, condutividade, sólidos totais, sólidos voláteis totais, sólidos suspensos, oxigênio dissolvido, temperatura.

5.2 – Etapa 2 – Diagnóstico hídrico

O diagnóstico hídrico realizado compõe-se de duas fases, sendo estas:

- Fase 1: Medições das variáveis selecionadas;
- Fase 2: Análise da Consistência de Dados;

5.2.1 – Fase 1 – Medições das variáveis selecionadas

- **Medição das Vazões**

A coleta de dados quantitativos foi feita medindo-se a vazão das entradas de água industrial e dos efluentes gerados na máquina, excluindo-se os pontos em que a medição foi impossibilitada pela inacessibilidade, não atendimento às exigências do equipamento e ainda nos pontos em que a vazão de efluente se dá pelo transbordamento de um tanque. Para a medição das vazões nos pontos caracterizados por tubulações, foi utilizado um medidor ultra-sônico por tempo de trânsito. Também foram instalados dois vertedores triangulares de ângulo reto, para medir as vazões em canaletas de coleta de efluentes. Existiram, dois pontos em que a vazão de geração de efluentes foi medida com uma balde de 20 litros e um cronômetro, além do medidor Parshall instalado no efluente final da máquina, no qual as medições foram feitas com uma régua de madeira e com um medidor de nível infra-vermelho. A Tabela 27, mostra os pontos e os métodos de medição.

Tabela 27 – Métodos de coleta de dados quantitativos

Medição de vazão	
Ponto	Método
Unidade hidráulica rebobinadeira	Medidor ultra-sônico
Unidade hidráulica enroladeira (entrada 1)	Medidor ultra-sônico
Unidade hidráulica enroladeira (entrada 2)	Medidor ultra-sônico
Unidade hidráulica rolo perfil	Medidor ultra-sônico
Unidade hidráulica prensas	Medidor ultra-sônico
Unidade hidráulica lubr. calandra soft	Medidor ultra-sônico
Unidade hidráulica calandra soft	Medidor ultra-sônico
Unidade hidráulica size	Medidor ultra-sônico
5 Bombas 12E + Redutores + Bomba 15E	Medidor ultra-sônico

Tabela 27 (continuação)
Métodos de coleta de dados quantitativos

Medição de vazão	
Ponto	Método
1 Redutor de Bomba 12E	Medidor ultra-sônico
Bomba 15E	Medidor ultra-sônico
Bomba 12E	Medidor ultra-sônico
6 Bombas 12E + 6 Redutores + Bomba 15E (Total)	Medidor ultra-sônico
Unidade hidráulica calandra úmida	Balde 20l e cronômetro
Sistema de lubrificação central	Balde 20l e cronômetro
Transbordamento do canal de vácuo	Vertedor triangular
Prensas de papel	Vertedor triangular
Efluente final	Calha Parshall

Nos pontos onde foram utilizados vertedores triangulares de ângulo reto, foi medida a altura da lâmina d'água e do vértice do vertedor com uma régua, e usada a eq. 2 para este tipo de medidor de vazão.

$$V = 1,4 * H^{5/2} \quad \text{eq. 2}$$

onde:

H – é a altura da lâmina d'água, medida a montante do vertedor, em relação ao vértice do mesmo, isto é, a diferença entre a altura da lâmina d'água no canal e a altura do vértice em relação ao fundo do canal.

- **Análises Qualitativas**

Foram identificados pontos de coleta de amostras de acordo com os pontos de lançamento de efluentes, ou ainda outros pontos chave no circuito de água da máquina, para analisar posteriormente possíveis modificações no mesmo e para compreensão mais completa do sistema. As amostras foram coletadas duas vezes por semana, em frascos de um litro, durante seis semanas, e levadas a dois laboratórios diferentes, ambos dentro da Suzano. Apenas as análises de íons (cloreto e sulfato) e de DBO foram feita uma vez por semana, devido à maior dificuldade das mesmas. Os pontos analisados foram: TC-3/TQ-8, TQ-14, TQ-14^a, Canal de Vácuo, TA-5, Efluente Total (B-6), TA-2 (B-6), TQ-10, TQ-11, , TQ-12, TQ-13, TC-2, TC-4, TQ-9, Flouclin (lubrificação rolo pintadoras).

Selecionados os pontos, foi feita uma análise dos problemas na fabricação de papel relacionados à qualidade de água, e selecionados os parâmetros a serem mensurados cloreto, sulfato, alumínio, sódio, turbidez, acidez, alcalinidade, cálcio, DBO, DQO, pH, cor, condutividade, sólidos totais, sólidos em suspensão, sólidos voláteis totais, sólidos totais, oxigênio dissolvido e temperatura.

As tabelas de 33 a 48 com os dados qualitativos dos diferentes pontos em estudo estão no Anexo C.

5.2.2 – Fase 2 – Análise da consistência dos dados

A partir das informações coletadas em campo realizou-se a comparação destas, com as informações contidas em documentos da empresa e constatou-se algumas diferenças existentes devido à variações de produção.

Além destas informações coletadas utilizou-se informações da empresa, para os locais onde a medição fora inacessível.

5.3 – Etapa 3 – Estudo de conservação de água

5.3.1 – Fase 1 – Avaliação de perdas e desperdícios

Após a realização da coleta de dados, identificou-se a existência de transbordo nos seguintes pontos:

- tanque de água branca (TC-4): o tanque de água branca TC-4 é um dos principais pontos de geração de efluente, pois seu transbordamento é constante, observado o fato de sua água branca ter um teor menor de fibras (mais pobre), o que a torna a primeira a ser descartada, ao invés do TC-4 abastecer outros tanques de água branca mais rica em fibras (como o TC-3) fazendo-os transbordar, aumentando assim a perda de fibras. O fato do efluente gerado no TC-4 ser um transbordamento, impossibilitou a sua medição individual, porém através de dados fornecidos pela empresa, pode-se estabelecer o valor de transbordo deste tanque.
- tanque de água clarificada TQ-14: a medição da vazão deste tanque não foi possível, porém através da coleta de amostras deste tanque, realizou-se sua

caracterização qualitativa (ANEXO A), e constatou-se valores bastante baixos de sólidos dissolvidos em relação ao tanque TC-4.

- tanque de água branca (TC-3): apesar da medida de vazão deste tanque não ser possível, realizou-se a coleta de amostras deste tanque para sua caracterização qualitativa.
- tanque de água branca de retorno (TQ-13): apesar da medida de vazão deste tanque não ser possível, realizou-se a coleta de amostras deste tanque para sua caracterização qualitativa.

Deve-se observar que os tanques TC-14, TC-3, e TC-13 não apresentam transbordo tão intenso como o TC-4.

Quantificou-se a existência dos seguintes pontos de transbordo:

- Transbordo do poço de vácuo= $28\text{m}^3/\text{h}$;
- Transbordo do tanque de água branca TC4= $153\text{m}^3/\text{h}$.

Além disso, identificou-se perdas esporádicas como transbordos por desequilíbrios momentâneos do processo, vazamentos de óleo e de aditivos químicos.

Através destes dados, sugere-se como “ação corretiva” a recuperação dos transbordos provenientes do poço de vácuo e do tanque de água branca TC-4, para determinação do potencial de reutilização, junto aos outros efluentes do processo.

5.3.2 – Fase 2 – Reavaliação do diagnóstico hídrico

Após a proposição do reaproveitamento dos transbordos provenientes, do poço de vácuo e do tanque de água branca, não implicam em nenhuma alteração no diagnóstico hídrico determinado até este ponto do trabalho, isto é, antes que a realização da determinação do potencial de reutilização destes efluentes, seja realizada.

5.3.3 – Fase 3 – Proposição do método de avaliação do potencial de reutilização de efluentes

Segundo informações obtidas através de documentos da indústria, o consumo total de água industrial referente a máquina MB-6 é de $388\text{m}^3/\text{h}$. A água de alimentação da MB-6 é proveniente do sistema de água industrial, sendo utilizada para as seguintes funções principais:

- água para chuveiros;
- água para selagem de bombas;
- água para resfriamento das unidades hidráulicas.

O consumo de água industrial da MB-6 é apresentado na Tabela 28.

Tabela 28 – Consumo de água industrial da máquina MB-6

Sistema	Consumo de água (m ³ /h)
Água para selagem	42,6
Água para resfriamento	25,87
Água para chuveiros	189
Outros	130,53
Total consumido	388

Além destas funções, a água industrial é utilizada nos cleaners, no setor de preparação da massa, no condensador, para químicos e make-up do sistema de água quente.

As entradas e saídas de água do sistema (máquina MB-6) foram identificadas e classificadas de acordo com o tipo de água, como ilustrado na Figura 15.

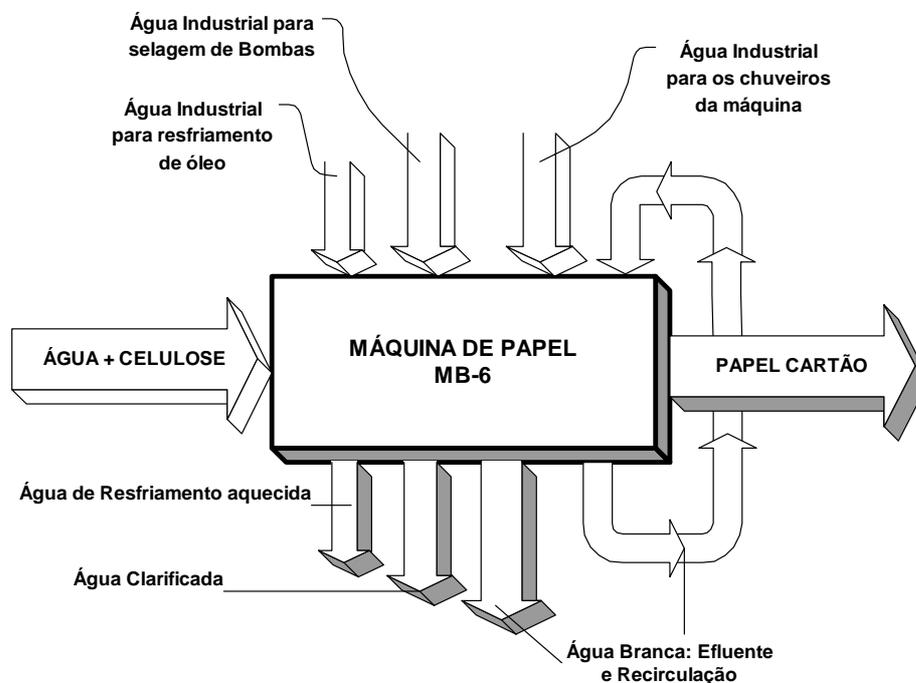


Figura 15 – Entradas e saídas de água da máquina MB-6

A partir dos dados coletados foi possível classificar separadamente os fluxos que compõem o efluente final da máquina MB-6 e são passíveis de reuso e realizar o

levantamento quantitativo (vazão) e qualitativo (análise dos parâmetros físico-químicos) dos pontos mais relevantes de geração de efluente.

A classificação foi realizada da seguinte forma:

- água clarificada: consiste na água de menor contaminação e teor de sólidos em relação à água branca, e foi identificada em 3 pontos de geração de efluente da máquina MB-6, sendo eles o canal de vácuo, as prensas do couch roll e o tanque de água clarificada TQ-14. No canal de vácuo esta água provém da sucção pelas bombas de vácuo da água da pasta nas telas de formação de folha, e é somada a uma pequena parcela de água de resfriamento do óleo dos redutores das bombas de vácuo.
- água de resfriamento: ao longo da máquina de papel há diversas unidades hidráulicas e sistemas de lubrificação das diferentes etapas do processo. Estas unidades necessitam de água para resfriamento do óleo nelas contida. Este resfriamento é realizado através da passagem de água industrial a temperatura ambiente por serpentinas contidas no interior dos cilindros de óleo presentes nas mesmas unidades.
- água branca: maior parcela do efluente final da máquina MB-6 e provém principalmente do transbordamento constante do tanque de água branca TC-4.

As Tabelas 29 e 30 resumem os dados sobre o consumo de água e de geração de efluentes da máquina de produção de papel cartão MB-6, obtidos através de medições e de documentos disponibilizados pela indústria.

A Tabela 29 apresenta o volume de efluentes gerados pela MB-6.

Tabela 29 – Geração de efluentes da máquina MB-6

Sistema	Geração de efluentes (m³/h)
Água de resfriamento	25,87
Água clarificada (canal de vácuo + prensas)	109,89
Transbordo do TC4-1	153,00
Transbordo do poço de vácuo	28,00
Água de selagem	42,60
Outros	116,61
Total Descartado	475,97

* Dados obtidos através de medições e documentos da empresa

A partir da análise dos dados quantitativos e qualitativos, da posterior aplicação do algoritmo desenvolvido para a determinação do potencial de reutilização de efluentes, e da observação dos dados existentes sobre práticas de

reuso, implementadas previamente em outras indústrias de papel e celulose, pôde-se chegar a uma decisão sobre o modo como os efluentes da máquina MB-6 serão divididos e caracterizados como oferta de água visando reuso na própria máquina MB-6.

A ausência de dados exatos, referentes às restrições qualitativas para a aplicação de água de reuso para os diferentes usos (chuveiros, selagem e resfriamento), fez com que o critério de decisão para a reutilização dos efluentes fosse baseada principalmente em implementações de práticas de reuso em outras indústrias que obtiveram sucesso.

A Tabela 30 apresenta a proposta para reutilização dos efluentes da máquina de papel MB-6.

Tabela 30 – Proposta para reutilização dos efluentes da máquina de papel cartão MB6

Sistema	Proposta	Efluente para Reutilização	Tratamento Proposto
Água para selagem	Reciclo	Sistema de origem	Sistema para remoção de possíveis contaminações por sólidos dissolvidos.(troca iônica/ osmose reversa, ultrafiltração) e torre de resfriamento
Água para resfriamento	Reciclo	Sistema de origem	Caixa separadora de água e óleo funcionando como ponto de coleta dos diferentes equipamentos; trocador de calor e torre de resfriamento;
Água para Chuveiros	Reuso direto / Reuso pós-tratamento	Água clarificada / Transbordo do TC4	Sistema de Clarificação / (engrossador / filtros por gravidade / peneiras e ou filtros em linha

A estratégia de reuso adotada consiste em:

- coletar a água de selagem separadamente, verificar a existência de contaminação por sólidos suspensos, DBO e toxicidade, utilizar um sistema de bombeamento para controle da pressão e da temperatura no tubo de descarga da bomba do tanque, instalar uma calha abaixo da bomba de vácuo, e utilizar bombas para transferir a água da calha para uma torre de resfriamento. Além disso, deve-se utilizar um sistema para remoção de sólidos dissolvidos.
- coletar a água de resfriamento separadamente dos outros sistemas para evitar a contaminação por agentes químicos, fibras e água branca. Esta água deve ser coletada, passar por um sistema de separação de água e óleo e passar por

trocador de calor, seguido por uma torre de resfriamento. O fluxo frio de reposição de água de resfriamento deve ser controlado para que a temperatura da água circulada seja limitada e utilize-se um menor fluxo de água, evitando assim um crescimento biológico no CKT de água de resfriamento.

- deve-se coletar a água clarificada do canal de vácuo e das prensas do couch roll, e realizar a aplicação em chuveiros que “toleram um maior teor de sólidos dissolvidos” (chuveiro dos engrossadores, da tela, FE-1 + cleaners, FE-4 e cleaners). Para a implementação desta prática de reuso direto deve-se investir em chuveiros para a adequação a água clarificada, dentre estes, chuveiros com bocais auto-limpantes, de alta pressão. A parcela restante de água clarificada pode ser recolhida junto ao transbordo do TC-4 e passar por um engrossador que permite recuperar fibras e recuperar um filtrado passível de reutilização em chuveiros do tipo Trim, Knock-off, chuveiros de feltros, rolos que retornam da tela, rolos breast, etc. A utilização de filtros de gravidade, peneiras ou filtros em linha também é recomendada, neste caso.

6 – Resultados e discussão

As Tabelas 31 e 32, abaixo, apresentam uma comparação entre a situação referente ao consumo de água industrial e a geração de efluentes da máquina de papel cartão MB6, antes e depois da implementação do programa desenvolvido de conservação de água (racionalização de água e reutilização de efluentes).

Tabela 31 – Consumo de água industrial nos diferentes subsistemas da máquina MB6 antes e depois da implementação do estudo de conservação de água

Antes da reutilização		Sistema após reutilização de efluentes		
Sistema	Consumo de água industrial (m ³ /h)	Sistema	Consumo de água industrial (m ³ /h)	Aplicação
Água para selagem	42,6	Água para selagem	0	Reciclo
Água para resfriamento	25,87	Água para resfriamento	0	Reciclo
Água para chuveiros	189,0	Água para Chuveiros	0	Reuso direto e reuso pós-tratamento
Outros	130,53	Outros	130,53	-
Total	388	Total	130,53	-

Tabela 32 – Geração de efluente industrial nos diferentes subsistemas da máquina MB6 antes e depois da implementação do estudo de conservação de água.

Antes da Reutilização		Sistema Após Reutilização de Efluentes		
Sistema	Geração de Efluentes (m ³ /h)	Sistema	Geração de Efluentes (m ³ /h)	Aplicação
Água de resfriamento	25,87	Água de resfriamento	0	Reciclo
Água clarificada (canal de vácuo + prensas)	109,89	Água clarificada (canal de vácuo + prensas)	0	Reuso direto e reuso pós-tratamento
Transbordo do TC4-1	153	Transbordo do TC4-1	73,89	Reuso pós-tratamento
Transbordo do poço de vácuo	28	Transbordo do poço de vácuo	28	-

Tabela 32 (continuação)
 Geração de efluente industrial nos diferentes subsistemas da máquina MB6 antes e depois da implementação do estudo de conservação de água.

Antes da Reutilização		Sistema Após Reutilização de Efluentes		
Sistema	Geração de Efluentes (m ³ /h)	Sistema	Geração de Efluentes (m ³ /h)	Aplicação
Água de selagem	42,6	Água de selagem	0	Reciclo
Outros	116,61	Outros	116,61	-
Total Descartado	475,97	Total Descartado	218,5	-

Obs: O número de reciclos não fora determinado neste trabalho, devido a ausência de dados referentes às concentrações limites de entrada dos parâmetros específicos do processo da indústria objeto de estudo de caso.

Através dos dados apresentados na tabela acima, observa-se que a aplicação da metodologia desenvolvida para diagnóstico hídrico e para execução de um programa de conservação de água na máquina de papel cartão MB6, possibilitou a obtenção dos seguintes resultados:

- Redução de 66% do consumo de água fresca;
- Redução de 54% do efluente total gerado.

É importante ressaltar que para a tomada de decisão da melhor forma de reuso a ser implementada em cada um dos pontos de consumo de água, considerou-se não só o algoritmo desenvolvido para determinação do potencial de reutilização de efluentes, mas também experiências prévias já implementadas em outras plantas industriais de papel e celulose, relatadas no capítulo 3 , neste trabalho de dissertação

Deve-se ressaltar também que o resultado obtido, considerou o reaproveitamento de apenas uma parcela dos transbordos identificados na seção de análise de perdas e desperdícios, devido a ausência de dados de vazão dos demais provocada pela inacessibilidade da realização de alguns pontos, ou por ausência de equipamentos , portanto, estima-se, um valor maior, no que diz respeito a redução de efluentes totais visto que a caracterização qualitativa dos demais transbordos (TC-14, TC-3 e TC-13) indica alto potencial para recuperação e reutilização.

Esta máquina de papel, representa o maior consumo de água industrial e a maior geração de efluente, dentre as outras máquinas existentes na indústria.

O consumo de água industrial referente à máquinas de papel representa 24% do total consumido e a geração de efluente representa 37% do efluente total da indústria.

Este resultado indica que a aplicação desta metodologia, para outras máquinas de papel, pode produzir um impacto significativo, tanto para a redução do consumo de água como para geração de efluentes.

Um resultado de mesma proporção para as demais máquinas poderia produzir uma redução de 17% do consumo total de água industrial e de 16% da geração total de efluentes da planta industrial.

A implementação de práticas de fechamento de circuito de água (reciclo) para o sistema de água de resfriamento da planta industrial, pode representar a economia de cerca de 27% do consumo total de água industrial, e de 10% para o sistema de selagem. Nota-se, portanto que, 37% do consumo total de água industrial, pode ser reduzido através de fechamento de circuitos de água (reciclo).

Ressalta-se, novamente, que de acordo, com diferentes autores, qualquer metodologia que vise a conservação de água, deve abranger as quatro formas de minimização no uso da água, isto é, mudanças no processo, reuso direto, reciclo e reuso pós tratamento.

O algoritmo desenvolvido para o estudo de conservação de água, considerou as quatro possibilidades citadas para a determinação do potencial de racionalização e de reutilização de efluentes e baseou-se em critérios lógicos para hierarquização das diferentes formas de aplicação do reuso de efluentes. Além disso, utilizou-se regras heurísticas, isto é, baseadas no conhecimento acumulado, de experimentos práticos realizados com embasamento teórico.

Para os critérios de tomada de decisão utilizou-se também informações contidas na revisão bibliográfica a respeito de práticas de reuso de água em plantas de papel e celulose.

É importante lembrar que qualquer que seja a forma de reuso utilizada, é fundamental o acompanhamento do desempenho da atividade que utiliza água de reuso, que pode ser realizado através da implementação de sistemas de

monitoramento, de maneira a consolidar ou efetuar ajustes no processo e garantir o sucesso do programa.

Para todo e qualquer programa que vise á implementação de reuso, recomenda-se a realização de ensaios de bancada e piloto, antes da implantação de toda a infra-estrutura, além de estudo de viabilidade técnica.

É importante ressaltar que para a implementação de práticas de reuso de água, envolvendo diferentes processos em uma planta industrial, deve-se utilizar metodologias para integração de processos, que respeitem suas restrições individuais, deste modo é possível atingir o ótimo reuso.

7 – Conclusão

A metodologia desenvolvida nesta dissertação permitiu a determinação do potencial de conservação de água, para a máquina de papel, escolhida para o estudo de caso, baseando-se nos dados quantitativos e qualitativos coletados através do diagnóstico hídrico realizado.

O algoritmo desenvolvido para o estudo de conservação de água, considerou as quatro possibilidades para minimização de efluentes, isto é, mudança no processo, reuso direto, reciclo e reuso pós-tratamento.

Através da redução de 66% do consumo de água fresca e de 54% do efluente total gerado, nota-se que a aplicação da metodologia desenvolvida, pode produzir um impacto significativo, tanto para a redução do consumo de água como para geração de efluentes.

Conforme dito anteriormente, deve-se atentar ao fato de que embora consultores e fornecedores possam acertar com boa precisão a qualidade necessária a ser alcançada na água recirculada, a gerência da fábrica deve permitir alguns experimentos (simulações dos processos) onde determinar-se-ão as exigências específicas da vazão e qualidade da água reciclada para os vários pontos de aplicação.

Observou-se que indústrias hidroativas, como as do ramo de papel e celulose, possuem um alto potencial de conservação de água e de redução de efluentes.

Como recomendação para trabalhos futuros, visando dar continuidade a este trabalho, sugere-se uma análise holística da empresa no que diz respeito ao uso e conservação de água, para que seja possível obter não apenas um resultado parcial, mas total para aplicação de reuso e fechamento de circuito, obtendo-se

assim uma economia de água que representará- uma macro- parcela econômica para a empresa.

Sugere-se também, a aplicação desta metodologia para os demais setores da indústria, para o mapeamento dos diferentes processos industriais, bem como, para a realização do diagnóstico hídrico da indústria como um todo, e para determinação do potencial de conservação de água da indústria como um todo, sugere-se a modelagem dos processos envolvidos e o posterior desenvolvimento de uma metodologia para integração e otimização destes processos

ANEXO A

Figuras referentes à Máquina de Papel Fourdrinier

MÁQUINA FOURDRINIER (Principais elementos e sistema de circulação de massa)

A seguir, nas figuras 16 e 17 pode-se observar os principais elementos que compõe uma máquina de papel do tipo Fourdrinier, bem como o sistema de circulação de massa referente a este tipo de máquina utilizada para fabricação de papel.

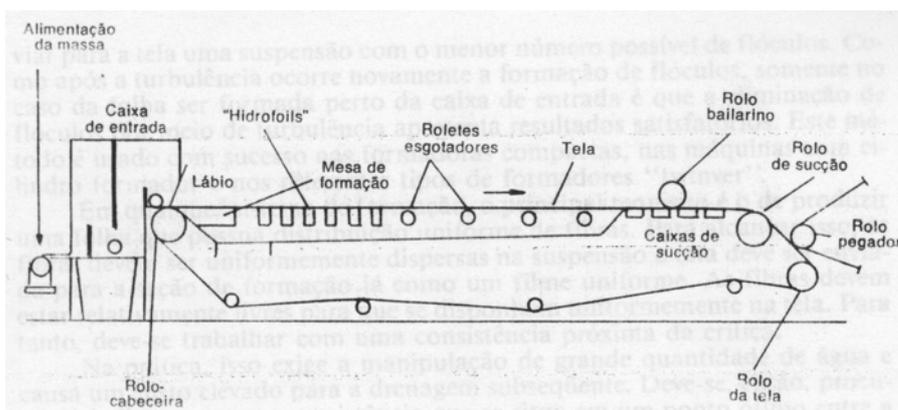


Figura 16-Máquina Fourdrinier

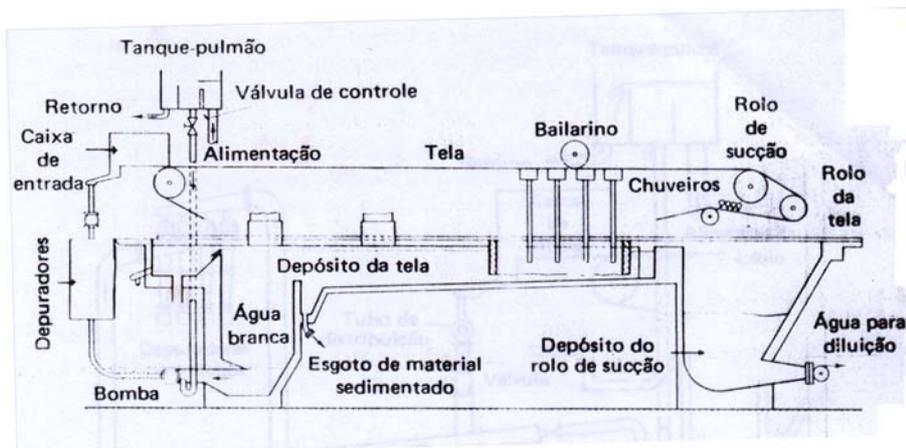


Figura17- Sistema de Circulação de Massa

ANEXO B

**Descritivo da Preparação da Massa referente à
máquina MB-6**

DESCRITIVO DA FABRICAÇÃO DE PAPEL CARTÃO NA MÁQUINA MB-6 DA SUZANO

O processo produtivo de papel cartão na Suzano é dividido em seis setores: Central de Aparas, Preparação de Massa, Parte Úmida, Parte Seca, Pintadoras e Rebobinadeira.

Central de Aparas

As fibras chegam ao sistema de preparação de massa da máquina B-6 de várias formas, entre elas suspensões provenientes diretamente da fábrica de celulose (pastas), refugo da própria máquina ou aparas de papel e papelão (reciclagem). Uma fábrica que utiliza aparas como matéria prima, consome uma quantidade muito inferior de energia e requer uma planta de efluentes muito mais simplificada, não necessita de controle de emissões gasosas, além de poupar diretamente recursos naturais (madeira).

A Central de Aparas é o setor onde se recebem aparas de diversos setores da fábrica e de fornecedores externos. Estas aparas são estocadas no pátio perto da Central. A alimentação é feita por uma esteira transportadora do desagregador, através de empilhadeira. Neste setor as aparas são desagregadas, limpas, passando por separadores cônicos, fracionador, triturador, engrossadores e depuradores que garantem a qualidade da massa preparada. Esta massa é enviada para os tanques de preparação de massa, onde será consumida conforme receita do produto em fabricação. De acordo com a mesma, a consistência da massa é controlada em vários pontos da unidade, como do desagregador e engrossadores, diferencial de pressão dos separadores centrífugos, temperatura do triturador e ciclos de operação de vários equipamentos como diabolôs, poire e fracionador.

O primeiro passo no processamento de aparas transformá-las em uma suspensão de fibras em água com consistência pré-determinada, para que se adicione os demais componentes. Este procedimento é realizado por Desagregadores (pulpers). Estes são desagregadores são semelhantes a “grandes liquidificadores”, e podem ser contínuos ou por batelada, com um ou mais rotores nas laterais, na parte inferior ou ainda horizontalmente de fora a fora, ao longo da largura do tanque. A central de aparas em estudo possui dois desagregadores,

ambos de batelada, um que recebe diretamente as aparas (DA-2), iniciando o processo que isolará as fibras mandando parte delas em suspensão para a preparação de massa de máquina B-6 e arranjando a outra parte em fardos prensados e outro (DA-1) que recebe estes fardos e prepara a suspensão que entrará na preparação de massa da máquina B-6. Os fardos também podem alimentar a preparação de massa da fábrica C, a qual produz o papel Reciclato®.

O fato dos desagregadores funcionarem por batelada permite que uma massa imprópria, produzida com aparas de péssima qualidade (impurezas em excesso), a qual o sistema de depuração não foi suficientemente eficiente, seja descartada. Os produtos da máquina B-6 não exigem uma massa de aparas com grau tão baixo de impurezas, sendo assim, as aparas de melhor qualidade são selecionadas e lançadas no DA-2 para produzirem fardos para a fábrica C, deixando as demais aparas para produzir fardos para alimentar o DA-1 da máquina B-6.

As aparas geralmente contêm uma grande quantidade de impurezas e materiais proibitivos, os quais, em teores maiores do que limites pré-estabelecidos, tornam a matéria prima inadequada. A próxima etapa da central de aparas é um complexo sistema de remoção de impurezas, o qual envolve principalmente depuradores ou peneiras (screeners) de vários tipos e separadores centrífugos, todos eles arranjados em diversos estágios de depuração.

Desagregação

Desagregador de aparas de papel DA-2

Trata-se de um desagregador por batelada, constituído por um tanque de fibra de vidro, revestido por materiais anticorrosão, dotado de um rotor do tipo volkes, isto é, uma hélice com oito pás colocada sobre uma placa estacionária perfurada de aço cromo, através da qual é retirada a massa já desagregada. Ao redor do rotor estão presentes várias chicanas, com a finalidade de melhorar a homogeneização da massa. Um desenho esquemático de um desagregador similar ao DA-2 é mostrado na figura a seguir:

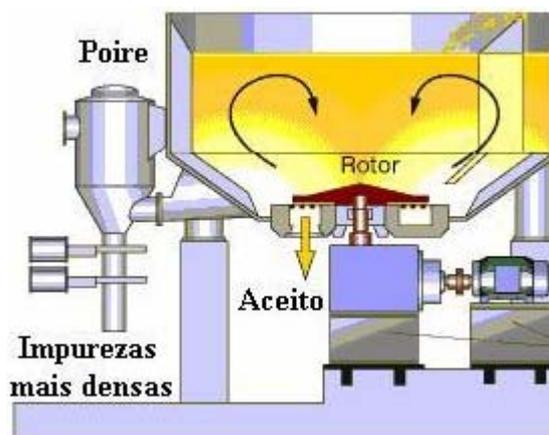


Figura 18 – Esquema de um desagregador com rotor do tipo Volkes

O DA-2 recebe aparas estocadas num pátio através de uma esteira transportadora e água branca proveniente do tanque TA-2 da central de aparas.

Junto ao desagregador está instalado um equipamento chamado de Poire PO-1, que consiste em uma peneira giratória grosseira por onde a massa do desagregador DA-2 circula e volta ao mesmo, sendo as impurezas, como pedaços de plástico e celofane, retidas na peneira e descartadas pelo Poire em uma caçamba. A massa que sai do DA-2 é bombeada até o tanque de descarga e, em seguida, para os separadores centrífugos SC-1, SC-2 e SC-3.

Desagregador de fardos DA-1 (compact pulper)

O DA-1 é um pouco diferente do DA-2, pois possui um rotor volkes em uma de suas laterais, e é bem menor em tamanho. Ele apenas recebe os fardos preparados a partir de aparas e água branca, prepara novamente uma suspensão que vai, depois de novo processo de limpeza (Separador Centrífugo SC-24), para a preparação de massa da B-6 (TQ-3).

Peneiração ou depuração (Screening) e Limpeza (Cleaning)

Pedaços grandes de impurezas leves, como plásticos e celofanes, são retirados da massa na peneiração grosseira. Mas o aceito destas peneiras grosseiras ainda contém uma série de impurezas que deverão ser retiradas em alguns estágios de depuração fina, de modo a minimizar as perdas de fibras. O material rejeitado na primeira peneira passa por um segundo estágio, e o material

aceito da segunda peneira recircula e vai para a entrada da primeira peneira. Na central de aparas, usa-se apenas um tipo de peneira, os depuradores verticais (pressure screeners), variando-se apenas o tamanho das perfurações e ranhuras.

Nas peneiras a limpeza é baseada nos tamanhos das partículas a serem removidas, enquanto nos limpadores centrífugos, na massa específica.

Separadores Centrífugos

Os separadores ou limpadores centrífugos combinam a força centrífuga e o arraste hidráulico para retirar impurezas. A massa entra tangencialmente na parte superior do cone, gerando um movimento giratório, e as fibras são retiradas pelo arraste hidráulico no centro do cone, força maior do que a força centrífuga gerada. Não só a massa específica é fator determinante no funcionamento dos limpadores centrífugos, mas também o formato e tamanho das partículas. O princípio de funcionamento é ilustrado na figura:

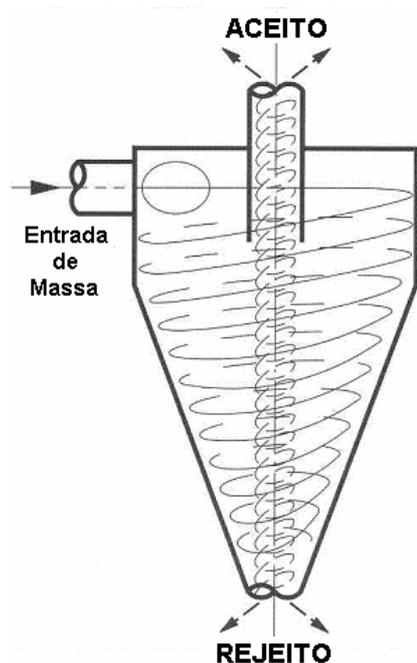


Figura 19 - Princípio de funcionamento dos Separadores Centrífugos

Limpadores de pequeno diâmetro (baixa consistência) causam maior força centrífuga e são mais efetivos na remoção de partículas menores. Limpadores de maiores diâmetros (alta consistência) provaram ser mais eficientes para remover principalmente partículas maiores e mais densas.

Os separadores centrífugos podem ser equipados com um coletor de rejeito no último estágio ou no caso de um estágio único, e este coletor recebe água (geralmente água clarificada) para diluir os rejeitos e lança-los no efluente.

Logo após os desagregadores, estão instalados separadores centrífugos de alta consistência, que funcionam como proteção, removendo a fração mais pesada de impurezas como clipes, grampos e areia, e conseqüentemente evitando a abrasão nos equipamentos subseqüentes.

Depuradores ou Peneiras Pressurizadas (Pressure Screeners)

As peneiras pressurizadas vêm sendo usadas há anos na remoção de impurezas brutas, mas, recentemente arranjos de depuradores verticais são utilizados no peneiramento fino da massa de aparas.

Todas as peneiras pressurizadas utilizam uma placa perfurada cilíndrica. O tipo de fluxo é variável, podendo ser de dentro para fora ou de fora para dentro. Os depuradores mais comuns têm uma placa cilíndrica e um rotor concêntricos, e o movimento giratório da placa impede o entupimento da mesma. Na central de aparas, bem como na unidade Suzano como um todo, a grande maioria das peneiras são depuradores verticais (peneiras pressurizadas giratórias com fluxo de fora para dentro).

As vantagens dos depuradores verticais são a alta capacidade de processamento por unidade com um sistema enclausurado que evita a aeração da massa e a conseqüente formação de espumas, a flexibilidade de arranjo físico devido às suas dimensões relativamente pequenas, e economia de tubulações e bombeamentos.

Temperaturas altas aumentam a velocidade de drenagem de água da massa. Com isso materiais não desejados podem ser arrastados e atravessar as aberturas da placa. Altas temperaturas também podem aumentar a flexibilidade das impurezas, dificultando sua retenção.

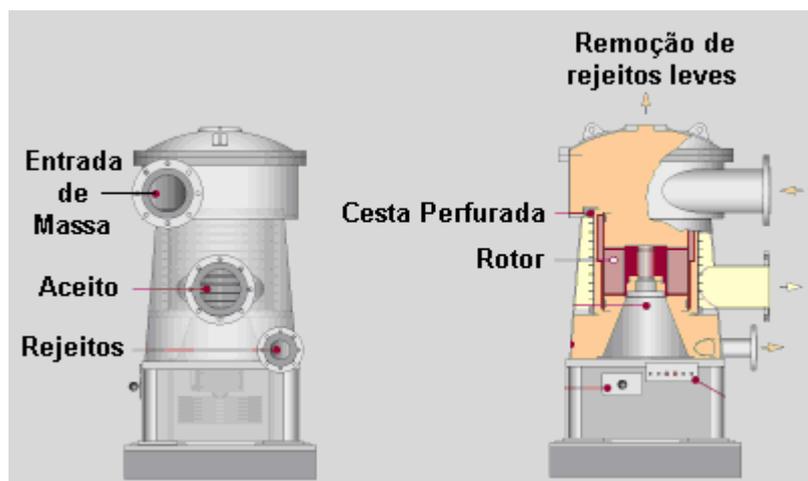


Figura 20 – Depuradores (Peneiras pressurizadas)

O depurador vertical DV-1 da central de aparas recebe a massa dos limpadores centrífugos e manda massa para os filtros engrossadores FE-1 e FE-3, e rejeitos para o tanque de rejeitos TR-1, e o DV-2 recebe massa do tanque de rejeitos TR-1, manda o aceite novamente ao primeiro estágio da limpeza (SC-7) e retorna os rejeitos ao TR-1.

Fracionador de fibras FF-1

O fracionamento permite separar frações de fibras longas e fibras curtas, e de fibras rígidas e flexíveis, possibilitando o seu uso mais racional. Este processo valoriza a parte de aparas de uma fábrica de papel e é realizado, na central de aparas em questão, pelo fracionador de fibras, que nada mais é do que uma peneira pressurizada modificada. O fracionamento é completado por separadores centrífugos para fibras longas e para fibras curtas, subseqüentes no processo.

O fracionador da central de aparas é do tipo Multifractor™, da Voith Paper, e é baseado na peneira pressurizada MultiScreen™ MSS, diferindo apenas no modo de operação. O fracionador funciona com uma cesta lisa perfurada, a qual separa as fibras pelo comprimento, através de um excesso de pressão das fibras contra a cesta (peneira), fazendo com que as fibras curtas atravessem a cesta.

O FF-1 recebe massa dos Separadores Centrífugos SC-1, SC-2, e SC-3 e manda massa de fibras curtas para a caixa de nível CN-3, massa de fibras longas para a caixa de nível CN-1 e excesso de massa de volta ao tanque de descarga TD-1.

Filtros engrossadores (Thickeners)

Depois de processos que exigem uma baixa consistência da massa, como limpeza e depuração, é necessário aumentar a consistência da massa para processos subsequentes, bem como para reduzir o volume necessário para estocagem e separar e recircular a água. Tipicamente neste processo, a massa entra com uma consistência de 0,5 a 1,3% e sai com 10 a 15%. Este equipamento pode ou não ser usado também para lavar a massa, retirando partículas sólidas menores do que 30 μ m, quando se adiciona água fresca junto à entrada de massa. Consiste em um tanque com um filtro cilíndrico rotativo, no qual a massa entra de um lado, passa por baixo do cilindro devido ao movimento de rotação, sendo comprimida pelo mesmo, criando uma diferença de nível dentro e fora do cilindro. A água atravessa a tela do cilindro e é retirada por dentro. A massa fica retida na tela do cilindro e passa para o outro lado do cilindro, com a consistência elevada. Os filtros desaguadores (FD-1 da central de aparas) têm funcionamento similar a este equipamento.

Os filtros engrossadores FE-1 e FE-2 recebem massa do DV-1 e água fresca, e deles saem massa engrossada para o tanque de massa engrossada TE-1 e água branca para o TA-2.

Preparação de Massa

É a parte da máquina B-6 onde se trabalha mecanicamente as fibras e adicionam-se vários aditivos de acordo com a receita de fabricação. O objetivo é melhorar as características das fibras, proporcionando um produto que atenda todas as exigências de qualidade. É tomado conhecimento do produto a ser fabricado, através da Ordem de Processo (OP) e adequado o sistema conforme a receita de fabricação fazendo a composição fibrosa, controlando as consistências, ajustando o Grau de Refino e a dosagem dos aditivos.

Na máquina B-6, os tanques de estocagem recebem as pastas fibrosas (já em forma de suspensão) da fábrica de celulose, central de aparas e estocagem de refugo.

A preparação de massa, na máquina B-6, é composta pelos processos refino, de limpeza e depuração (peneiramento), e pode ser dividida em FCNB (Fibra Curta não branqueada), FCB(Fibra Curta branqueada), Aparas e Refugo. Ela começa nos tanques de estocagem e dá origem às quatro linhas de produção do sistema de fluxo de massa antes da máquina (approach flow sistem), as quais se tornaram as quatro camadas sobrepostas que compõem os produtos finais da B-6.

Refugo

No processo de fabricação de papel podem ocorrer situações em que o papel não atinge as especificações desejadas ou não atinge características como resistência mecânica suficientemente altas, podendo gerar defeitos na folha (refugo). Para contornar esta situação a fábrica de papel deve ter um sistema contínuo e reciclagem deste refugo. Fazem-se necessários uma séria de desagregadores junto à máquina de papel para transformar o refugo em massa novamente e devolve-lo ao início da linha de produção.

Desagregadores (Pulpers)

A preparação de massa de refugo da máquina B-6 é feita por quatro desagregadores de refugo seco (DA-3, DA-4, DA-5 e DA-6) mais o Couch Pit (um tipo de desagregador posicionado sob o final da parte úmida da máquina de papel).

O final da parte úmida, ou seja, a transição da formação de folha para as prensas de secagem, é uma parte delicada do processo, pois a folha, ainda com certa umidade, pode se romper ao entrar na prensa. Além disso, as beiradas da folha úmida são descartadas na entrada da prensa de secagem, para que se tenha precisão nas medidas.

O Couch Pit fica abaixo desta seção da máquina, e nele caem as folhas que se rompem e as beiradas da formação de folha. Ele também recebe água branca do tanque TC-3. O Couch Pit é um desagregador contínuo constituído por um tanque equipado com um rotor em forma de eixo com pás, disposto de transversalmente na largura, assim como mostrado na figura:

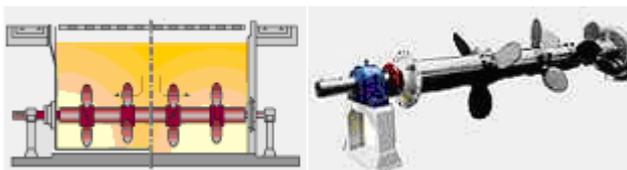


Figura 21 .– Desagregador de Refugo úmido do Couch Pit e eixo transversal com rotor

A desagregação feita pela Couch Pit é uma tarefa relativamente simples, devido ao fato de se tratar de refugo úmido, e exige um tempo de retenção muito menor do que os desagregadores de refugo seco ou aparas.

Os desagregadores DA-3, DA-4, DA-5 e DA-6 são tanques equipados com rotores Volkes no fundo e recebem refugo seco de calandra Size Press, da enroladeira, da rebobinadeira e do acabamento de outras máquinas de papel da unidade Suzano respectivamente. Estes desagregadores também recebem água branca do TC-3 e a massa que sai deles é bombeada até o tanque coletor de refugo TC-1 para posteriormente retornar ao início do processo.

Separadores Centrífugos de Alta Consistência

Do TC-1 a massa de refugo é bombeada até os separadores centrífugos SC-21, SC-22, SC-25, SC-26 e SC-27 (sistema de pré-limpeza), que são separadores centrífugos de alta consistência e que retiram impurezas através de uma entrada tangencial que gera um fluxo circular isolando as impurezas pesadas na região mais distante do centro, e o aceito é retirado do centro pelo arraste hidráulico. Como este arranjo de limpadores centrífugos é disposto em apenas um estágio, cada limpador é equipado com um coletor de rejeitos.

Este sistema de separadores centrífugos de alta consistência é disposto logo após os desagregadores para funcionar como uma proteção, evitando que impurezas como areia, cascalho e fragmentos de metal causem abrasão nos discos dos deflocadores.



Figura 22 – Separador Centrífugo de alta consistência com coletor de rejeitos

Pré-Refinadores, Deflocadores ou Despastilhadores (Deflakers)

Os Pré-Refinadores DP-2, DP-3, DP-4 e DP-5 têm a finalidade de quebrar os aglomerados de fibras remanescentes dos desagregadores, completando a desagregação.

São refinadores de alta velocidade, de discos rotativos mais espaçados, e que agem por turbulência mecânica, sem afetar o comprimento da fibra ou o grau de refinação.

Filtro a Disco FD-1

É um filtro que recebe água branca (rica em fibras) proveniente da formação de folha e tem a finalidade de recuperar as fibras de celulose e devolvê-las ao processo. É composto por um tanque com vários discos rotativos dispostos transversalmente ao longo de um eixo horizontal. Os discos são divididos em segmentos, preenchidos por uma tela fina. Com o movimento giratório dos discos, cada segmento é imerso na água e uma camada de fibras se forma sobre a tela. Em seguida os segmentos passam por um sistema de vácuo, e, ao emergirem, o ar é sugado junto com a água. Do outro lado do filtro, antes de serem submersos novamente, a tela é lavada por chuveiros e massa de fibras cai num reservatório separado, e depois retorna ao tanque de estocagem.

A figura a seguir, ilustra o funcionamento de um filtro de um filtro a disco:

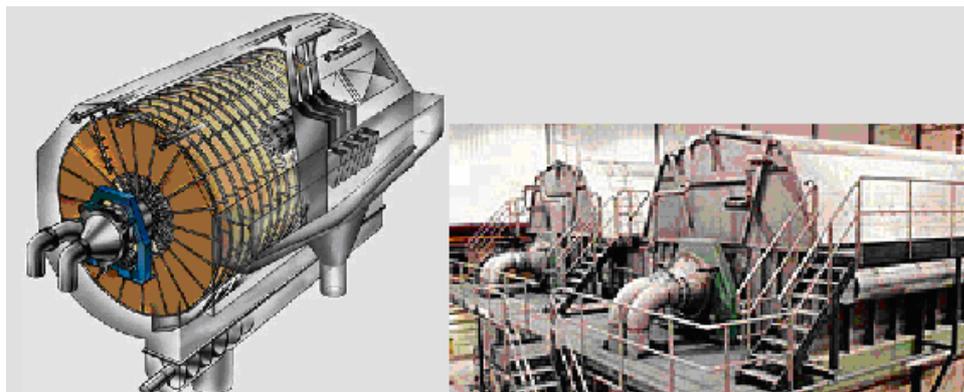


Figura 23– Esquema (esq.) e fotografia (dir.) de um filtro a disco

Filtro Engrossador (Thickener) do Couch Pit FE-4

Depois de ser desagregado no desagregador do Couch Pit, o refugo úmido precisa ter sua consistência aumentada para seguir para o tanque de estocagem TQ-4, então, a massa passa pelo filtro engrossador FE-4.

Consiste em um tanque com um filtro cilíndrico rotativo, no qual a massa entra de um lado, passa por baixo do cilindro devido ao movimento de rotação, sendo comprimida pelo mesmo, o que cria uma diferença de nível dentro e fora do cilindro. A água atravessa a tela do cilindro e é retirada por dentro. A massa fica retida na tela do cilindro e passa para o outro lado do cilindro, com a consistência elevada. No FE-4 entram massa de refugo e água fresca, e saem massa engrossada para o TQ-4 e água branca para o TC-3.

Roscas Desaguadoras (Screw Presses) DE-1 e DE-2

As roscas desaguadoras retiram água da massa e aumentam a consistência até por volta de 30%, mais para criar condições para o próximo estágio do processo, no caso o refino de alta consistência.

A massa é transportada no interior da máquina por uma espécie de rosca transportadora. Esta rosca acaba compactando e pressionando a massa contra as paredes perfuradas do equipamento. A consistência final da massa é função do torque aplicado na rosca.

Separadores Centrífugos SC-1, SC-2, SC-3 e SC-4 (Sistema de Proteção)

Na transição da massa dos tanques de estocagem para os tanques intermediários, que precedem os refinadores, estão instalados sistemas de limpeza com separadores centrífugos de alta densidade e em estágio único (SC-1, SC-2, SC-3 e SC-4), os quais têm a finalidade de retirar impurezas grosseiras com fragmentos de metal, areia e cascalho, evitando abrasão nos discos dos refinadores, e funcionando como um sistema de proteção.

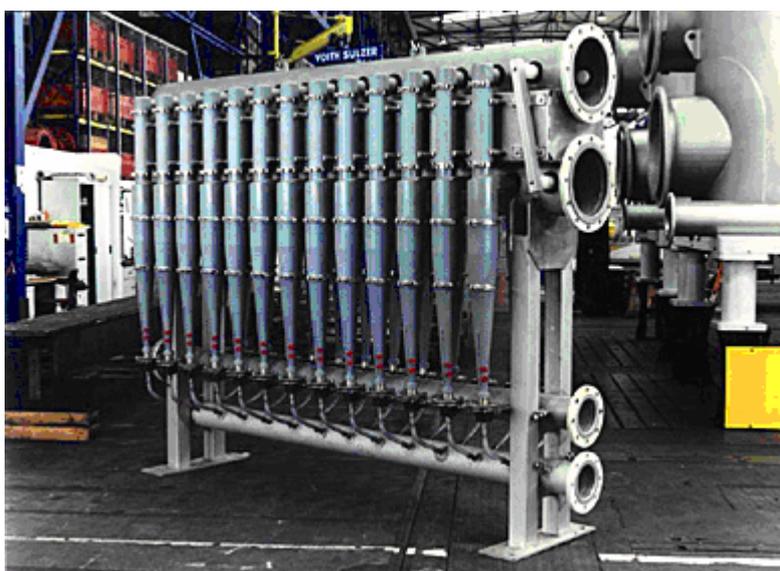


Figura 24 – Sistema de proteção em vários estágios de limpeza

Refinadores (Refiners)

A refinação é considerada a etapa mais importante da preparação de massa, estando diretamente relacionada com a qualidade do produto final. Ela melhora a resistência, a uniformidade e evita a formação de flóculos (aglomerados de fibras não desagregadas) no papel. O método mais comum é um tratamento das fibras suspensas em água com barras metálicas. A passagem das fibras pelos pequenos espaços entre as placas de metal elimina os aglomerados, aumenta a

superfície de contato, a flexibilidade e a capacidade de absorção de água da estrutura molecular das fibras.

A refinação pode ser de baixa, média ou de alta consistência. No refino de alta consistência, a velocidade dos refinadores tem que ser maior, e o processo deixa o produto final com maior porosidade e menor resistência à tração. Já o refino de baixa consistência melhora as propriedades de colagem e a resistência, além de favorecer o corte das fibras.

Os equipamentos utilizados na refinação da máquina B-6 são refinadores de discos duplos, nos quais há um disco que gira entre dois outros estacionários. Estes discos possuem dentes que encaixam um disco no outro e, com o movimento giratório dos e a passagem da massa no pequeno espaço entre eles, há a refinação, processo que aumenta a fibrilação interna e externa das fibras e causa a formação de finos.

Durante o processo de refinação há um aumento na temperatura da massa, devido à energia mecânica aplicada. A alta temperatura piora as propriedades físicas da massa e diminui a eficiência dos refinadores. Água em alta temperatura impede uma fibrilação adequada e conseqüentemente o contato entre as fibras. Na formação de folha de papel, podem estar presentes algumas substâncias como sais da própria água, compostos de alumínio, corantes, cargas, resinas inibidores, antiespumantes etc. Estas substâncias influem tanto no grau de refinação quanto nas propriedades físicas, e ainda no pH da massa. É aconselhável um pH entre sete e oito durante a refinação, pois o rendimento é maior. Por isso os aditivos devem ser acrescentados após a refinação. É muito importante que se controle o pH da água que dilui a massa antes dos refinadores.

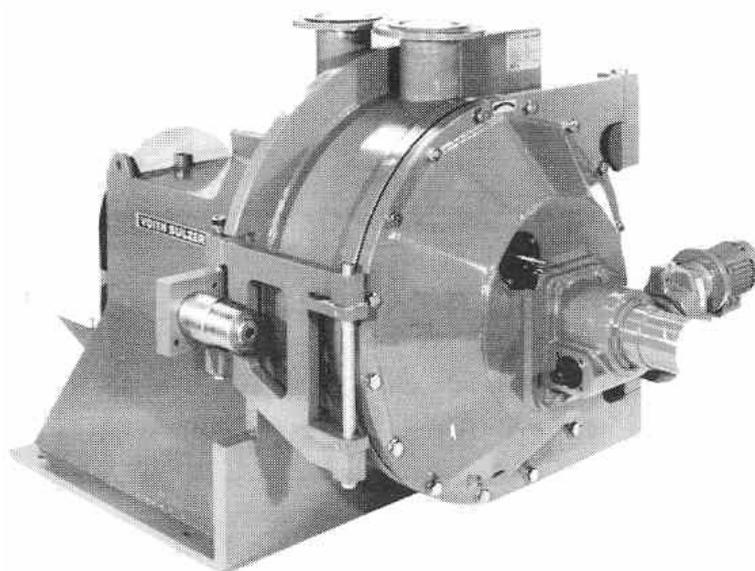


Figura 25 - Refinador de disco duplo da Voith Paper

Tanques de Mistura

Devido às variações das características de matéria prima e das condições de preparação de massa é necessário se ter um tanque de mistura antes do tanque de massa que alimenta a máquina, a fim de uniformizar a massa que entra na máquina de papel.

No tanque de mistura são dosados todos os componentes da massa, e se atinge a mistura desejada para ser bombeada para o tanque de massa da máquina a um fluxo constante.

Sistema de Fluxo de massa antes da Máquina de Papel (Approach Flow Sistem)

É uma das etapas mais importantes do processo estando diretamente relacionado com a qualidade do produto final. Neste sistema todas as variações normais oriundas da preparação de massa têm de ser reduzidas ao mínimo.

O sistema é composto por separadores centrífugos, peneiras pressurizadas (depuradores) e bombas de mistura, que proporcionam uma mistura homogenia da massa com a água branca. Estas bombas são ponto vital do sistema devido à necessidade de uniformização da massa que entra na máquina de papel.

O sistema de fluxo de massa antes da máquina é controlado pela recirculação ocasionada pela bomba de mistura, onde a massa é analisada, diluída, misturada aos aditivos necessários e corrigida antes de seguir para a limpeza e peneiramento que precedem a caixa de entrada da máquina.

Em seqüência da bomba de mistura estão instalados separadores centrífugos de baixa densidade em três ou quatro estágios (dependendo da linha), para retirar impurezas finas residuais e proteger a máquina e em seguida, peneiras pressurizadas (depuradores verticais) finas imediatamente antes da caixa de entrada da máquina, as quais constituem a última barreira de proteção da máquina. Estes depuradores devem ser próprios para esta etapa do processo, e operam num sistema completamente enclausurado, sem causar qualquer pulsação no fluxo e garantindo a uniformidade no fluxo do aceito.

Parte Úmida

Parte da fabricação de Papel que compreende desde a caixa de nível até a saída do conjunto de prensas. Seu objetivo é obter a perfeita formação da folha, diluindo a massa a uma consistência suficientemente baixa, que permita um grau uniforme de distribuição das fibras, mantendo-as de forma homogenia, ao mesmo tempo em que inicia a drenagem da água.

A drenagem da água ocorre pela ação da gravidade e das bombas de vácuo sobre a massa depositada na tela, removendo o máximo possível da água das fibras, antes que a folha passe para a seção de prensagem.

Na prensagem o objetivo é remover grande parte da água da folha para se obter economia na secagem e produzir uma folha mais seca, mais resistente e menos sujeita a quebras. O processo é controlado através do ajustes dos perfis de gramatura das telas, das consistências das caixas de entrada, relação jato/tela, vácuos das mesas planas e outros pontos conforme a receita de fabricação.

Pintadoras

Parte da máquina onde se aplica a tinta (à base de látex e pigmentos minerais) na superfície do cartão, com o objetivo de melhorar a mesma. A aplicação

de tinta é controlada através do ajuste do ângulo e pressão do encosto das lâminas, ajuste do perfil de aplicação através dos manípulos acompanhando os resultados apontados no Measurex (Sistema de Controle Eletrônico que auxilia o processo de produção e operação da máquina). São verificadas as condições de limpeza dos rolos aplicadores e rolos guias, desgaste das lâminas, limpeza das peneiras, calhas e tanques. É feito o acompanhamento visual constante do cartão para identificar defeitos de superfície de forma a garantir a qualidade do produto acabado.

Parte Seca

Processo contínuo de remoção de água do papel por evaporação, aplicando-se calor. É basicamente composto por: Cilindros secadores (dispostos em grupos), sistema de vapor e condensado, prensa de cola, sistema de amido, calandra, enroladeira, sistema Aquatrol, sistema CalCoil, sistema aerotérmico, telas secadoras e desagregadores.

O processamento da parte de Secagem é subdividido em:

- Pré secagem: Compreende os secadores antes da Calandra Size Press;
- Secagem final: Compreende os secadores após a Siza Press;
- Calandra: Consiste em dar acabamento superficial ao papel, determinar a espessura e obter alisamento final;
- Enrolamento: consiste em bobinar toda a produção dando condições ao papel de receber posteriormente os testes de qualidade, corte e acondicionamento conveniente.

A Pré-Secagem e Pós-Secagem são efetuadas em ambiente fechado, a fim de evitar a entrada de correntes de ar e troca de calor com o exterior.

A Capota que isola o ambiente de secagem denomina-se coifa e proporciona maior eficiência na evaporação da água do papel.

Nesta área são controladas as pressões de vapor dos vários grupos conforme a receita de fabricação de forma a obter a umidade e encanoamento especificado. São também controladas: a concentração de amido para obter a resistência superficial necessária e as pressões de trabalho das calandras conforme a receita de fabricação para atingir a especificação do produto. São checadas as condições físicas dos rolos, funcionamento das raspas de toda área,

filtros e peneiras das prensas de colagem, limpeza das telas secadoras. São monitoradas as tendências e perfis do cartão quanto aos parâmetros de qualidade, que são, Espessura, Gramatura e umidade através dos quatro Scanners da máquina.

Rebobinadeira

Parte da máquina composta por Desenrolador, Rolos Guia e Facas Rotativas que tem como função transformar os Rolos Jumbo produzidos na máquina de papel em bobinas com larguras e diâmetros especificados.

Acabamento

No acabamento, as bobinas são embaladas em sistemas semi-automáticos, ou então cortadas em folhas de formato conforme pedido. As folhas são empilhadas em pallets e também são embaladas em sistemas semi-automáticos, onde se mantém um padrão elevado de higiene e limpeza.

ANEXO C

Análises qualitativas referentes à máquina MB-6

Tabela 33 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório de controle ambiental para amostras do canal de vácuo

Água Clarificada do Canal de Vácuo											
Data	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	Cor Ap. (ppm/Pt)	Cor Real (ppm/Pt)	SS (mg/L)	ST (mg/L)	SVT (mg/L)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	Condutividade (uS cm ⁻¹)
09/08/05	24	6	7,5	5	1	20	1300	1020	9,7	30	417
11/08/05	15		8,6	10	2	5	1050	920	8	33	482
15/08/05	38	6	7,8	10	2	44	840	160	7,7	33	396
18/08/05	64		7,8	44	5				5,3	32	450
23/08/05	47	12	7,0	28	5	42	720	690	6,7	32	452
24/08/05	41		7,8	50	27	37	1170	1040	5,6	36	447
30/08/05	500	148	7,4	13	8	24	990	890	5,5	35	472
01/09/05	< LIM		7,5	190	58				0,37	34	1389
06/09/05	24	9	7,9	6	4	8	2390	2180	7,7	32	371
13/09/05	15	9	7,7	5	1	78			6,6	28	422
Mínimo	15	6	7,03	5	1	5	720	160	0,37	28	371
Máximo	500	148	8,64	190	58	78	2390	2180	9,7	36	1389
Média	85,33	31,67	7,70	36,1	11,3	32,25	1208,57	985,71	6,32	32,5	529,8

Tabela 34 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório Central para amostras do canal de vácuo

Água Clarificada do Canal de Vácuo								
Data	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Sódio (mg/L)	Alumínio(mg/L)	Turbidez	Acidez	Alcalinidade	Cálcio (mg/L)
08/ago	63,97	33,94	74	0	1	9,57	0,43	2,01
10/ago			69,6	0,032	1	9,75	0,25	9,4
15/ago	56,66	28,17	64,8	6,16	2	8,99	1,01	0,04
17/ago			78	0,008	1	7,48	2,52	6,24
22/ago	60,63	40,88	84,80	0,03	2	9,17	0,82	7,00
24/ago			76,40	0,10	3	8,90	1,10	7,12
29/ago	58,69	41,19	82,40	0,04	2	9,71	0,29	6,72
31/ago			88,40	0,07	2	8,73	1,27	6,32
05/set	57,40	36,42	82,80	0,00	4	12,34	-2,34	11,04
07/set			78,00	0,00	3	9,934	0,06	9,32
12/set	74,56	38,46	76,40	0,00	4	9,87	0,13	8,76
14/set			62,80	0,16	10	9,92	0,08	7,52
Mínimo	56,66	28,17	62,80	0	1	7,48	-2,34	0,04
Máximo	74,56	41,19	88,40	6,16	10	12,34	2,52	11,04
Média	61,99	36,51	76,53	0,55	2,92	9,53	0,47	6,79

Tabela 35 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório de controle ambiental para amostras do TQ-14

Tanque de Água Clarificada TQ-14											
Data	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	Cor Ap. (ppm/Pt)	Cor Real (ppm/Pt)	SS (mg/L)	ST (mg/L)	SVT (mg/L)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	Condutividade (uS cm ⁻¹)
09/08/05	865	421	7,9	480	222	147	1690	1050	9,8	15,2	1457
11/08/05	543		8,1	160	80	59	1860	1230			1590
15/08/05	610	193	7,9	340	107	85	1760	1490			1209
18/08/05	790		8,1	318	94				7,4	21,7	1320
23/08/05	1134	593	7,4	412	292	75	1930	980			1349
24/08/05	520		7,8	300	110	229	1810	1060	0,35	21,1	975
30/08/05	1013	454	7,6	483	112	217	2930	1990	0,2	25,2	1362
01/09/05	904		7,7	600	203				0,22	25,5	1346
06/09/05	643	291	7,2	515	89	132	1980	1350	5,6	21,9	1098
13/09/05	719	357	7,9	349	27	209			7,1	25,7	1308
Mínimo	520	193	7,2	160	27	59	1690	980	0,2	15,2	975
Máximo	1134	593	8,09	600	292	229	2930	1990	9,8	25,7	1590
Média	774,1	384,83	7,75	395,7	133,6	144,13	1994,29	1307,1	4,3814	22,33	1301,4

Tabela 36 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório Central para amostras do TQ-14

Tanque de Água Clarificada TQ-14								
Data	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Sódio (mg/L)	Alumínio (mg/L)	Turbidez	Acidez	Alcalinidade	Cálcio (mg/L)
08/ago	112,64	314,53	204	1,792	141	9,398853	0,60	66
10/ago			228,4	2,62	100	8,41	1,59	61,6
15/ago	98,56	301,53	187,2	2,22	160	7,74	2,26	98,4
17/ago			196,4	2,20	173	7,75	2,25	82
22/ago	97,13	159,74	250,40	3,04	259	8,06	1,94	87,60
24/ago			169,20	1,82	163	7,43	2,57	35,04
29/ago	108,52	338,44	248,80	3,01	244	7,40	2,60	87,60
31/ago			234,80	2,16	178	8,53	1,47	86,80
05/set	98,27	237,95	201,60	2,64	156	8,03	1,97	90,40
07/set			274,00	3,99	128	8,38	1,62	50,80
12/set	104,93	275,44	182,00	6,32	77	9,56	0,44	95,20
14/set			158,40	4,76	65	8,37	1,62	90,00
Mínimo	97,13	159,74	158,4	1,79	65	7,40	0,44	35,04
Máximo	112,65	338,44	274	6,32	259	9,56	2,60	98,4
Média	103,34	271,27	211,26	3,05	153,67	8,25	1,74	77,62

Tabela 37 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório de controle ambiental para amostras do TC-4

Tanque de Água Branca TC-4											
Data	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	Cor Ap. (ppm/Pt)	Cor Real (ppm/Pt)	SS (mg/L)	ST (mg/L)	SVT (mg/L)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	Condutividade (uS cm ⁻¹)
09/08/05	339	120	7,4	235	127	11	1940	1270	6,5	15,5	1325
11/08/05	520		8,1	179	68	6	2590	1760			1321
15/08/05	830	221	7,9	354	181	225	1430	1250	7,3	23	1170
18/08/05	668		8,1	334	80				7,4	21,6	1273
23/08/05	1007	534	7,3	540	257	267	2680	2670			1119
24/08/05	868		8,0	556	125	390	1860	1630	0,45	22,6	859
30/08/05	1287	456	7,3	704	55	430	2510	2340	0,42	26,8	1335
01/09/05	800		7,4	684	148				0,24	25,7	1322
06/09/05	516	211	7,8	516	430	152	3210	3130	2,2	24,3	1031
13/09/05	740	351	8,0	660	138	251			7	22,5	1277
Mínimo	339	120	7,3	179	55	6	1430	1250	0,24	15,5	859
Máximo	1287	534	8,11	704	430	430	3210	3130	7,4	26,8	1335
Média	757,5	315,5	7,72	476,2	160,9	216,5	2317,14	2007,2	3,94	22,75	1203,2

Tabela 38 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório Central para amostras do TC-4

Tanque de Água Branca TC-4									
Data	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Sódio (mg/L)	Alumínio (mg/L)	Turbidez	Acidez	Alcalinidade	Cálcio (mg/L)	
08/ago	110,61	299,17	202	5	176	7,81	2,19	16,4	
10/ago			180,8	1,50	81	8,62	1,38	42,4	
15/ago	113,55	260,51	169,2	2,29	66	7,48	2,52	85,6	
17/ago			184,4	3,05	270	7,36	2,64	78,8	
22/ago	87,11	134,23	204,00	5,52	471	5,76	4,24	80,80	
24/ago			142,00	2,23	209	7,68	2,32	29,76	
29/ago	106,20	320,47	235,60	3,63	790	4,27	5,73	116,00	
31/ago			244,40	3,83	316	5,53	4,46	112,00	
05/set	105,50	225,94	184,00	6,44	295	7,64	2,35	88,80	
07/set			258,80	4,52	222	7,06	2,94	75,20	
12/set	153,32	315,70	180,00	17,32	768	6,83	3,17	156,40	
14/set	110,61		178,40	8,32	212	8,49	1,51	132,80	
Mínimo	87,11	134,23	142	1,50	66	4,27	1,38	16,4	
Máximo	153,32	320,47	258,8	17,32	790	8,62	5,73	156,4	
Média	112,41	259,34	196,97	5,30	323	7,04	2,96	84,58	

Tabela 39 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório de controle ambiental para amostras do TC-3

Tanque de Água Branca TC-3											
Data	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	Cor Ap. (ppm/Pt)	Cor Real (ppm/Pt)	SS (mg/L)	ST (mg/L)	SVT (mg/L)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	Condutividade (uS cm ⁻¹)
09/08/05	776	380	7,7	427	133	244	1920	1820	9,5	15,8	1460
11/08/05	507		7,9	171	78	141	2470	1670			1390
15/08/05	1066	343	7,7	463	159	139	1750	1740			1337
18/08/05	1118		8,1	374	80				7,5	21,6	1425
23/08/05	1358	635	7,4	520	192	198	2660	1910			1422
24/08/05	426		8,0	504	121	262	2450	1960	0,23	22,6	1040
30/08/05	1158	558	7,0	1050	92	413	2380	2020	0,18	26,9	1356
01/09/05	1074		7,1	732	72				0,17	25,5	1359
06/09/05	748	300	7,9	440	52	306	1760	1420	0,81	24,6	1091
13/09/05	1220	675	7,8	1401	153	607			7,1	22,8	1323
Mínimo	426	300	7	171	52	139	1750	1420	0,17	15,8	1040
Máximo	1358	675	8,11	1401	192	607	2660	2020	9,5	26,9	1460
Média	945,1	481,83	7,66	608,2	113,2	288,75	2198,57	1791,4	3,64	22,83	1320,3

Tabela 40 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório Central para amostras do TC-3

Tanque de Água Branca TC-3								
Data	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Sódio (mg/L)	Alumínio (mg/L)	Turbidez	Acidez	Alcalinidade	Cálcio (mg/L)
08/ago	116,26	335,02	218,4	3,06	423	8,04	1,96	71,6
10/ago			224,8	1,71	126	9,70	0,30	56
15/ago	102,58	344,27	198,4	3,98	337	8,02	1,98	108,4
17/ago			206,8	3,12	364	7,44	2,56	87,6
22/ago	108,69	175,04	252,00	3,58	366	6,95	3,05	83,20
24/ago			188,80	2,52	210	6,97	3,03	37,24
29/ago	109,01	351,25	250,80	3,18	353	7,14	2,86	75,20
31/ago			227,20	3,08	385	7,47	2,53	83,20
05/set	77,20	166,83	201,20	3,32	341	7,89	2,11	87,20
07/set			184,40	2,60	140	8,50	1,50	37,76
12/set	113,94	302,39	141,20	35,76	469	9,57	0,43	194,40
14/set			144,00	8,28	313	9,00	0,99	78,00
Mínimo	77,20	166,83	141,2	1,71	126	6,95	0,29	37,24
Máximo	116,26	351,25	252	35,76	469	9,70	3,05	194,4
Média	104,61	279,13	203,17	6,18	318,92	8,05	1,94	83,31

Tabela 41 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório de controle ambiental para amostras do TQ-13

Tanque de Água Branca de Retorno TQ-13											
Data	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	Cor Ap. (ppm/Pt)	Cor Real (ppm/Pt)	SS (mg/L)	ST (mg/L)	SVT (mg/L)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	Condutividade (uS cm ⁻¹)
09/08/05	584	246	7,9	393	147	186	1460	1370	9,4	17,3	1222
11/08/05	519		8,0	110	49	143	1890	1150			186
15/08/05	573	278	7,8	222	79	97	1530	1500			1183
18/08/05	803		8,0	274	66				7,2	21,6	1282
23/08/05	1099	490	7,7	460	139	306	2360	1710			1232
24/08/05	1300		7,5	516	183	358	3460	2300	0,28	21	1271
30/08/05	1007	433	7,7	1000	38	325	2040	1190	0,37	25,2	1344
01/09/05	901		7,7	496	148				0,2	25,6	1310
06/09/05	1092	401	7,3	780	31	624	2030	1300	0,39	22,3	1074
13/09/05	833	402	7,9	500	38	309			6,1	22,7	1271
Mínimo	519	246	7,3	110	31	97	1460	1150	0,2	17,3	186
Máximo	1300	490	8,04	1000	183	624	3460	2300	9,4	25,6	1344
Média	871,1	375	7,75	475,1	91,8	293,5	2110	1502,9	3,42	22,24	1137,5

Tabela 42 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório Central para amostras do TQ-13

Tanque de Água Branca TQ-13								
Data	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Sódio (mg/L)	Alumínio (mg/L)	Turbidez	Acidez	Alcalinidade	Cálcio (mg/L)
08/ago	109,68	301,35	244,8	2,42	172	8,01	1,99	79,6
10/ago			211,2	1,53	119	8,22	1,78	54,4
15/ago	94,20	282,63	168	2,46	182	7,32	2,68	85,6
17/ago			198,4	2,77	173	7,40	2,60	78,8
22/ago	96,98	302,43	224,80	2,70	248	9,01	0,99	66,80
24/ago			225,60	5,12	749	6,34	3,66	82,00
29/ago	106,69	327,65	232,00	2,28	311	6,72	3,28	76,80
31/ago			236,00	2,50	211	6,89	3,10	86,00
05/set	103,41	227,44	190,00	2,67	211	8,95	1,05	73,20
07/set			248,40	3,14	178	7,76	2,24	64,40
12/set	155,13	385,46	180,80	7,08	609	9,49	0,51	95,20
14/set			163,20	5,80	134	10,54	-0,54	105,60
Mínimo	94,20	227,44	163,2	1,53	119	6,34	-0,54	54,4
Máximo	155,13	385,46	248,4	7,08	749	10,54	3,66	105,6
Média	111,02	304,49	210,26	3,37	274,75	8,06	1,94	79,03

Tabela 43 – Resultados obtidos nas análises realizadas no laboratório de controle ambiental para amostras do Tanque Flouclin

Tanque Flouclin											
Data	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	Cor Ap. (ppm/Pt)	Cor Real (ppm/Pt)	SS (mg/L)	ST (mg/L)	SVT (mg/L)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	Condutividade (uS cm ⁻¹)
09/08/05											
11/08/05	131		8,4	396	376	32	1600	1520			507
15/08/05	100	14	7,6	788	570	191	450	410			
18/08/05	208		7,9	1010	548				2,7	21,7	518
23/08/05	151	37	7,8	846	497	34	1250	620			540
24/08/05	109		7,7	798	544	128	1520	1330	3,5	20,9	494
30/08/05	394	128	7,7	266	138	75	1220	1100	3,5	25,3	514
01/09/05	<LIM.		7,8	220	134				4,04	25,5	514
06/09/05	36	10	8,1	180	103	40	2290	2260	7,4	23,3	1046
13/09/05	110	24	8,0	900	408	138			6,6	22,1	440
Mínimo	36	10	7,6	180	103	32	450	410	2,7	20,9	440
Máximo	394	128	8,43	1010	570	191	2290	2260	7,4	25,5	1046
Média	154,9	42,6	7,89	600,44	368,67	91,14	1388,33	1206,67	4,62	23,13	571,62

Tabela 44 – Resultados obtidos nas análises realizadas no Laboratório Central para amostras do Tanque Flouclin

Tanque Flouclin									
Data	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Sódio (mg/L)	Alumínio (mg/L)	Turbidez	Acidez	Alcalinidade	Cálcio (mg/L)	
08/ago	64,20	33,06	79,6	0,052	0	9,39	0,61	6,84	
10/ago			73,6	4,76	78	7,99	2,01	30,72	
15/ago	58,77	32,53	73,2	13,2	320	7,69	2,31	21,2	
17/ago			83,2	19,64	692	5,26	4,74	68,8	
22/ago	62,68	42,84	94,40	0,64	116	7,46	2,54	31,32	
24/ago			79,60	8,44	410	6,54	3,46	46,80	
29/ago	60,31	40,85	81,20	0,56	5	8,83	1,17	8,20	
31/ago			98,00	0,48	44	7,51	2,49	22,76	
05/set	59,91	39,24	98,00	19,68	600	8,89	1,11	30,04	
07/set			82,40	6,84	214	9,64	0,36	14,28	
12/set	81,94	48,63	74,00	12,16	272	8,89	1,11	21,40	
14/set			78,40	2,54	75	9,44	0,56	25,32	
Mínimo	58,77	32,53	73,2	0,052	0	5,26	0,36	6,84	
Máximo	81,94	48,63	98	19,68	692	9,64	4,74	68,8	
Média	64,64	39,52	82,97	7,41	235,5	8,13	1,87	27,37	

Tabela 45 – Resultados obtidos nas análises realizadas no laboratório de controle ambiental para amostras do efluente final da máquina MB-6

Efluente Final da Máquina MB-6											
Data	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	Cor Ap. (ppm/Pt)	Cor Real (ppm/Pt)	SS (mg/L)	ST (mg/L)	SVT (mg/L)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	Condutividade (uS cm ⁻¹)
09/08/05											
11/08/05	131		8,4	396	376	32	1600	1520			507
15/08/05	100	14	7,6	788	570	191	450	410			
18/08/05	208		7,9	1010	548				2,7	21,7	518
23/08/05	151	37	7,8	846	497	34	1250	620			540
24/08/05	109		7,7	798	544	128	1520	1330	3,5	20,9	494
30/08/05	394	128	7,7	266	138	75	1220	1100	3,5	25,3	514
01/09/05	<LIM.		7,8	220	134				4,04	25,5	514
06/09/05	36	10	8,1	180	103	40	2290	2260	7,4	23,3	1046
13/09/05	110	24	8,0	900	408	138			6,6	22,1	440
Mínimo	36	10	7,6	180	103	32	450	410	2,7	20,9	440
Máximo	394	128	8,43	1010	570	191	2290	2260	7,4	25,5	1046
Média	154,9	42,6	7,89	600,44	368,67	91,14	1388,33	1206,67	4,62	23,13	571,63

Tabela 46 – Resultados obtidos nas análises realizadas no laboratório central para amostras do efluente final da máquina MB-6

Efluente Final da Máquina MB-6								
Data	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Sódio (mg/L)	Alumínio (mg/L)	Turbidez	Acidez	Alcalinidade	Cálcio (mg/L)
08/ago	64,20	33,06	79,6	0,052	0	9,39	0,61	6,84
10/ago			73,6	4,76	78	7,99	2,01	30,72
15/ago	58,77	32,53	73,2	13,2	320	7,69	2,31	21,2
17/ago			83,2	19,64	692	5,26	4,74	68,8
22/ago	62,68	42,84	94,40	0,64	116	7,46	2,54	31,32
24/ago			79,60	8,44	410	6,54	3,46	46,80
29/ago	60,31	40,85	81,20	0,56	5	8,83	1,17	8,20
31/ago			98,00	0,48	44	7,51	2,49	22,76
05/set	59,91	39,24	98,00	19,68	600	8,89	1,11	30,04
07/set			82,40	6,84	214	9,64	0,36	14,28
12/set	81,94	48,63	74,00	12,16	272	8,89	1,11	21,40
14/set			78,40	2,54	75	9,44	0,56	25,32
Mínimo	58,77	32,53	73,2	0,05	0	5,26	0,36	6,84
Máximo	81,94	48,63	98	19,68	692	9,64	4,74	68,8
Média	64,64	39,52	82,97	7,42	235,5	8,13	1,87	27,31

Tabela 47 – Características da água industrial, segundo laudo da Suzano

Efluente Final da Máquina MB-6											
Data	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	Cor Ap. (uh)	Cor Real (ppm/Pt)	SS (mg/L)	SDT (mg/L)	SVT (mg/L)	OD (mg/L)	Temperatura (°C)	Condutividade (uS cm ⁻¹)
Limite	–	–	6-9,5	15	–	–	1000	–	–	–	–
Resultado	–	–	8,99	<1	–	–	204	–	–	–	–

Tabela 48 – Características da água industrial, segundo laudo da Suzano

Efluente Final da Máquina MB-6								
Data	Cloreto (mg/L)	Sulfato (mg/L)	Sódio (mg/L)	Alumínio (mg/L)	Turbidez	Acidez	Alcalinidade	Cálcio (mg/L)
Limite	250	250	200	0,2	–	–	–	–
Resultado	35	106	26	< 0,2	–	–	–	–

8 – Referências bibliográficas

ABRAMOVITZ, J. (1996). *Imperiled Waters, Impoverished Future: The Decline of Freshwater Ecosystems*. Washington, Worldwatch Institute, p. 5-66.

ALEXANDERSSON, T. (2003). *Water reuse in paper mills - measurements and control problems in biological treatment*. Licenciante Thesis, Lund University, Department of Industrial Electrical Engineering and Automation.

ALMEIDA, R. A.; SANTOS, A. H. M. (2003). *O Uso Industrial de Água e a Gestão dos Recursos Hídricos*. In: XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. *Desafios à gestão da água no limiar do século XXI*. Curitiba: ABRH, v. 1.

ALZABA, A. A. (1998). *Necessity for Modification of Management Parameters When Using Low Quality Water*. *Agricultural Water Management*, 36, p. 210-211.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA (2005)-“*Água nos Continentes*”
<http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/InfoHidrologicas/mapasSIH/3-AguaNosContinentes.pdf>

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA(2006)-“*A Água no Brasil e no Mundo*”
<http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/InfoHidrologicas/mapasSIH/1-AAquaNoBrasilENoMundo.pdf>

ASANO, T.; MILLS, R. A. (1990). *Planning and analysis for water reuse projects*. *Journal AWWA*, Denver, v. 82, n. 1, p. 38-47.

ASANO, T.; LEVINE, A. D. (1995). *Wastewater reuse: available link in water resources management*. Water Quality International, London, n. 4, p. 20-24.

ASANO, T. (1991). *Planning and implementation of water reuse projects*. Water Science and Technology, Exeter, Great Britain, v. 24, n. 9, p. 1-10.

BAGAJEWICZ, M. (2000). *A review of recent design procedures for water networks in refineries and process plants*. School of Chemical Engineering and Materials Science, University of Oklahoma, 24, p. 2093-2113.

BAHRI. (1999). *Agricultural Reuse of Wastewater and Global Water Management*. Water Science Technology, 40 (4-5), p. 339-346.

BARTON, D. A.; STUART, P. R.; LAGACI, P.; MINER, R. (1996). *Experience with water closure at recycled paperboard mills*, TAPPI 79, n. 3, p. 191-197, mar.

BRAILE, P. M.; CAVALCANTI, J. E. W. A. (1993). *Manual de águas Residuárias*. São Paulo, CETESB.

BÉDARD, S.; SORIN, M.; LEROY, C. (2001). *Application of process integration in water reuse projects*. Pulp and Paper Canada, 102(3), p.78-81.

BEECKMAN, G. B. (1998). *Water Conservation, Recycling and Reuse*. Water Resources Development, Oxford, vol.14, n. 03, p 353-354.

BOLICK, T.; YOLTON, Y. (1966). *The role of engineering in water conservation*. TAPPI 79, n. 12, p. 125-127, dec.

BRITO-PELEGRINI, N. N.;Paterniani, J. E. S.(2005).*Água para consumo, um bem limitado*.Revista Gestão de Resíduos. 26/10/2003

www.upfl.tche.br/agua/simposio.html.

CARR, R. (2000). *Reuse of Process Water in the Food and Beverage Industries*. Pretoria, South África, nov.

CASALPRIM, X. T. (2005). *Aplicació D'Algoritmes genètics on L'Optimització dels Processos de Fabricació de Paper*. Girona. 247 p. Tesi (Doctoral). Universitat de Girona.

CHRISTOFIDIS, D. (2001). *Olhares sobre a Política de Recursos Hídricos no Brasil: O caso da bacia do Rio São Francisco*. Brasília, 432 p., Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília.

COLDICOTT, B. W..(1986).*Fresh Water reduction with Suspended Solids Control, Proceedings*. IN: the 1986 CPPA Annual Meeting,72B,p.9-11.

COSTA, D. M. A.; BARROS JÚNIOR, A. C. (2005). Avaliação da necessidade do reuso em águas residuais. CEFET-RN, Holos, Ano 21, p.100-195, set.

<http://www.cefetrn.br/dpeq/holos/anterior/200509/pdf/081-101.pdf>

CROOK, J. (1990). *Water reclamation and reuse*. In: PONTIUS, F. W. (Ed). *Water quality and treatment a handbook of community water supplies*. 4 ed, New York, McGraw-Hill.

DOYLE, S. J.; SMITH, R.(1997).*Targeting water reuse with multiple contaminants*,Trans Ichem E, v.75, Part B, p.181-189.

EL-HALWAGI, M. M. (1997). *Pollution prevention through process integration: Systematic design tools*. Academic Press, San Diego.

EL-HALWAGI, M. M.; MANOUSIOUTHAKIS, V. (1989) *Synthesis of mass exchange networks*, AIChE Journal, v.35, p.1233-1244.

ENGLISH, J. (1994). Monograph "*Water use reduction in pulp and paper industry*" Forest Industries R+D and Innovation Program, Industry Canada and Canadian Forest Service, Natural Resources Canada.

FALKENMARK, M. (1992). *Water scarcity generate environmental stress and potential conflicts*, Chapter 16- Water Development and the environment, Lewis Publishers Inc., p.279-294.

FERNANDEZ, J. C. (1996) "*Projeto de implantação da cobrança pelo uso e poluição da água dos mananciais do Alto Paraguaçu e Itapicuru*." Salvador: Superintendência de Recursos Hídricos da Bahia.

FERREIRA, E. C.; VIDIGUEIRA, F. (2005). *Estratégias de minimização de efluentes na síntese e integração de processos*. Centro de Engenharia Biológica, Universidade do Minho – Portugal, Campus de Gualtar, 4710-057.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO- FIESP. MANUAL de Conservação e reuso de água para a indústria (2004). São Paulo, v.1., FIESP/CIESP.

GUARRARD, A.; FRAGA, E. S. (1998). *Mass Exchange network synthesis using genetic algorithms*. Computer and Chemical Engineering, v.22, n.12, p. 1837-1850.

HART, O. O.; VANVUUREN, L. R. J. (1987). *Water reuse in South Africa*. A. H.1, Ed. Shuvah, Water Renovation and Reuses Academic Press, Nova York.

HESPANHOL, I. (1990). *Guidelines and integrated measures for public health protection in agricultural reuse systems*. J. Water SRT- Aqua, England, v.39, n.4. p.237-249.

HESPANHOL, I. (1997). *Esgotos como recurso hídrico – Parte I: dimensões políticas, institucionais, legais, econômico-financeiras e sócio-culturais*. Revista do Instituto de Engenharia, Amsterdam, Ano 55, n. 523, p. 45-88.

HESPANHOL, I. (1999). *Água e saneamento básico - uma visão realista*. In: REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. B. (coord). *Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo, Escrituras.

HESPANHOL, I. (2003). *Potencial de Reuso de Água no Brasil-Agricultura, Indústria, Municípios e Recarga de Aquíferos*. lvahe@usp.com.br.04/06/2003

HIGGINS, T. E..(1989). *Hazardous waste minimization*. Handbook Lewis Publishers, Inc 1989.

IBGE. Censo Demográfico Brasileiro. resultados da amostra.

Brasília, 2000b. Disponível

em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatística/população/censo2000/primeiros_resultados_amostrasgrandes_regioes/> acesso em 18 de fev de 2004.

LAVRADOR FILHO, J. (1987). *Contribuição para o entendimento do reuso planejado da água e algumas considerações sobre suas possibilidades no Brasil*. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MACHADO, J. (2006). *A ANA e a Agricultura Sustentável. / Apresentado ao Seminário Desafios à Expansão da Agropecuária Brasileira*, nov.

http://www.ana.gov.br/Institucional/ASPAR/docs/P2_ANA_JoseMachado.pdf

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. (2003). *Reuso de Água*. Barueri, Editora Manole.

MANN, J. G.; LIU, Y. A. (1999). *Industrial water reuse and wastewater minimization*. New York, McGraw-Hill.

MARECHAL, L.F.; KALITVENTZEFF, B. (2003). *Targeting the integration of multi-period utility systems for site scale process integration*. Applied Thermal Engineering, v.23, p. 1763-1784.

MAYS, L. W. (1996). *Water Resources: An Introduction*. Chapter 1, Water Resources Handbook, Larry W. Mays, McGraw-Hill, p.1.3-1.35.

MCCLEAN, G. (1993). *Paper technology*. p.37-40.

MIERSWA, J.C. (2002). *O uso racional e o reuso como ferramentas para o gerenciamento de água e efluentes na indústria – o caso da Kodak brasileira*. São Paulo. 367p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

MIERSWA, J. C.; HESPANHOL, I. (2005). *Água na Indústria: uso racional e reuso*. Oficina de Textos, São Paulo

MONTGOMERY, J. M. (1985). *Facilities design*. In: *Water treatment principles and design*. New York, John Wiley & Sons, p. 491-580.

MONTGOMERY CONSULTING, J. M. (1985). *Water treatment principles & design*. Nova York, John Wiley.

MORAN, J. M.; MORGAN, M. D.; WIERSMA, J. H. (1989). *Introduction to Environmental Science*. Second Edition, W. H. Freeman and Company, New York.

MORLEY, M. (1990) *Closing backwater systems through shower technology*. Paper Technology. p. 41-13.

MUJERIEGO, R.; ASANO, T. (1999). *The role of advanced treatment in wastewater reclamation and reuse*. Water Science and Technology, Exeter, Great Britain, v. 40, n. 4-5, p. 1-9.

NATIONAL COUNCIL OF THE PAPER INDUSTRY FOR AIR AND STREAM IMPROVEMENT, INC.-NCASI. (1980). *The relation between process water quality and its reuse potential in unbleached kraft mill paper and board machine systems*. Stream Improvement Technical Bulletin n).339. Nov. p.1-45

NATIONAL GEOGRAFIC (2001). *World of water enough for all? Conservation – Earth Pulse*. IN: REBOUÇAS (2001). *Água e Desenvolvimento Rural* Estud. av., v.15, n. 43, p.327-344, dez.

PESSOA, F. L. P.; QUEIROZ, E. M. (2005). *Integração de processos – uma ferramenta para minimizar o consumo energético e o impacto ambiental*. Cap. 9, p. 81.

PIRES, F. S.; KUAN, G. S. S. (1988). *Celulose e Papel- tecnologia de fabricação do papel*. 2.ed, v. 2, Cap. 3, Departamento de Divulgação do IPT, São Paulo, p. 657-741.

REBOUÇAS, A. C. (2001). *Água e desenvolvimento rural*. Estud. av., v.15, n. 43, p.327-344, dez.

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142001000300024&lng=en&nrm=iso

SANTOS, D. G..(2000) “*A Cobrança Pelo Uso da Água*”; Dissertação (Mestrado); UNB; Brasília.

REBHUN, M.;ENGEL,G.(1988).*Reuse of Wastewater for industrial cooling systems*.Journal WPCF, Alexandria, v.60, n.2.p.237-241

ROSSITER, A. P. (1995).*Waste minimization through process design*.Mcgraw-Hill,New York.

SMITH, R. (2000).*State of art in process integration:applied thermal engineering*, ,v.20,p-1337-1345.

SMITH, R.; PETELA, E. (1994).*Wastewater minimization and design of effluent,treatment systems using pinch analysis*, Envir.Protec.Bull, 030, p.5-10.

SOUZA, R. S. .(2004).*Fatores de formação e desenvolvimento das estratégias ambientais nas empresas*. Porto Alegre. 260p.Tese (Doutorado)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul. p.133-185.

SPRINGER, A. M. (1993). *Fresca Environmental Control – Pulp and Paper Industry*. Second Edition, Chapter 8, TAPPI Atlanta, GA, USA.

SHREVE, R. N.; BRINK JR., J. A. (1980). *Indústrias de processos químicos*. 4. ed., Rio de Janeiro, Guanabara Dois.

THOMAZ, P. (2003). *Aproveitamento de Água de Chuva*. Ed. ABES, São Paulo.

TUNDISI, J. G. (2003). *O Futuro dos Recursos Hídricos*. Multiciência, São Carlos, out.

TRINIDAD, J. G.; GONZÁLEZ, J. A. D.; LUJAN, A. V. (2001). *Recuperación y Reutilización de las Aguas Residuales en la Producción Agrícola y Pecuaria de las Zonas Áridas*. In: XI Congreso Nacional de Irrigación. *Contaminación, Tratamiento y Reuso del Agua*. Simposio 9, Guanajuato, México, p. 19-21, sep.

WANG, Y. P.; SMITH, R. (1994). *Wastewater minimization*. *Chem. Eng. Sci.*, 49(7), 981-1006.

WESTERHOFF, G. P. (1984). *An update of research needs for water reuse*. In: Water Reuse Symposium 3, San Diego, Proceedings, p.1731-1742.

WILSON, D. R.; PAGE, I. C.; COCCI, A. A.; LANDINE, R. C. (1998). *Case History two Stage, Low Rate Anaerobic Treatment Facility for South American Alcochemical Citic and Wastewater*. *Water Science Technology*. 38 (4-5), p. 45-52.

WORD HEALTH ORGANIZATION(1973).*Reuse of effluents methods of wastewater treatment and health safeguards*.Of a WHO meeting Experts,Technical report series, n.517, Geneva.

WÖRSTER, H. E.; COSTA, M. M.(1997). *Fechamento de Circuito da Água Branca em Indústrias de Papéis*. /Apresentado ao Seminário Internacional sobre Fechamento de Circuito, Vitória, 1997/.

WRI- World Resources Institue. World Resources 1997-1998.

Disponível em:<http://www.wri.org/wre> (1997)

WRI- World Resources Institue. World Resources 1997-1998.

Disponível em:<http://www.wri.org/wre> (1998)

APÊNDICE 1

Diagrama Esquemático do processo Kraft (Sulfato)

Preparo da Polpa de celulose

Na primeira etapa, a madeira é descascada e cortada em toros. A seguir, os toros são cortados em lascas e transformados em polpa de celulose, por um dos seguintes métodos:

- Pasta mecânica;
- Pasta sulfato (ou celulose sulfato)
- Pasta sulfito (ou celulose sulfito)
- Pasta Soda (ou celulose);
- Métodos diversos.

O método pasta mecânica é mecânico, os de sulfato, sulfito e soda são químicos.

Os métodos diversos, consistem na aplicação de substâncias químicas, com polpa de pasta mecânica, com madeira ou com outros materiais.

Na preparação da celulose, além dos licores de digestão, existem também despejos da operação de serragem, descascamento e lascamento, assim como os provenientes das telas, lanceteiras, retirador de nós da madeira, engrossadores, alvejamento, etc...

Celulose Sulfato (Processo kraft)

O emprego do sulfato ou processo Kraft diminui o custo de fabricação de celulose porque permite a recuperação de produtos químicos e calor, partindo da queima do licor-negro proveniente do cozimento. Por isso, os efluentes da fabricação de celulose pelo processo sulfato contém pouca lignina e produtos químicos cozidos.

O processo sulfato, que utiliza soluções alcalinas para dissolver a lignina e outras partes não celulósicas da madeira (a lignina é a substância química que cola as fibras de celulose umas a outras), têm a vantagem de produzir uma celulose de alta qualidade.

O processo de digestão pode ser obtido por cargas (intermitentes), produção direta ou indireta ou por produção direta e contínua.

As principais fontes de despejos na produção de celulose kraft são as descargas dos digestores, os vazamentos, sistemas de resfriamento, selo da bomba de recirculação, evaporadores de múltiplos efeitos, lavagem de resíduos de cal, lavagem dos filtros de lixívia e lavagem dos fornos de cal e de gás.

A matéria-prima é o eucalipto, sendo que as espécies mais encontradas são: *Eucalyptus saligna*, *E. alba*, *E. grandes* e *E. tereticornes*.

A sequência de processamento pode ser resumida da seguinte maneira:

Os troncos já descascados são lavados com água e encaminhados ao picador onde são reduzidos a cavacos.

Os cavacos são classificados numa peneira vibratória que uniformiza os tamanhos: os maiores são levados ao repicador e a seguir, são carregados por correia transportadora para o silo de cavacos, daí saindo para alimentar os digestores;

Carregam-se os cozinhadores com cavacos e com licor de digestão (licor-branco e licor-negro); o licor-branco contém basicamente NaOH, Na₂CO₃ que se expressam como NaOH (álcali ativo);

Ao final do cozimento, forma-se uma massa preta de licor-negro e celulose delignificada, a qual é lançada no tanque de descarga ("blow tank"). Neste tanque, dilui-se a polpa com licor negro para ser encaminhada aos filtros a vácuo, passando pelos separadores de nós ("knotters"). Os nós não desfibrados que foram separados pela peneira, retornam ao digestor para serem recozidos;

No filtro a vácuo, a massa é lavada em contra-corrente com água quente, ocorrendo a separação do licor-negro da massa; o licor é enviado para a evaporação onde é concentrado a 45% de sólidos e a massa é enviada para o sistema de depuradores de massa para ser tratada.

Fluxo de massa: nos depuradores, a massa é lançada através de pequenas ranhuras existentes em tambores rotativos onde são separados os rejeitos ou "palitos" os quais não são aproveitados. A massa segue para os adensadores a seguir para a torre de cloração, para o filtro a vácuo, segunda torre de hipoclorito de cálcio, filtro a vácuo.

Esse processo está sendo modificado em várias indústrias passando a ser CEHD (cloração, extração alcalina; hipoclorito de cálcio e dióxido de cloro).

Nesse ponto, a massa é estocada nos tanques de massa alvejada, estando pronta para ir para a máquina de papel (Fourdrinier) ou ser enviada para a máquina de secagem e ser enfiada. Na unidade de fabricação de papel, a massa recebe

aditivos, tais como caolim, cola, etc. e é encaminhada para a máquina de fourdrinier que a transforma em papel. Os tipos de papel mais comuns são: apergaminhado, off-set e buffon.

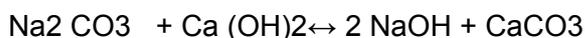
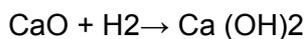
Fluxo de licor negro: o licor negro, a 15% de sólidos, proveniente de lavagem de massa do filtro a vácuo, é enviado ao sistema de evaporadores com 5 corpos e 5 efeitos (sistema escandinavo), onde é concentrado a 45% de sólidos. Após o 5º corpo de evaporação, a lixívia recebe sulfato de sódio (Na₂S) num pequeno tanque com agitador, seguindo depois para o primeiro corpo de evaporação.

Do segundo corpo de evaporação, a lixívia-negra, já contendo sulfeto de sódio, entra em contato com os gases (cinzas) provenientes da caldeira de recuperação num sistema venturi, evaporando água e recuperando cinzas, aumentando a concentração de sólidos para lixívia para 65%. A seguir, a matéria orgânica da lixívia é queimada no maçarico da caldeira de recuperação. O vapor produzido alimenta as linhas gerais de distribuição de vapor.

O fundido da caldeira é diluído com licor-branco fraco, dando origem ao licor verde com a seguinte composição em equivalente de NaOH:

- NaOH (15 g/l);
- Na₂S (25 g/l);
- Na₂CO₃ (75 g/l);

O licor-verde segue para a caustificação, onde reage como CaO, produzindo licor branco e CaCO₃:



O CaCO₃ é enviado a um forno de cal, onde é calcinado a CaO:



Δ

O CaO produzido irá retornar ao caustificador. O licor-branco produzido na caustificação é reutilizado nos digestores, completando o ciclo de recuperação. Este licor possui a seguinte composição em equivalente de NaOH:

- NaOH (75 mg/l);
- Na₂S (25 g/l);
- Na₂CO₃ (15 g/l);

O Fluxograma deste processo pode ser observado na figura 16, logo a seguir:

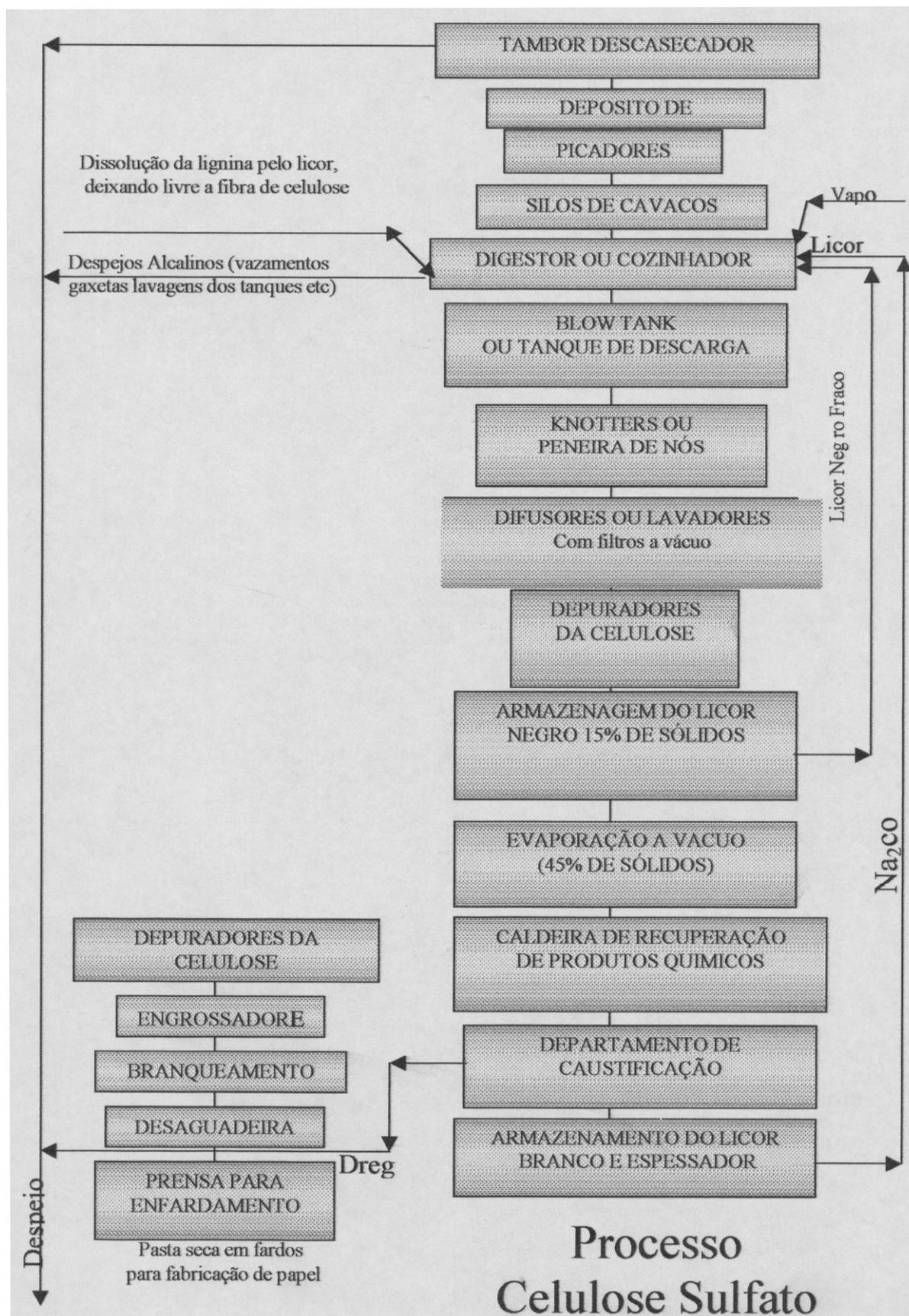


Figura 26- Fluxograma do processo kraft

