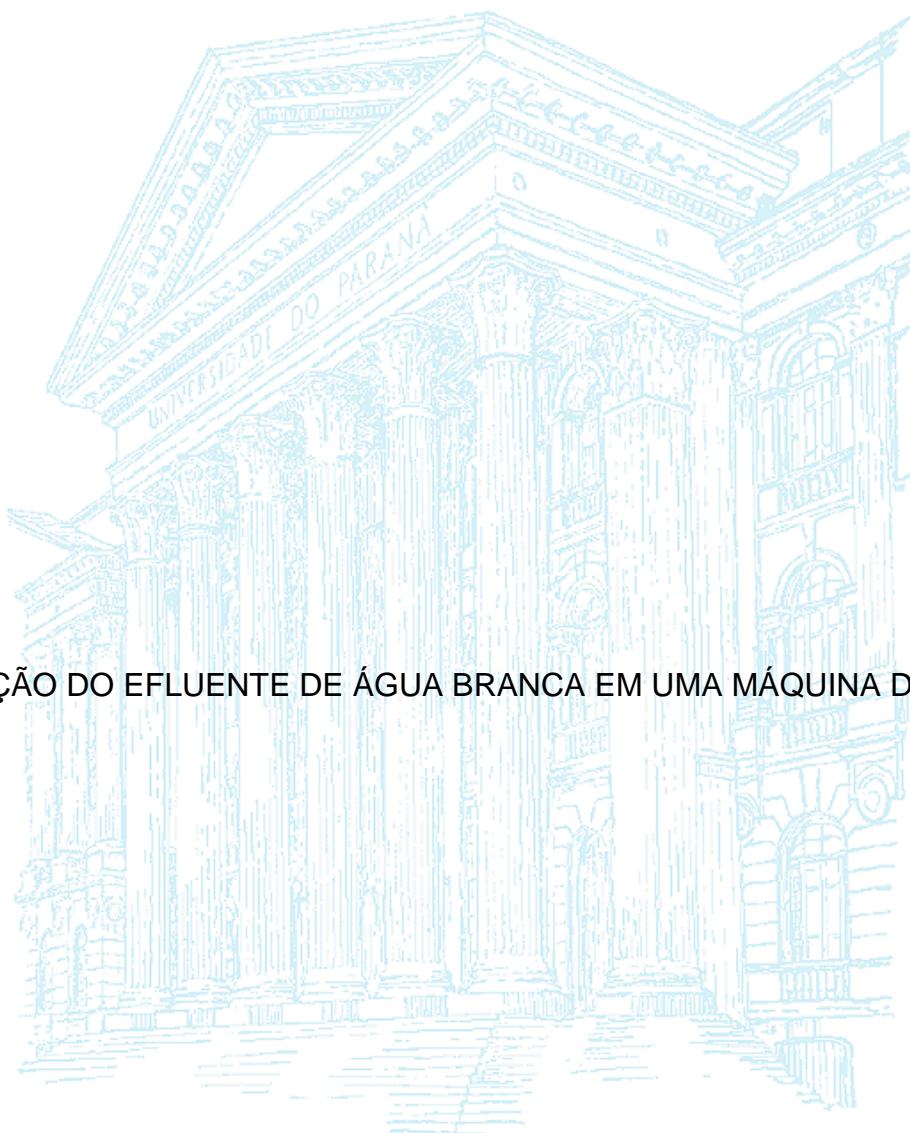


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LIDIO MIGUEL DOLNY

REDUÇÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA EM UMA MÁQUINA DE PAPEL



CURITIBA

2011

LIDIO MIGUEL DOLNY



REDUÇÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA EM UMA MÁQUINA DE PAPEL

Dissertação apresentada ao Mestrado em Meio Ambiente e Industrial parceria entre Universidade Federal do Paraná-Universität Stuttgart-SENAI como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Meio Ambiente.

Professor orientador Dr Georges Kanskantzis Neto.

CURITIBA

2011

Dolny, Lidio Miguel

Redução do efluente de água branca em uma máquina de papel /
Lidio Miguel Dolny. – Curitiba, 2011.

138 f. : il.; tab.

Dissertação (mestrado profissional) – Universidade Federal do
Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio
Ambiente Urbano e Industrial, SENAI – PR, Universitat Stuttgart.

Orientador: Georges Kanskantzis Neto

1. Água – Reutilização. 2. Maquinas para confecção de papel.
I. Kanskantzis Neto, Georges. II. Título.

CDD 363.7284

TERMO DE APROVAÇÃO

LÍDIO MIGUEL DOLNY

REDUÇÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA EM UMA MÁQUINA DE PAPEL

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com SENAI-PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a):


Prof(a). Dr(a). **GEORGES KASKANTZIS NETO**
DEQ/UFPR


Prof(a). Dr(a). **MARIO JOSÉ DALLAVALLI**
DEQ/UFPR


Prof(a). Dr(a). **REGINA WEINSCHUTZ**
DEQ/UFPR





Prof. Dr. **ALVARO LUIZ MATHIAS 09409-9**
Coordenador do TC/MAUI-UFPR

Curitiba, 19 de dezembro de 2011.

À minha esposa, Gleisy, e ao meu filho, Giovanni,
pelo tempo que deixei de conviver,
mas que souberam entender que todo o meu esforço
tem como objetivo a nossa felicidade.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me suportou e deu forças nessa longa caminhada.

Ao SISTEMA FIEP/SENAI que possibilitou a oportunidade de aperfeiçoamento e de realização profissional.

Ao professor Dr. Georges Kaskantzis Neto, meu orientador, à professora Dr^a. Arislete Dantas de Aquino e ao professor Mauricy Kawano, pelas orientações que me foram prestadas para a realização desse trabalho.

À professora Mariele Rebelato, pelo apoio administrativo durante o período do mestrado.

Aos colegas Mario Kossar Junior, Geraldo de Aguiar Coelho e Sandra Mara Martins, pelos momentos que compartilhamos as dificuldades e nos ajudamos.

Ao pessoal da máquina de papel, pela colaboração no fornecimento dos dados e informações.

RESUMO

A proposta desse trabalho foi a de apresentar medidas para a redução do efluente de água branca em uma máquina de papel com o objetivo de diminuir o impacto ambiental decorrente da perda de fibra e do excesso de água no processo. Por meio da revisão bibliográfica, dados a respeito do fechamento de circuitos de água branca e da melhoria do processo de máquinas de papel, juntamente com dados de especialistas em fechamento de circuitos permitiram a elaboração da metodologia para a execução desse trabalho. O estudo prosseguiu com a descrição do processo da máquina de papel que foi objeto desse estudo, tendo como base visitas à área da máquina de papel, acompanhamento da produção, pesquisa de documentos do arquivo técnico da empresa e pesquisa de fluxogramas eletrônicos. As ações implantadas para a redução do efluente de água branca visaram baixa necessidade de investimento, sendo que se configuraram em alterações de procedimento operacional, automatização do processo e mudanças no projeto do processo. O monitoramento da qualidade da água em circulação através da máquina de papel e do efluente de água branca foi feito por medidas de vazão volumétrica, concentração de sólidos, DQO, dureza total, condutividade elétrica e sólidos totais. As medidas de vazão volumétrica e de concentração de sólidos da água branca permitiram o acompanhamento do consumo de água e da perda de fibra. As medidas de DQO, dureza total, condutividade elétrica e sólidos totais foram feitas com o objetivo de investigar potenciais de formação de depósitos, de incrustação e de processos de corrosão na máquina de papel. O monitoramento começou a ser feito antes da implantação das medidas para redução do efluente de água branca para obter a caracterização inicial do efluente. O monitoramento foi feito durante dez meses permitindo o acompanhamento das alterações das características do efluente de água branca à medida que foram executadas as ações para a redução do efluente. A implantação das medidas para fechamento do circuito de água deram resultados significativos de redução do efluente de água branca com correspondente diminuição do consumo de água e da perda de fibra.

Palavras-chave: Efluente de Água Branca; Máquina de Papel; Consumo de Água; Perda de Fibra.

ABSTRACT

The purpose of this study was to present measures to reduce the white water effluent in a paper machine with the aim of decreasing the environmental impact due to fiber loss and excess water in the process. Through literature review, data related to white water circuit closure and process improvement of paper machines, together with data from experts in the closing of circuits gave basis to the development of the methodology to carry out this work. The study continued with the description of the paper machine process that was the subject of this study, and was executed through visits in the area of the paper machine, production monitoring, research of the company's technical file documents and flowsheet electronics search. The actions implemented to reduce the white water effluent targeted lower need of investment translating into operational procedure changes, process automation and process design changes. The monitoring of the quality of the water circulating through the paper machine and the quality of the white water effluent was performed by means of volumetric flow rate, solids concentration, COD, total hardness, electrical conductivity and total solids measurements. The white water volumetric flow rate and solids concentration measures allowed monitoring the consumption of water and fiber loss. Measurements of COD, total hardness, electrical conductivity and total solids were carried out in order to investigate the potential formation of deposits, fouling and corrosion processes in the paper machine. Monitoring began to be implemented prior to implantation of the measures to reduce the white water effluent to obtain the initial characterization of the white water effluent. The monitoring was carried out for ten months allowing the monitoring of white water effluent characteristic changes as the actions to reduce white water effluent were implanted. Implementation of the measures for closing the water circuit gave significant white water effluent reduction results with corresponding water consumption and fiber loss cutback.

Keywords: White Water Waste; Paper Machine; Water Consumption; Fiber Loss

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 -	ESQUEMA GERAL DAS ETAPAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL	19
FIGURA 2 -	ESQUEMA DO SISTEMA DA MÁQUINA DE PAPEL COM AS CORRENTES LÍQUIDAS DE ÁGUA	25
FIGURA 3 -	DIAGRAMA DE BLOCOS COM AS PRINCIPAIS ETAPAS DO PREPARO DE MASSA DA MÁQUINA DE PAPEL	27
FIGURA 4 -	DIAGRAMA DE BLOCOS DO CIRCUITO DE APROXIMAÇÃO COM AS CORRENTES LÍQUIDAS DO TANQUE DA MÁQUINA À MÁQUINA DE PAPEL	34
FIGURA 5 -	SEÇÕES DA MÁQUINA DE PAPEL: FORMAÇÃO, PRÉNSAGEM E SECAGEM	36
FIGURA 6 -	CAIXA DE ENTRADA E SEÇÃO DE FORMAÇÃO TIPO MESA PLANA DA MÁQUINA DE PAPEL	38
FIGURA 7 -	CHUVEIRO FORMATADOR DA FOLHA (PICHASSO) LOCALIZADO NO FINAL DA SEÇÃO DE FORMAÇÃO	42
FIGURA 8 -	CHUVEIRO DE ALTA PRESSÃO PARA LIMPEZA DA TELA LOCALIZADO NO RETORNO DA TELA FORMADORA	43
FIGURA 9 -	CORRENTES DE ÁGUA NA MÁQUINA DE PAPEL	48
FIGURA 10 -	DISPOSITIVO PARA COLETA DE AMOSTRAS DE SUSPENSÕES FIBROSAS	71
FIGURA 11 -	CONJUNTO PARA FILTRAÇÃO DA SUSPENSÃO FIBROSA COMPOSTO DE FUNIL DE BÜCHNER; KITASSATO E BOMBA DE VÁCUO	72
FIGURA 12 -	PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM DA ÁGUA BRANCA EM CALHA PARSHALL COM DISPOSITIVO DE COLETA	73
FIGURA 13 -	CALHA PARSCHALL PARA MEDIDA DE VAZÕES EM CANAIS ABERTOS	75
FIGURA 14 -	ESQUEMA DO MEDIDOR DE NÍVEL POR BORBULHAMENTO INCLUINDO O TUBO BORBULHADOR, O ROTÂMETRO PARA REGULAGEM DA VAZÃO E O MANÔMETRO INDICADOR	75
FIGURA 15 -	PARTE INICIAL DA MÁQUINA DE PAPEL COM TUBO CÔNICO, CAIXA DE ENTRADA PRIMÁRIA, MESA PLANA (SEÇÃO DE FORMAÇÃO) E SEÇÃO DAS PRENSAS	79
FIGURA 16 -	PARTE FINAL DA MÁQUINA DE PAPEL OBSERVANDO-SE A CALANDRA E A SEÇÃO DE SECAGEM	80
FIGURA 17 -	DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA DA MÁQUINA DE PAPEL COM AS PRINCIPAIS ETAPAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO	82

FIGURA 18 -	VAZÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA <i>VERSUS</i> CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS NA SUSPENSÃO	87
FIGURA 19 -	CORRENTES LÍQUIDAS DE POLPA CELULÓSICA E DE ÁGUA ATRAVÉS DO PREPARO DE MASSA E SEÇÃO DE FORMAÇÃO DA MÁQUINA DE PAPEL	92
FIGURA 20 -	REPROCESSAMENTO DA MATÉRIA-PRIMA FIBROSA DA PARTE ÚMIDA E DO FINAL DA MÁQUINA DE PAPEL	94
FIGURA 21 -	BALANÇO DE MASSA DA CORRENTE LÍQUIDA DE ÁGUA BRANCA E DA SUSPENSÃO FIBROSA ENTRE O TANQUE DE RECEPÇÃO E A BOMBA DE MISTURA DA LINHA PRIMÁRIA	98
FIGURA 22 -	BALANÇO DAS VAZÕES MÁSSICAS DE ÁGUA BRANCA E DE VAPOR REMOVIDAS ENTRE A SEÇÃO DE FORMAÇÃO E A ENROLADEIRA	100
FIGURA 23 -	PONTOS DE GERAÇÃO DE EFLUENTES NA PARTE UMIDA DA MÁQUINA DE PAPEL	103
FIGURA 24 -	DISTRIBUIÇÃO NORMAL DA VAZÃO VOLUMÉTRICA DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA	108
FIGURA 25 -	DISTRIBUIÇÃO NORMAL DA PERDA DE FIBRA DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA	109
FIGURA 26 -	DISTRIBUIÇÃO NORMAL DA DQO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA	109
FIGURA 27 -	VARIAÇÃO DA VAZÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA COMO RESULTADO DA IMPLANTAÇÃO DAS MEDIDAS PARA REDUÇÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA	111
FIGURA 28 -	VARIAÇÃO DA PERDA DE FIBRA DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA COMO RESULTADO DA IMPLANTAÇÃO DAS MEDIDAS PARA REDUÇÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA	112
FIGURA 29 -	SUPERFICIE DE CONTORNO DA RELAÇÃO ENTRE VAZÃO VOLUMÉTRICA E A PERDA DE FIBRA DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA DA MÁQUINA DE PAPEL DURANTE O PERÍODO DE MONITORAMENTO	115
FIGURA 30 -	VARIAÇÃO DA DQO COMO RESULTADO DAS MEDIDAS IMPLANTADAS PARA A REDUÇÃO DA VAZÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA	116
FIGURA 31 -	SUPERFICIE DE CONTORNO DA RELAÇÃO ENTRE VAZÃO VOLUMÉTRICA E DQO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA DA MÁQUINA DE PAPEL DURANTE O PERÍODO DE MONITORAMENTO	117
FIGURA 32 -	VARIAÇÃO DOS SÓLIDOS TOTAIS DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA COMO RESULTADO DA IMPLANTAÇÃO DAS MEDIDAS PARA REDUÇÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA	118

FIGURA 33 - SUPERFICIE DE CONTORNO DA RELAÇÃO ENTRE VAZÃO VOLUMÉTRICA E SÓLIDOS TOTAIS DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA DA MÁQUINA DE PAPEL DURANTE O PERÍODO DE MONITORAMENTO	119
FIGURA 34 - VARIAÇÃO DA DUREZA TOTAL DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA COMO RESULTADO DA IMPLANTAÇÃO DAS MEDIDAS PARA REDUÇÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA	120
FIGURA 35 - SUPERFICIE DE CONTORNO DA RELAÇÃO ENTRE VAZÃO VOLUMÉTRICA E DUREZA TOTAL DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA DURANTE O PERÍODO DE MONITORAMENTO	121
FIGURA 36 - VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA COMO RESULTADO DA IMPLANTAÇÃO DAS MEDIDAS PARA REDUÇÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA	122
FIGURA 37 - SUPERFICIE DE CONTORNO DA RELAÇÃO ENTRE VAZÃO VOLUMÉTRICA E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA DA MÁQUINA DE PAPEL DURANTE O PERÍODO DE MONITORAMENTO	123
FIGURA 38 - DIAGRAMAS DAS CORRELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA	125

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 -	CONSUMO ESPECÍFICO DE ÁGUA EM 28 FÁBRICAS DE PAPEL	22
TABELA 2 -	COMPARAÇÃO ENTRE ÁGUA DE SELAGEM E ÁGUA RECIRCULADA CLARIFICADA	46
TABELA 3 -	CONSUMO DE ÁGUA EM MÁQUINA DE PAPEL (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA)	55
TABELA 4 -	RESUMO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA BRANCA REUSADA PARA SELAGEM, E AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO EM PLANTAS DE PRODUÇÃO DE PAPEL ...	64
TABELA 5 -	VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA ÁGUA BRANCA	65
TABELA 6 -	FAIXAS DE CONCENTRAÇÃO E DE VARIAÇÃO DE DQO, COD E ST EM FÁBRICA DE PAPEL TESTLINER E MIOLO COM CIRCUITO DE ÁGUA BRANCA ABERTO E FECHADO	66
TABELA 7 -	COMPOSIÇÃO DA ÁGUA BRANCA EM FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO	66
TABELA 8 -	RESULTADOS MÉDIOS DIÁRIOS DE VAZÃO VOLUMÉTRICA E CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS DA CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA	86
TABELA 9 -	VALORES MÉDIOS DE VAZÃO, CONCENTRAÇÃO E PERDA DE FIBRA REFERENTES À CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA	88
TABELA 10 -	VALORES DE DBO, DQO, SÓLIDOS TOTAIS, DUREZA TOTAL E CONDUTIVIDADE REFERENTES À CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA EM COMPARAÇÃO COM ÁGUA BRANCA REUSADA E EM CIRCULAÇÃO EM CIRCUITO FECHADO	90
TABELA 11 -	MÉDIAS DE VAZÃO, CONCENTRAÇÃO E PERDA DE FIBRAS DA MÁQUINA DE PAPEL	96
TABELA 12 -	CONSUMO DE ÁGUA DE ÁGUA FRESCA E MORNA NA MÁQUINA DE PAPEL	96
TABELA 13 -	VAZÕES MÁSSICAS DE ÁGUA BRANCA E VAPOR REMOVIDAS NA MÁQUINA DE PAPEL	101
TABELA 14 -	RESULTADOS DE VAZÃO VOLUMÉTRICA, PERDA DE FIBRA, DQO, SÓLIDOS TOTAIS, DUREZA E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA OBTIDOS DURANTE O ACOMPANHAMENTO DA QUALIDADE DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA	106
TABELA 15 -	RESULTADOS DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS VALORES DE VAZÃO VOLUMÉTRICA; PERDA DE FIBRA; DQO; SÓLIDOS TOTAIS; DUREZA E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA ..	107

TABELA 16 - REDUÇÃO DA VAZÃO DO EFLUENTE E DA PERDA DE FIBRA	113
TABELA 17 - VALORES DE POSTO DE SPEARMAN INDICANDO O NÍVEL DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS MEDIDAS DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA	124

SUMARIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO GERAL	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	18
2.1 O PAPEL E SUA IMPORTANCIA ECONOMICA	18
2.2 ESQUEMA GERAL DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PAPEL.....	18
2.3 EMISSÕES NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PAPEL	20
2.4 CONSUMO DE ÁGUA E REUSO DO EFLUENTE AQUOSO NA FABRICAÇÃO DO PAPEL	21
2.4.1 Tipos de Água do Processo de Fabricação do Papel.....	23
2.4.2 Água Branca em Circulação pelo Sistema da Máquina de Papel	24
2.4.3 Sistema da Máquina de Papel.....	24
2.4.3.1 Matérias-primas.....	26
2.4.3.2 Preparo de massa	26
2.4.3.3 Desagregação	28
2.4.3.4 Tanques de recepção da máquina de papel	30
2.4.3.5 Refino	31
2.4.3.6 Circuito de Aproximação	33
2.4.3.7 Uso de Água e Reuso de Água Branca no Circuito de Aproximação	35
2.4.3.8 Máquina de Papel	36
2.4.3.9 Caixa de Entrada e Formação da Folha de Papel.....	37
2.4.3.10 Prensagem	40
2.4.3.11 Condicionamento das Vestimentas das Seções de Formação e de Prensagem	41
2.4.3.12 Secagem	44
2.4.3.13 Acabamento	45
2.4.3.14 Sistema de refugo	45
2.4.3.15 Lubrificação interna de rolos	46
2.4.3.16 Água de selagem	46
2.5 PERDA DE FIBRA NA ÁGUA BRANCA.....	47
2.5.1 Circulação de Água na Máquina de Papel	48
2.5.2 Perda de Fibra.....	49
2.5.3 Redução dos Efluentes de Água Branca e Recuperação de Água e Fibra	51
2.5.4 Vantagens da recirculação de água e de fibras	54
2.5.5 Problemas relacionados à recuperação e recirculação de água e de fibras ...	56
2.5.6 Propriedades dos papéis.....	57
2.6 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA BRANCA.....	58
2.6.1 Gases Presentes no Processo	58
2.6.2 Microrganismos	59
2.6.3 Compostos Orgânicos	60
2.6.4 Depósitos	60
2.6.5 Corrosão.....	61
2.6.6 Ensaio para Monitoramento da Qualidade da Água Branca.....	63
2.6.7 Composição da Água Branca em Fábricas de Papel	64
2.6.8 Medida do Teor Seco e Caracterização das Suspensões Fibrosas	67
3 MATERIAIS E MÉTODOS	69
3.1 INTRODUÇÃO	69
3.2 MEDIDA DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS DA ÁGUA BRANCA	70
3.2.1 Procedimento para Coleta das Amostras de Água Branca	73

3.3	MEDIDA DA VAZÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA	74
3.4	CÁLCULO DA PERDA DE FIBRA.....	76
3.5	MEDIDAS DE DQO, SÓLIDOS TOTAIS, DUREZA TOTAL E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	78
3.6	MÁQUINA DE PAPEL	78
3.7	INVESTIGAÇÃO DOS PONTOS DE GERAÇÃO DE EFLUENTES DE ÁGUA BRANCA NO SISTEMA DA MÁQUINA DE PAPEL	81
3.7.1	Descrição do Sistema da Máquina de Papel.....	81
3.7.2	Investigação dos Pontos de Geração de Efluentes de Água Branca	83
3.7.3	Propostas para redução dos efluentes de água branca	84
3.7.4	Monitoramento do Efluente de Água branca	84
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	86
4.1	ANÁLISE DOS RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA	86
4.1.1.	Vazão, Concentração e Perda de Fibra	86
4.1.2	DQO, Sólidos Totais, Dureza Total e Condutividade	90
4.2	RESULTADOS DO ESTUDO DA REDUÇÃO DOS EFLUENTES DE ÁGUA BRANCA	91
4.2.1	Descrição do Processo da Máquina de Papel.....	91
4.2.2	Circulação e Consumo de Água no Sistema da Máquina de Papel	96
4.2.3	Balço de Massa no Sistema da Máquina de Papel	97
4.2.4	Medidas para a Redução do Efluente de Água Branca.....	102
4.3	RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA DECORRENTES DAS ALTERAÇÕES OPERACIONAIS E MODIFICAÇÕES PROCESSUAIS	105
4.3.1	Análise Estatística	107
4.3.2	Resultados de Vazão e Perda de Fibra do Efluente de Água Branca	110
4.3.3	Resultados da Caracterização do Efluente de Água Branca em Relação a Potenciais de Formação de Depósitos, de Incrustação e de Corrosão.....	115
4.3.4	Inspeções Visuais	126
5	CONCLUSÕES	127
6	RECOMENDAÇÕES.....	129
	REFERENCIAS.....	130
	GLOSSÁRIO	136

1 INTRODUÇÃO

A fabricação de papel consome grande quantidade de recursos retirados da natureza, sendo que as duas principais matérias-primas são fibras vegetais e água.

Cada tonelada de matéria-prima vegetal submetida a processos químicos produz aproximadamente 50% de polpa celulósica, enquanto que o restante transforma-se em combustível para a geração de vapor. A fabricação de polpa celulósica por meio de processos de alto rendimento apresenta aproveitamento superior em relação aos processos químicos, com aproveitamento de 90% da matéria-prima vegetal.

No Brasil, a maior parte das fibras vegetais procede de florestas plantadas, contribuindo largamente para aumentar os créditos de carbono do país. O papel depois de cumprir sua função no uso e consumo final é reciclado voltando ao processo produtivo.

A fabricação de polpa celulósica e de papel se caracteriza por ser uma das atividades industriais mais hidro intensivas. A água é usada em todo o processo nas diversas operações de obtenção da polpa e do papel, ficando incorporada ao produto final (ALEXANDERSSON, 2003). Desta maneira, os complexos de fabricação de polpa são projetados para se estabelecer próximos a grandes fontes de água, notadamente superficiais, os rios.

A evolução da sociedade tem se traduzido por meio da conscientização sobre aspectos ambientais, demandando modelo de desenvolvimento (ZINI *et al*, 1998). De acordo com Koepenick (1998), o aumento da população com maior intensidade da industrialização e maior competição pela água a torna escassa em muitas regiões e coloca em risco os atuais padrões de qualidade de vida.

A Lei 9433/1997 da Política Nacional de Recursos Hídricos demanda que o consumo de água seja feito de forma racional assegurando sua disponibilidade. Os limites de contaminantes dos efluentes para disposição em fontes superficiais tornam-se mais estreitos. Como resultado, as empresas buscam alternativas para se

adaptarem à nova realidade, melhorando a eficiência das estações de tratamento de efluentes e investindo em modificações no processo (PANCHAPAKESAN, 2001).

A preocupação com o tratamento de efluentes se fortificou a partir da promulgação das leis ambientais especialmente com a Resolução Federal do Conselho Nacional do Meio Ambiente 20/86.

A partir da possibilidade de existirem punições legais pela má qualidade dos efluentes todos os setores produtivos têm a preocupação de se adequarem ao que é determinado pelos órgãos de controle ambiental (ROMERO, 1995).

O foco da indústria de fabricação do papel mudou no decorrer dos anos desde apenas atender os limites restritos da descarga de poluentes para reduzir significativamente as cargas dos efluentes bem abaixo dos limites atingindo vantagens econômicas (PANCHAPAKESAN, 2001; ARANTES *et al*, 2000). A redução do impacto ambiental está entre as metas do setor de celulose e papel (LJOKKOI, 1999).

Os efluentes dos processos de fabricação de celulose e papel se constituem principalmente de água e fibras, o que constitui a água branca. A redução das perdas de água branca e o tratamento de suspensões fibrosas se configuram em caminho tanto econômico como ambientalmente viável para que as fábricas atinjam seus objetivos e metas. Fibras recuperadas tornam mais eficiente o uso da matéria-prima vegetal em toda a cadeia produtiva de fabricação de papel.

1.1 OBJETIVO GERAL

Estudar as oportunidades de redução dos efluentes aquosos de uma máquina de papel.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar a base de dados sobre o reuso e a redução dos efluentes aquosos de máquinas de papel
- Realizar a caracterização das propriedades físico-químicas e das variáveis operacionais da corrente do efluente aquoso de uma máquina de papel
- Estudar as oportunidades de reuso e redução do efluente aquoso de uma máquina de papel com o objetivo de reduzir o consumo de água e a perda de fibra da máquina de papel
- Monitorar as alterações das características do efluente aquoso decorrentes da implantação das ações para redução do consumo de água e da perda de fibra

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 O PAPEL E SUA IMPORTANCIA ECONOMICA

O papel encontra-se incorporado ao estilo de vida moderno, configurando-se em solução econômica para muitas das atividades humanas. O papel é empregado para limpeza, como embalagem, para imprimir e escrever, na confecção de móveis, para exposição de produtos e para a arte e decoração.

Como resultado das suas inúmeras aplicações, o papel assume significativo valor econômico, configurando-se em importante item de exportação. A exportação brasileira de papel totalizou 1.7 bilhão de dólares no período de janeiro a outubro de 2011. A participação do setor de celulose e papel na balança comercial brasileira foi de 3,39% em 2010 e de 2,84% no período de janeiro a outubro de 2011 (BRACELPA).

A evolução da produção brasileira de papel partiu de 7,2 milhões toneladas em 2000 para chegar a um acumulado de 8,2 milhões de toneladas no período de janeiro a outubro de 2011, com a estimativa de atingir 9 milhões de toneladas no final de 2011, indicando aumento médio anual de 3,6% (BRACELPA).

Investimentos e melhorias contínuas dão condições para sustentar a expansão do setor, ao mesmo tempo reduzindo o impacto ambiental por meio do uso de tecnologias mais limpas.

2.2 ESQUEMA GERAL DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PAPEL

A fabricação do papel é composta das etapas de preparo de madeira, fabricação de celulose, sistema da máquina de papel, acabamento do papel e uso final. Na FIGURA 1 é indicado o esquema da fabricação de papel.

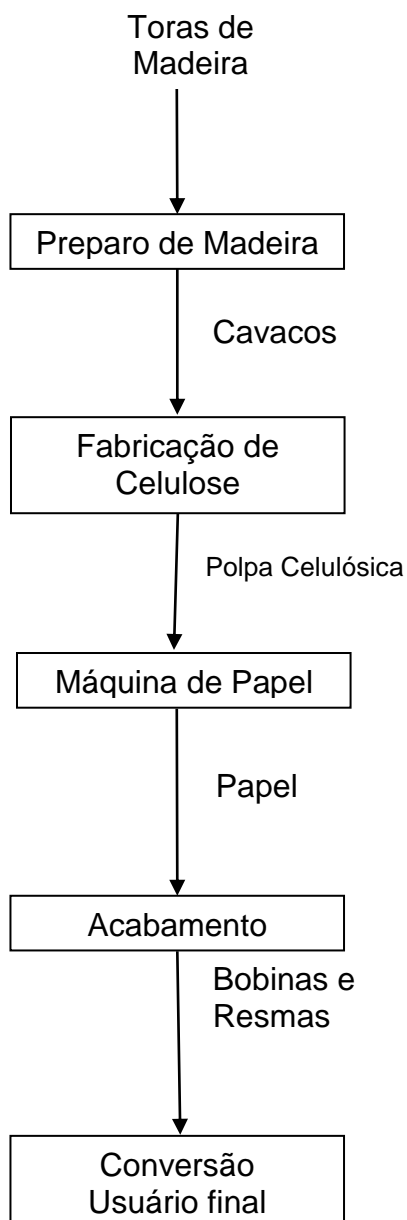


FIGURA 1.1 – CAVACOS DE MADEIRA
FONTE: ITAJAI (2010)

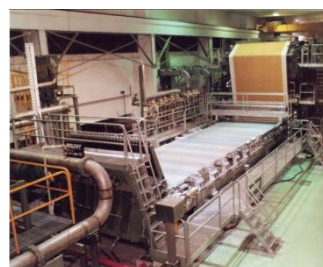


FIGURA 1.2 – MÁQUINA DE PAPEL
FONTE: GLV (2010)



FIGURA 1.3 – BOBINAS DE PAPEL
FONTE: MATERIALESABEL (2011)

FIGURA 1 - ESQUEMA GERAL DAS ETAPAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL

FONTE: O autor (2011)

Na FIGURA 1 encontram-se ilustradas as transformações pelas quais passa a madeira, quais sejam pilha e esteira de cavacos, a suspensão de polpa celulósica sobre a tela formadora da máquina de papel e as bobinas de papel transportadas para a embalagem.

2.3 EMISSÕES NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PAPEL

Os efluentes líquidos, as emissões sólidas e as emissões atmosféricas são gerados ao longo de toda a linha de produção do papel (QUADRO 1). O tratamento, recirculação e destino finais dados a esses efluentes e emissões determinam e extensão do impacto ambiental da fabricação do papel.

O uso da água no processo de fabricação do papel resulta em efluentes hídricos, pois a mesma dissolve componentes da madeira e da polpa celulósica. A água, por ser empregada como veículo de transporte nas operações de fabricação de celulose e papel, gera efluentes líquidos que contêm fibras.

Processo	Efluentes líquidos	Emissões Sólidas	Emissões atmosféricas
Preparo de madeira	Água contaminada com areia, partículas e extrativos da madeira	Biomassa – casca, cavacos subdimensionados	Partículas de madeira Extrativos voláteis
Polpação química	Efluentes da depuração e lavagem da polpa – sólidos suspensos, material orgânico dissolvido, terebintina, compostos ligno-sulfonatos	Emissões da depuração contendo sólidos	Gases do cozimento – compostos de enxofre bivalente
Branqueamento	Filtrados – lignina, carboidratos, extrativos, finos de fibra	Emissões da depuração contendo sólidos	Gases de cloro
Recuperação química	Condensados alcalinos	Sólidos do licor preto	Particulados, gases de enxofre
Secagem da Celulose	Corrente líquidas de água branca – transbordos, drenos	Emissões da depuração contendo sólidos	Vapor
Máquina de Papel	Correntes líquidas de água branca – transbordos, drenos	Emissões da depuração contendo sólidos	Vapor, pó do corte do papel na rebobinadeira
Acabamento	Água de refrigeração	Aparas de papel	Pó do corte do papel na rebobinadeira

QUADRO 1 – EFLUENTES LIQUIDOS, EMISSÕES SÓLIDAS E EMISSÕES ATMOSFERICAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PAPEL

FONTE: O autor (2011)

No QUADRO 1 são indicados os efluentes líquidos, as emissões sólidas e gasosas geradas nas etapas de fabricação do papel. O processamento da madeira

por meio de equipamentos mecânicos leva à geração de resíduos sólidos, emissões líquidas e gasosas.

2.4 CONSUMO DE ÁGUA E REUSO DO EFLUENTE AQUOSO NA FABRICAÇÃO DO PAPEL

A água é o insumo mais usado na fabricação do papel, serve de veículo para o transporte das fibras celulósicas e também é empregada para diluições, ficando incorporada ao produto final numa proporção de 5 a 10%, em massa (ALEXANDERSSON, 2003; PENG, 2001).

O consumo médio de água de uma planta integrada de fabricação de celulose e papel depende do projeto, dos fatores operacionais, dos processos de polpação, do tipo e da gramatura do produto (NCASI).

A água no processo de fabricação de celulose e papel também é usada para a lavagem e a dispersão das fibras, na geração de vapor, que é usado como fonte de calor para aquecimento e para geração de energia elétrica (ARANTES *et al*, 2000). Para suprir essas demandas, as fábricas de celulose e papel se instalam perto de corpos hídricos, geralmente rios de grande vazão.

A água que circula através dos processos de fabricação de celulose e papel está intimamente ligada à questão de perda de fibras, pois a maior parte da suspensão é água. Os valores médios de consumo de água em planta de fabricação de celulose nos Estados Unidos ficam na faixa de 60 a 64,4 m³ de água/t de celulose. Fábricas de papel consomem de 11,3 a 37,8 m³ de água/t de papel, correspondendo de 20 a 35% do consumo total de água de uma planta integrada (NCASI). Durante a produção de papéis existe o consumo de água por tonelada de papel é de cerca de 12000 litros (SANTAMARIA).

Nos Estados Unidos, uma fábrica de papel com máquinas de diversas configurações – forma redonda, mesa plana e mista - e fabricando 22 tipos

diferentes de papel aponta consumo de 20,8 m³ de água/t de papel (ARANTES et al, 2000).

Atualmente, existe uma tendência mundial de reduzir o consumo específico de água por tonelada de papel e cartão produzida (HAMM *et al*, 2007). Uma das metas ambientais da indústria de celulose e papel é o uso racional de água com conseqüente redução do consumo (LANDIM *et al*, 2001).

O indicador Consumo Específico de Água (CEA) representa a eficiência da utilização de água nos processos de fabricação de celulose e papel (BACHMANN, 2009). O cálculo inclui toda água fresca alimentada aos processos, incluindo a área de utilidades (EQUAÇÃO 1).

$$CEA = V_{H_2O} \cdot P^{-1} \quad (1)$$

sendo

V_{H_2O} é quantidade de água fresca consumida no processo (m³)

P é quantidade de papel ou de celulose s.a¹. produzida (t)

Na TABELA 1 encontra-se um levantamento feito em 28 fábricas de papel brasileiras considerando diferentes tipos de papéis com os correspondentes consumos específicos de água (CEA).

TABELA 1 – CONSUMO ESPECÍFICO DE ÁGUA EM FÁBRICAS DE PAPEL NO BRASIL EM 2009

Tipo de Papel (número de fabricas)	CEA, m ³ .t ⁻¹
<i>Tissue</i>	15,7 – 23,5
Escrever	6,7 – 22,8
Imprimir	12,4 – 61,1
Cartão	18,6 – 42,3
Embalagem	3,4 – 91,3
Outros	36,1 – 90

FONTE: BACHMANN (2009)

¹ Celulose s.a. – celulose seca ao ar comercializada com 10% (em massa) de umidade

A análise dos dados da TABELA 1 indica que há oportunidade para melhorias. Verifica-se que existe significativa variação do CEA em função do tipo de papel fabricado, de 3,4 a 91,3 m³ de água/t de papel. Apenas 28% das fábricas apresentaram consumo menor que 15 m³ de água/t de papel, sendo que esse valor é considerado o limite superior para a maior parte dos produtos (BACHMANN, 2009).

2.4.1 Tipos de Água do Processo de Fabricação do Papel

A água utilizada nas fábricas de papel recebe diferentes denominações, dependendo da função que realiza e do local onde é utilizada. As principais denominações são:

- “Água fresca”: - é a água enviada da estação de tratamento de água ou é água recirculada do processo que não entra em contato com as fibras;

- “Água morna”: - a “água fresca” quente apresenta as mesmas características da água fresca com temperatura de pelo menos 30°C;

- “Água branca”: - a “água branca” provém da seção de formação da máquina de papel e contém fibras e aditivos; a concentração de sólidos da água branca é normalmente de até 5000 ppm;

- “Água clarificada” – a “água clarificada” resulta do tratamento da água branca para redução do conteúdo de sólidos suspensos (GESS *apud* STEVENS, 1998). Normalmente, a “água clarificada” é usada, por exemplo: a) no ajuste da concentração de sólidos das suspensões fibrosas em circulação através do sistema da máquina de papel; b) na dispersão de fardos de celulose e de aparas na etapa de desagregação; c) nos chuveiros dos *pulpers* da máquina de papel.

2.4.2 Água Branca em Circulação pelo Sistema da Máquina de Papel

A composição da “água branca” depende da matéria-prima, do papel fabricado e do tipo da máquina (NCASI). Em geral, a água branca contém partículas orgânicas e inorgânicas dissolvidas.

A composição da “água branca” varia ao longo do processo. Os fatores que influem na composição da água branca são o tipo da máquina; tipo da matéria-prima que pode ser fibrosa e não fibrosa; dimensão das aberturas da tela formadora e intensidade do vácuo aplicado na máquina de papel (SPRINGER, 2000).

A “água branca” contém elevada concentração de fibras, carga mineral e finos de fibras (SILVA, 2000). A composição da água branca reflete-se na qualidade do papel, sendo fundamental que as suas características se mantenham estáveis (ALEXANDERSSON, 2003).

Os efluentes da máquina de papel podem ser avaliados por meio das seguintes características: turbidez; sólidos suspensos totais; DBO; DQO; cor aparente; temperatura; fibras; cargas minerais e resíduos como, por exemplo: cola, agentes branqueadores, amidos, graxa, óleo. Os produtos que se encontram dissolvidos ou suspensos na água branca são: sólidos sedimentáveis; sólidos flotáveis² e matéria biodegradável.

2.4.3 Sistema da Máquina de Papel

O processo de fabricação de papel inclui as seguintes etapas: preparo de massa; máquina de papel e acabamento (FIGURA 2). Na primeira etapa é feita a composição da receita, ajustando as características da suspensão fibrosa para atender as especificações do papel a ser produzido. Na máquina de papel o desaguamento da suspensão ocorre nas etapas de formação, prensagem e secagem. As operações de acabamento têm por finalidade formatar o papel em suas

² Sólidos flotáveis - sólidos que auxiliados por ar flutuam na superfície

dimensões assim como as características superficiais finais ao papel atendendo ao pedido do cliente.

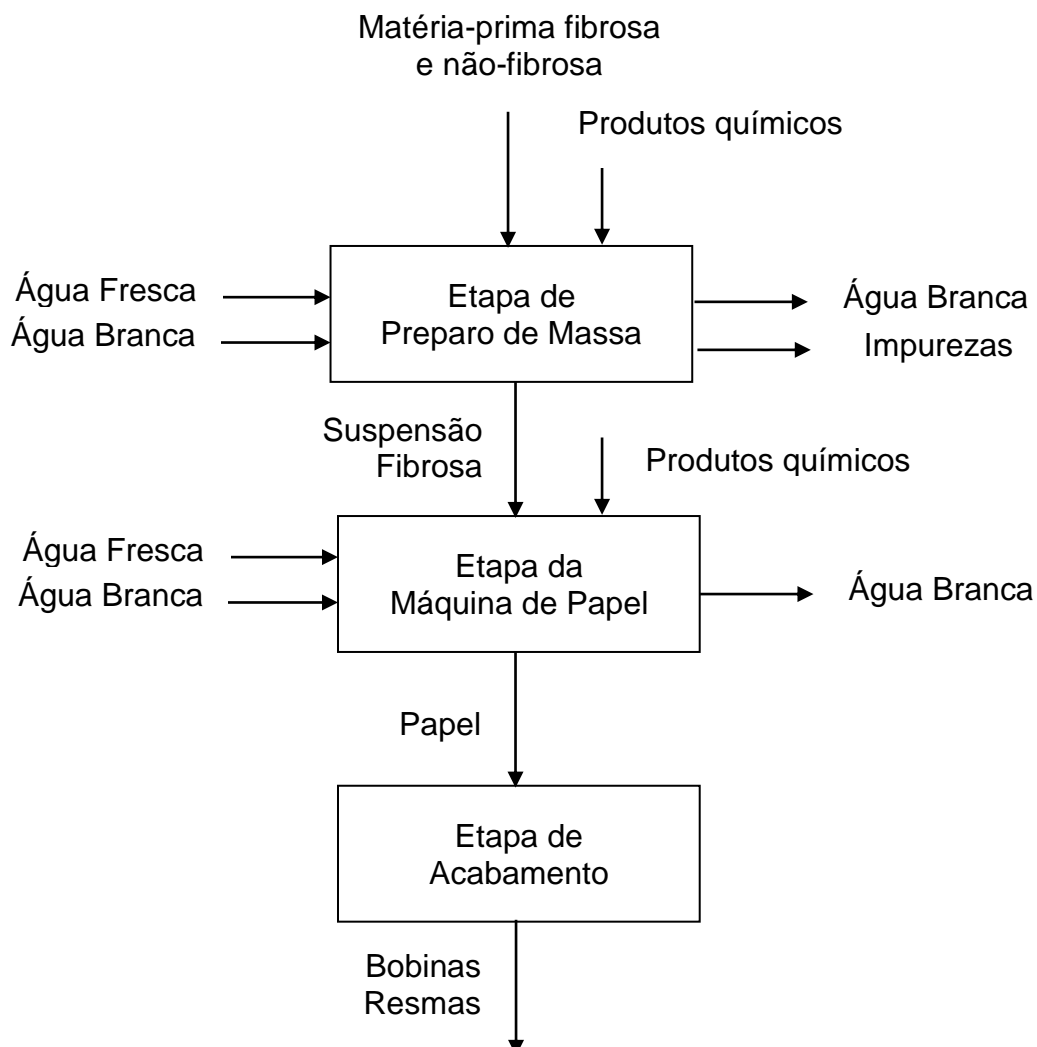


FIGURA 2 - ESQUEMA DO SISTEMA DA MÁQUINA DE PAPEL COM AS CORRENTES LÍQUIDAS DE ÁGUA.

FONTE: O autor (2009)

Na FIGURA 2 se encontra ilustrado o diagrama de blocos simplificado do sistema da máquina de papel, contendo apenas as correntes líquidas relacionadas à produção e às correntes de água fresca e água branca.

No sistema da máquina de papel circulam suspensões fibrosas com concentração de fibras no máximo de 6% (em massa). Após sucessivas diluições, por exigência do processo, a suspensão chega à máquina de papel com concentração, na maior parte dos processos, menor que 1% (em massa). O desafio da máquina de papel é aproveitar quase que a totalidade das fibras, manipulando ao mesmo tempo grandes volumes de água.

2.4.3.1 Matérias-primas

Em geral, nas máquinas de papel, as suspensões aquosas contêm no máximo 6% (em massa) de fibras. As matérias-primas fibrosas utilizadas no sistema de fabricação do papel podem ser:

a) suspensões fibrosas com concentração na faixa de 16 a 30% (em massa) são armazenadas em torres de alta concentração em plantas integradas. Visando a transferência da suspensão fibrosa para os tanques de recepção da máquina de papel, através de bombeamento, é necessário diluí-la com água branca recirculada à saída da torre, reduzindo a concentração para, no máximo, 6% (em massa) (ALEXANDERSSON, 2003)

b) fardos de celulose que apresentam concentração de 10% a 60% (em massa) de água;

c) aparas com a mesma concentração do papel contêm, normalmente, não mais que 8% de água.

2.4.3.2 Preparo de massa

O preparo de massa do sistema da máquina de papel inicia com a obtenção da suspensão fibrosa com diluição adequada para a sequência do processo. Na FIGURA 3 encontra-se o diagrama de blocos do preparo de massa.

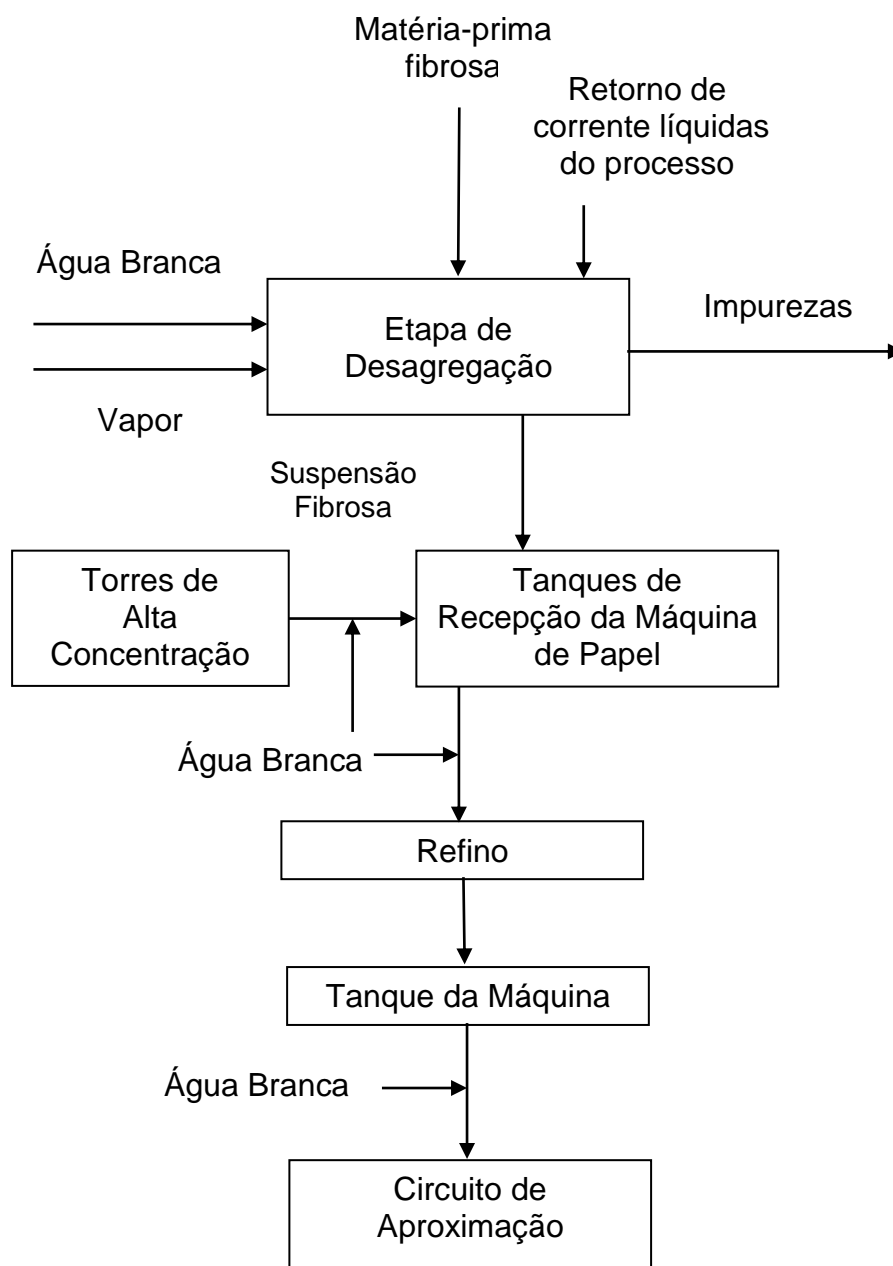


FIGURA 3 - DIAGRAMA DE BLOCOS COM AS PRINCIPAIS ETAPAS DO PREPARO DE MASSA DA MÁQUINA DE PAPEL

FONTE: O autor (2009)

Em plantas não integradas (FIGURA 3) a suspensão fibrosa é preparada em desagregadores; em plantas integradas, a suspensão fibrosa oriunda da planta de fabricação de celulose é diluída à saída das torres de alta concentração que suprem os tanques de recepção da máquina de papel (ALEXANDERSSON, 2003).

A suspensão fibrosa passa pelas etapas de refino e depuração antes de chegar à caixa de entrada da máquina de papel. Produtos químicos e matérias-primas não fibrosas são adicionados no preparo de massa com a finalidade de garantir a estabilidade da produção e obtenção de características específicas do papel.

A suspensão é bombeada a partir dos tanques de recepção, através de refinadores. A massa refinada é estocada no conjunto de tanques de mistura e da máquina que serve de reservatório para a máquina de papel (PAULAPURO, 2000).

2.4.3.3 Desagregação

A desagregação de matérias-primas fibrosas é a primeira etapa do sistema da máquina de papel de uma fábrica não integrada (PAULAPURO, 2000). Para que ocorra a desagregação, energia hidráulica é transmitida por um rotor localizado no fundo do tanque, na maior parte dos desagregadores empregados nas fábricas de papel (CELULOSEONLINE). A ação mecânica do rotor dispersa fibras secas, produzindo uma suspensão fibrosa (SMOOK, 2002).

Normalmente, a dispersão em desagregadores emprega água branca proveniente do excesso da máquina de papel. O uso de água fresca é uma alternativa para substituir a água branca, traduzindo-se em aumento do impacto ambiental.

A quantidade de água define a concentração da suspensão fibrosa (SMOOK, 1990). O desagregador, em muitas plantas, recebe o retorno de outras correntes líquidas do processo com a finalidade de recircular a água branca excedente dos processos produtivos.

A matéria-prima fibrosa para a fabricação do papel tem diversas origens, tais como: fardos de celulose comprada, de aparas e demais matérias-primas (SMOOK, 2002; ALEXANDERSSON, 2003).

As aparas originadas no próprio sistema da máquina de papel que resultam de rolos e bobinas fora de especificação e as sobras, também são reaproveitadas através da desagregação. As matérias-primas de elevada resistência à desagregação (resistência a úmido) necessitam de água aquecida ou vapor para reduzir o tempo de processamento.

Há processos de desagregação a baixa, média e alta concentração, os primeiros operam no máximo até 6% (em massa), os de média concentração operam acima de 10% e os processos a alta concentração, que empregam os desagregadores de tambor, operam à concentração de 25%. A descarga da suspensão fibrosa é mais fácil à baixa concentração, enquanto que a alta concentração é necessário diluir a suspensão com água branca.

A desagregação de aparas não classificadas exige o emprego de equipamentos complementares tais como: os areeiros (hidrociclones de alta densidade) e o turbo-separador. Água branca excedente dos processos produtivos é usada para diluir as suspensões depuradas em areeiros e turbo-separador.

A suspensão fibrosa desagregada na concentração adequada, com um mínimo de pastilhas³ e com características adequadas para bombeamento segue para os tanques de recepção da máquina de papel.

O balanço envolvendo o reuso de água branca na desagregação é dado pela EQUAÇÃO 2 que relaciona os sólidos presentes em cada uma das corrente líquidas. Os sólidos na suspensão desagregada resultam da soma dos sólidos da matéria-prima mais os sólidos presentes na água branca (EQUAÇÃO 2).

$$C_s \cdot m_s = C_c \cdot m_c + C_a \cdot m_a \quad (2)$$

sendo

C_s = concentração de sólidos da suspensão à saída do desagregador (% em massa)

³ Pastilhas – fragmentos de papel não desagregados

m_s = massa da suspensão (t)

C_c = concentração de sólidos dos fardos de celulose (% em massa)

m_c = massa dos fardos (t)

C_a = concentração de sólidos na água branca (% em massa)

m_a = massa de água branca (t)

Por exemplo, para cada tonelada de fardos de celulose com concentração de 90% (em massa), são necessárias 17,24 toneladas de água branca à concentração de 0,07% (em massa), obtendo-se 18,24 toneladas de suspensão fibrosa com uma concentração de 5% (em massa).

2.4.3.4 Tanques de recepção da máquina de papel

As fibras para fabricação do papel são armazenadas em tanques de recepção, os quais além de suprirem a máquina de papel com diferentes tipos de fibras servem como reservatórios para o processo subsequente (PAULAPURO, 2000).

Nas fábricas não integradas, as suspensões fibrosas provenientes dos desagregadores ou da central de aparas são enviadas para os tanques de recepção. A concentração da suspensão na saída dos desagregadores é no máximo de 6% (em massa).

À saída dos tanques de recepção, água branca é utilizada para ajustar a concentração da suspensão para atender as exigências dos equipamentos e do processo, principalmente a faixa de concentração operacional dos refinadores.

Para determinar a quantidade de água branca necessária para estabelecer a concentração desejada da suspensão se utiliza a EQUAÇÃO 3.

$$C_s \cdot q_s = C_t \cdot q_t + C_a \cdot q_a \quad (3)$$

sendo:

C_s = concentração de sólidos da suspensão diluída (% em massa)

q_s = vazão mássica da suspensão diluída (t/d)

C_t = concentração de sólidos da suspensão no tanque (% em massa)

q_t = vazão mássica da suspensão fluindo do tanque (t/d)

C_a = concentração de sólidos da água branca de diluição (% em massa)

q_a = vazão mássica de água branca (t/d)

Para cada tonelada de suspensão fibrosa com concentração de 5% (em massa) é necessário 0,682 tonelada de água branca com concentração de 0,07% (em massa), resultando-se 1,682 toneladas de suspensão fibrosa com concentração de 3% (em massa).

Os controles de nível, de concentração e os reguladores (proporcionadores) de vazão permitem que os tanques forneçam uma suspensão com composição desejada de fibras para o papel fabricado.

2.4.3.5 Refino

O refino das matérias-primas fibrosas é realizado por meio de um processo de tratamento mecânico (SMOOK, 1990), influenciando em todas as propriedades e características do papel.

O refino altera as propriedades da celulose, acarretando alterações na floculação das fibras e na formação do papel (STOERE *et al*, 2001). Como resultado

da refinação, obtém-se a composição fracionária adequada atendendo as especificações do papel fabricado (SMOOK, 2002).

Na etapa de refino, as fibras passam entre os discos dos refinadores sendo atingidas pelas barras, mais corriqueiramente chamadas de “facas” (SMOOK, 2002). As fibras antes de refinadas apresentam aspecto de fita e depois ficam intumescidas pela penetração da água em seu interior. Essa etapa do processo permite obter fibras maleáveis, com maior volume e área superficial, se tornando adequadas para a fabricação do papel.

O processo a baixa concentração – 4,5% (em massa) – é o mais usado para o refino de polpas químicas, podendo ser justificado pela simplicidade do transporte da polpa, pela boa qualidade e baixos custos de investimento (REIS, 2003)

A operação de refinação, em termos de processo, não consome grandes quantidades de água fresca ou branca. A selagem e a refrigeração do refinador, normalmente, empregam água fresca.

Existe a possibilidade do uso de água branca para selagem e refrigeração desde que essa água não apresente potenciais de formação de depósitos, de incrustação e de corrosão.

A suspensão fibrosa é bombeada a partir dos tanques de recepção da máquina de papel através dos refinadores. A polpa refinada segue para o complexo de tanques de mistura e da máquina. Esses tanques suprem o circuito de aproximação e mantêm a produção da máquina de papel.

No tanque da máquina, que é o último tanque antes da caixa de entrada, a suspensão encontra-se a uma concentração de 4,5%. À saída do tanque, faz-se a diluição da suspensão com água branca recirculada.

A redução da concentração da suspensão é feita por necessidade do processo, pois na sequência há etapas de depuração e dosagem de produtos químicos.

2.4.3.6 Circuito de Aproximação

A maior parte da água do sistema da máquina de papel circula através do circuito de aproximação. A água branca drenada da seção de formação corresponde a 98% (em massa) do total de água removida na máquina de papel e é reintroduzida no processo através do circuito de aproximação.

A localização do circuito de aproximação, imediatamente antes da máquina de papel exige que suas operações e seus processos tenham estabilidade. O circuito de aproximação é responsável por entregar uma suspensão homogênea, limpa e estável, garantindo o bom desempenho da máquina de papel quanto ao andamento e produção.

O circuito de aproximação deve atender a todas as demandas de bombeamento, desaeração e depuração da polpa. A suspensão fibrosa deve ser fornecida na concentração de sólidos e pressão estáveis para a caixa de entrada, sendo que essa condição contribui para a drenagem e formação satisfatórias da folha de papel na seção de formação. As demandas e estabilidades sendo satisfeitas mantêm a máquina de papel com produção e boa qualidade do papel.

Variações e oscilações no circuito de aproximação são comunicadas à máquina de papel, comprometendo a obtenção de um papel bem formado e aumentando o número de quebras.

Na FIGURA 4 encontra-se ilustrado o diagrama de blocos de um circuito de aproximação típico com as principais correntes líquidas do dessa parte do processo de fabricação do papel.

De acordo com o que se pode observar na FIGURA 4, as principais operações do circuito de aproximação são: diluição da suspensão para a caixa de entrada, remoção de contaminantes – sólidos e ar, condicionamento com produtos químicos e aditivos e suprimento de água para o controle de perfil transversal (PAULAPURO, 2000).

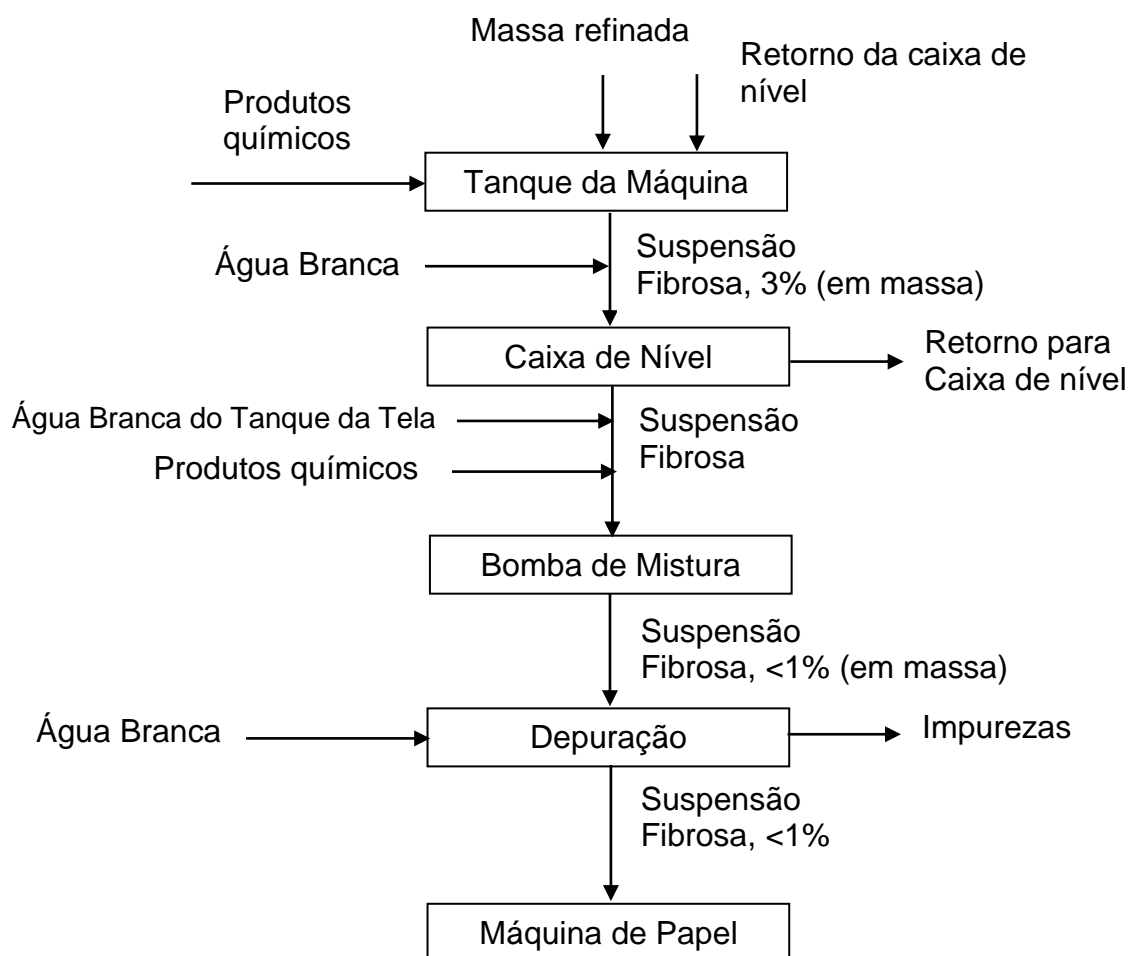


FIGURA 4 – DIAGRAMA DE BLOCOS DO CIRCUITO DE APROXIMAÇÃO COM AS CORRENTES LÍQUIDAS DO TANQUE DA MÁQUINA À MÁQUINA DE PAPEL

FONTE: O autor (2010)

Dentro do circuito de aproximação a depuração se constitui por cestas-peneiras (peneiras verticais pressurizadas) e hidrociclones, sendo chamada de depuração de cabeça de máquina, e é a última operação por meio de equipamentos que modifica a suspensão fibrosa antes da máquina de papel. Ljokkoi (1999) enfatiza a importância da depuração localizada antes da caixa de entrada porque remove sujeira da polpa e do tanque da tela.

A diluição da suspensão no circuito de aproximação é feita com água branca, obtendo-se uma concentração de sólidos inferior a 1% (em massa), o que

facilita a depuração por meio de hidrociclones e peneiras verticais pressurizadas (cestas-peneiras).

Os hidrociclones consomem água branca para a diluição do rejeito em cada um dos estágios da operação. Água branca é usada na extremidade inferior dos hidrociclones na operação de elutriação para diluir o corrente líquida de rejeitos visando a recuperação das fibras arrastadas com o rejeito.

Na sequência do processo, a corrente de aceite do primeiro estágio dos hidrociclones segue para as cestas-peneiras, que separam as impurezas em função da diferença de tamanho e formato entre fibras e rejeitos. Água branca é usada nas cestas-peneiras para diluir a corrente de rejeitos com o objetivo de melhorar a eficiência, recuperando as fibras arrastadas.

2.4.3.7 Uso de Água e Reuso de Água Branca no Circuito de Aproximação

O circuito de aproximação é a parte do sistema de fabricação do papel imediatamente antes da máquina de papel, onde ocorre grande circulação de água. O reuso da água branca no circuito de aproximação ocorre para fins de diluição.

Grande parte da água branca drenada na seção de formação é recirculada através do circuito primário sendo usada para diluição da suspensão fibrosa na sucção da bomba de mistura. A suspensão fibrosa após a diluição fica com uma concentração inferior a 1% (em massa), apresentando condições adequadas para a etapa de depuração.

Diferentes sistemas de depuração são usados para se obter uma suspensão homogênea e livre de contaminantes e impurezas de maneira a atender as especificações do papel fabricado. Todos os sistemas de depuração empregam água para diluição dos rejeitos.

Aditivos e produtos químicos são empregados em grande extensão na fabricação de papel com objetivos bastante específicos. Para citar alguns exemplos, colas são usadas para impermeabilizar o papel, carbonato de cálcio é aplicado para

se obter alvura, polímeros cumprem a função de auxiliar a retenção e a drenagem e o sulfato de alumínio pode ser aplicado como coagulante em programas de retenção ou como mordente em sistemas de colagem.

Água fresca é usada no preparo de produtos químicos (ARANTES *et al*, 2000). A preparação dos aditivos e suas respectivas adições por meio de bombas demanda o uso de água fresca, pois não se pode contaminar o produto com o emprego de água branca, o que resultaria na alteração das suas características e da atividade.

2.4.3.8 Máquina de Papel

As máquinas de papel (FIGURA 5) apresentam tamanhos e larguras variados, algumas com velocidades superiores a mil metros por minuto (FARDIM, 2002b). A tendência na construção de novas máquinas é atender demandas específicas quanto à qualidade dos papéis (NISKANEN,1998). As máquinas existentes são reprojatadas para aumento de velocidade e melhor qualidade do produto (AMHOLD, 1998).

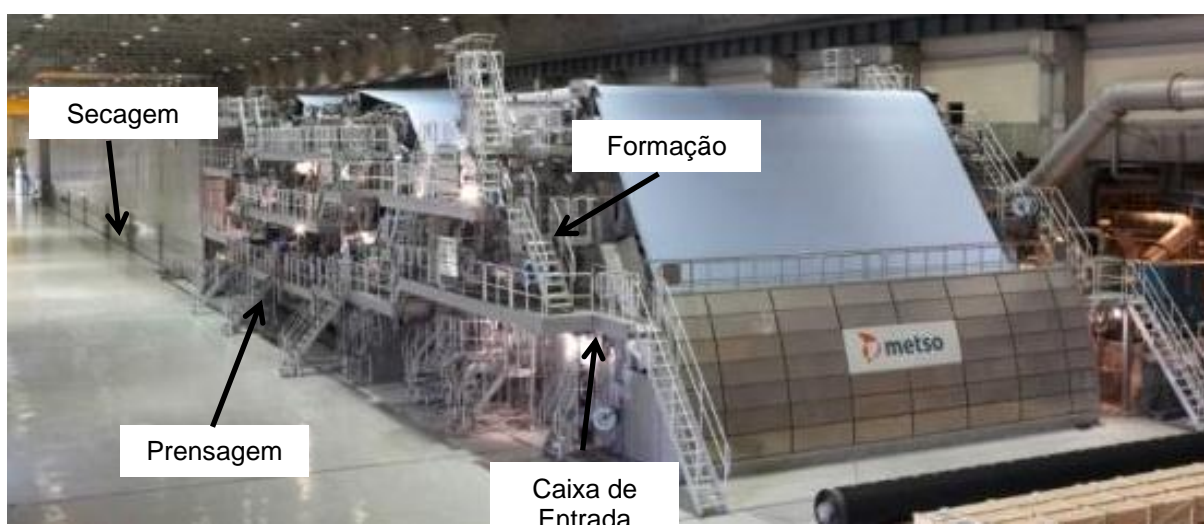


FIGURA 5 – SEÇÕES DA MÁQUINA DE PAPEL: FORMAÇÃO; PRENSAGEM E SECAGEM

FONTE: WEG (2011)

Na FIGURA 5 encontram-se identificadas as principais seções da máquina de papel, quais sejam: caixa de entrada; seção de formação; seção das prensas e seção de secagem multicilindros.

A máquina de papel recebe a suspensão fibrosa do circuito de aproximação com concentração de sólidos inferior a 1% (em massa).

A tarefa da máquina de papel é remover quantidade suficiente de água para que o papel na enroladeira apresente concentração superior a 90% (em massa).

A quantidade de água branca drenada na seção de formação equivale a mais de 98% do total de água removida na máquina de papel.

A água branca drenada é enviada ao circuito de aproximação, sendo usada para diluição. As seções de prensagem e secagem removem juntas em média menos que 2% do total de água removido pela máquina.

2.4.3.9 Caixa de Entrada e Formação da Folha de Papel

A formação da folha de papel acontece na caixa de entrada e seção de formação. Os tipos de seção formadora são mesa plana dotada de uma única tela (FIGURA 6) e formadores de dupla tela.

Os vários tipos de seção de formação fornecem diferentes níveis de retenção e de concentração da água branca em virtude dos equipamentos desaguadores empregados e da intensidade do vácuo.

A concentração da suspensão é menor do que 1% (em massa) na caixa de entrada. O desaguamento na seção de formação é feito mediante pressão hidráulica e vácuo, a folha atinge concentração de 20% (em massa) ao final da seção.

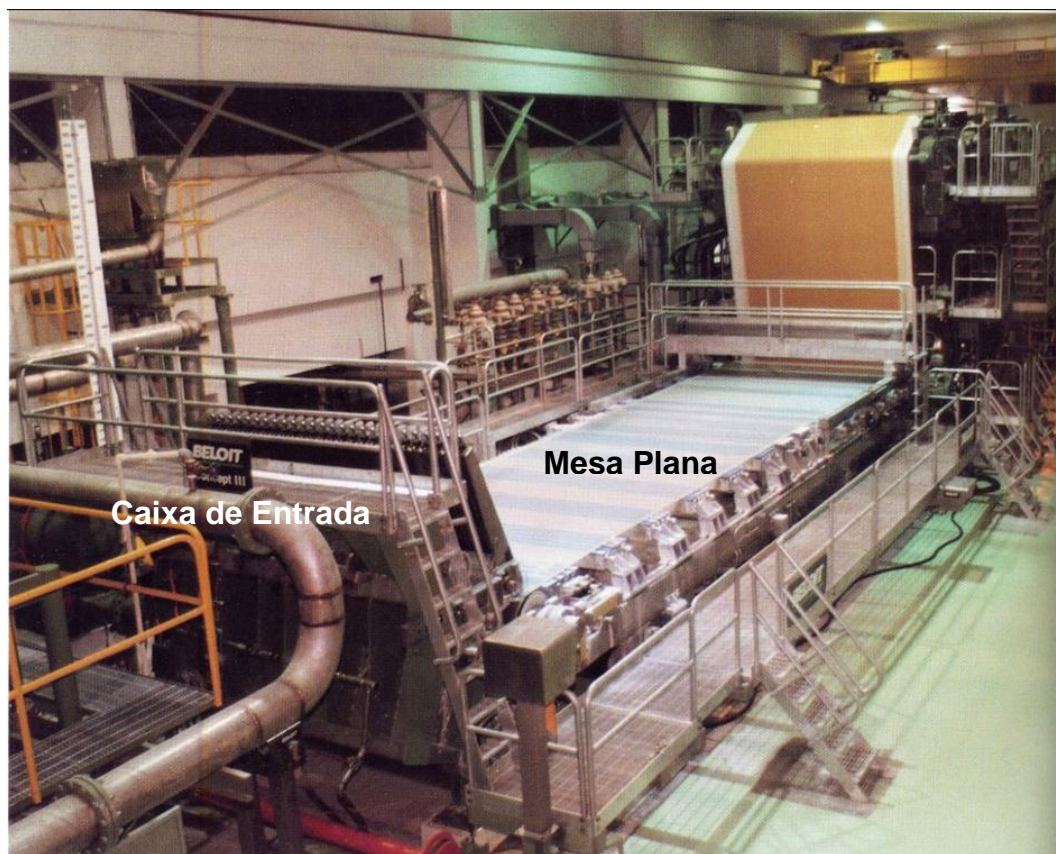


FIGURA 6 - CAIXA DE ENTRADA E SEÇÃO DE FORMAÇÃO TIPO MESA PLANA DA MÁQUINA DE PAPEL

FONTE: GLV (2010)

Na FIGURA 6 observa-se a parte inicial de uma máquina de papel sendo composta de caixa de entrada que recebe a suspensão proveniente do circuito de aproximação e a despeja na forma de jato na mesa plana (seção de formação).

A seção de formação é a maior geradora de correntes líquidas de água branca da máquina de papel. Devido à grande quantidade de água que circula através das seções de formação e prensagem, essa parte da máquina de papel é denominada de parte úmida (FARDIM, 2002a).

A concentração de sólidos da folha de papel ao deixar o rolo *couch*⁴, último elemento desaguador da seção de formação, influencia diretamente a concentração à saída das prensas e a quantidade de água ser evaporada na seção de secagem.

⁴ Rolo couch: rolo de sucção por vácuo

Em média, um ganho de concentração de 1% na seção de formação provoca ganhos na seção de secagem de 3 a 5%.

A água branca circula na parte úmida da máquina de papel através de dois circuitos, primário e secundário. Circulação curta ou circuito primário é a corrente líquida de água que vem e que vai para a caixa de entrada através da tela, tanque da tela e bomba e mistura, sendo que apenas a água branca da primeira parte da extremidade úmida é que faz parte desse circuito.

A corrente líquida que constitui o circuito primário é drenada da primeira parte da seção de formação, apresenta concentração mais elevada e é imediatamente recirculada através da bomba de mistura para voltar rapidamente à caixa de entrada.

A configuração do circuito primário aumenta a probabilidade de que os componentes sólidos que fazem parte da suspensão fibrosa se incorporem à folha de papel em formação, com conseqüentes níveis mais elevados de retenção e água branca de menor concentração. Água branca de concentração mais baixa em circulação pelo sistema da máquina de papel reduz os potenciais de formação de depósitos, de incrustação e de corrosão.

De acordo com NISKANEN (1998), a circulação curta tem passado por profundas alterações decorrentes da adoção da tecnologia multicamadas em larga escala. O aumento da velocidade das máquinas eleva o volume de água em circulação através do circuito primário. Flutuações de pressão e oscilações nas correntes líquidas também são conseqüências do aumento do volume de água em circulação.

A circulação longa ou circuito secundário recolhe a água drenada através das caixas de sucção da seção de formação e da seção das prensas no tanque das caixas de sucção (ALEXANDERSSON, 2003).

A seção de formação remove mais de 98% da água que entra através da caixa de entrada. A quantidade de água removida é calculada por expressão que correlaciona os sólidos presentes nas corrente líquidas. A quantidade de sólidos na

caixa de entrada é equivalente à soma dos sólidos na folha formada com os sólidos presentes na água branca (EQUAÇÃO 4).

$$m_{AB} = m_{CE} (c_F - c_{CE}) / (c_F - c_{AB}) \quad (4)$$

sendo

m_{AB} = vazão mássica de água branca drenada na seção de formação (t/d)

c_{AB} = concentração da água branca (% em massa)

m_{CE} = vazão mássica de suspensão fibrosa da caixa de entrada (t/d)

c_{CE} = concentração da suspensão fibrosa da caixa de entrada (% em massa)

c_F = concentração da folha de papel após o rolo de sucção (% em massa)

2.4.3.10 Prensagem

Os objetivos da prensagem são, primeiramente, a remoção de água da folha de papel e, depois, consolidar a folha por meio de aproximação das fibras (SMOOK, 2002; NISKANEN, 1998).

O teor seco da folha de papel após passar pelos *nips* das prensas apresenta uma faixa de variação de 38 a 59% (em massa), o que depende do projeto da seção e do tipo de papel.

As configurações de prensas formam o *nip*⁵ por meio de dois rolos ou por um rolo e uma sapata (PAULAPURO, 2000). A drenagem é incrementada pelo uso de prensas de sapata, acompanhando progressos no projeto de vestimentas (feltros), mantendo-se a configuração das prensas, mesmo com aumento de velocidade das máquinas (NISKANEN, 1998).

⁵ Nip: área de contato entre dois rolos ou entre um rolo e uma sapata

Água branca é removida da seção das prensas por meio de bombas de vácuo ou recolhida em calhas. A concentração da água branca é mais baixa em relação à da água branca drenada na seção de formação.

A água branca removida na prensagem faz parte do circuito secundário. Não havendo consumo para essa água, há a opção de enviá-la a um sistema de recuperação de fibras.

De maneira direta ou indireta, em função do excesso de água na parte úmida da máquina de papel, parte ou a totalidade das correntes de água branca drenadas na seção das prensas se tornará efluente.

A quantidade de água removida na prensagem é dada pela EQUAÇÃO 5.

$$m_{AB} = m_F (c_P - c_F) / (c_P - c_{AB}) \quad (5)$$

sendo

m_{AB} = vazão mássica de água branca drenada na prensagem (t/d)

c_{AB} = concentração da água branca (% em massa)

m_F = vazão mássica folha de papel na entrada da prensagem (t/d)

c_F = concentração da folha de papel na entrada da prensagem (% em massa)

c_P = concentração da folha de papel após a prensagem (% em massa)

2.4.3.11 Condicionamento das Vestimentas das Seções de Formação e de Prensagem

Chuveiros são instalados nos circuitos de telas formadoras (FIGURAS 7 e 8) e de feltros para condicionamento das vestimentas, para a formatação da folha de papel e para a limpeza das vestimentas (ADANUR, 1997; ARANTES *et al* 2000).

O condicionamento contínuo das vestimentas é feito com chuveiros oscilantes em toda a largura da tela formadora e do feltro (VIZOTTO, 1999).



FIGURA 7 - CHUVEIRO FORMATADOR DA FOLHA (PICHASSO) LOCALIZADO NO FINAL DA SEÇÃO DE FORMAÇÃO

FONTE: O autor (2005)

Na FIGURA 7 encontram-se expostos o chuveiro formatador (pichassos) e o chuveiro para abertura da folha de papel no momento da passagem da ponta. Observa-se o chuveiro formatador (pichasso) instalado no final da seção de formação retirando o *refile*⁶ da beirada da folha de papel, cuja formação é irregular.

Na FIGURA 8 encontra-se ilustração do chuveiro de limpeza da tela formadora instalado no retorno da tela (parte inferior da mesa plana).

⁶ Refiles – cortes da borda da folha de papel feitos por meio de chuveiros e na rebobinadeira



FIGURA 8 - CHUVEIRO DE ALTA PRESSÃO PARA LIMPEZA DA TELA LOCALIZADO NO RETORNO DA TELA FORMADORA

FONTE: O autor (2005)

Na FIGURA 8 podem-se observar os jatos de alta pressão do chuveiro de limpeza usados para a limpeza da tela formadora. Os jatos de alta pressão removem partículas entranhadas na estrutura da tela, tais como: fibras, finos de fibras, resina e cola.

Água branca, água clarificada, água fresca e água morna são os tipos de água empregados em chuveiros da máquina de papel. A definição do tipo de água a ser empregada depende da finalidade do chuveiro.

A água clarificada pode ser usada em chuveiros da máquina de papel e diluições selecionadas, sendo que para essa finalidade deve apresentar concentração final de 30 a 60 ppm (GESS *apud* STEVENS, 1998).

Os chuveiros formatadores empregam água fresca, pois os bicos desses chuveiros são do tipo agulha de 1 mm de diâmetro. O uso de água clarificada ou o reuso de água branca nessas duas aplicações causa entupimento dos bicos.

Na prática, os chuveiros de lubrificação e condicionamento da tela formadora e do feltro empregam água fresca e água morna, o que aumenta o consumo de água e a geração de efluentes na máquina de papel.

Água branca é empregada em chuveiros destacadores e de diluição na eventualidade de quebras da folha. A suspensão resultante da folha de papel desagregada fará parte do sistema de refugo.

2.4.3.12 Secagem

As funções da seção de secagem são evaporação e remoção da água após o processo de desaguamento mecânico da prensagem (MENDES, 2002). O aquecimento dos cilindros é feito pela condensação de vapor internamente aos cilindros. O número de cilindros, dependendo do tipo de papel e velocidade e projeto da máquina, pode variar de 20 a 70.

A média de consumo de vapor na seção de secagem é de mais de duas toneladas de vapor por 1 tonelada de papel (MENDES, 2002). A seção de secagem multicilindro⁷ é a maior consumidora de energia da máquina de papel, além de afetar as características do papel.

O elevado consumo de energia na secagem se justifica por aumentar a dificuldade de remoção de água por já não existir água livre na folha de papel (MENDES, 2002).

De acordo com KARLSSON (2000), o teor seco da folha de papel na entrada da secagem é, aproximadamente, 1 g de sólidos secos/g de água, sendo que a seção de secagem remove menos do que 1% da água que entra na seção de formação. A quantidade de água removida na seção de secagem corresponde a 96% da água contida na folha de papel após as prensas (MENDES, 2002).

A água removida da folha de papel na forma de vapor é contabilizada no balanço de água da máquina de papel. Esse vapor deve ser removido rapidamente

⁷ Multicilindro: processo de secagem por meio de cilindros aquecidos por vapor

para que se mantenham condições de baixa umidade para a secagem da folha de papel.

Perdas na seção de secagem se devem a consumo excessivo de vapor, como consequência de mau projeto, falhas de operação e manutenção (MENDES, 2002).

2.4.3.13 Acabamento

Processos de acabamento incluem calandragem, enrolamento, rebobinamento, embalagem, transporte e acabamento da folha (JOKIO, 1999). Água fresca é usada nos processos de acabamento para fins de refrigeração.

2.4.3.14 Sistema de refugo

Os *refiles* e as quebras da máquina de papel (refugo) são reaproveitados no processo. Os *refiles* da seção de formação apresentam concentração entre 20 e 25% em massa e são recolhidos no tanque do rolo de sucção.

O tanque do rolo de sucção recolhe a folha de papel durante a passagem da ponta e na eventualidade da quebra da folha de papel na seção das prensas ou da secagem.

As quebras da seção das prensas e na seção de secagem geram refugo com concentração entre 30 e 40% em massa, que é recolhido no tanque da prensa. Nas máquinas não dotadas desse tanque, a folha de papel é recolhida no tanque do rolo de sucção, o que aumenta o tempo de passagem da folha.

O tanque da calandra recolhe a folha de papel com concentração do produto acabado, maior que 90% (em massa), na eventualidade de quebra na calandra ou

na enroladeira. Refiles da rebobinadeira são também remetidos ao tanque da calandra.

Todos esses tanques que ficam no piso zero da máquina fazem parte do sistema de refugo. *Refiles* e folha de papel resultantes de quebras são diluídos com água branca injetada por meio de chuveiros. A suspensão diluída segue para o preparo de massa onde é reincorporada como matéria-prima.

2.4.3.15 Lubrificação interna de rolos

Os rolos de sucção são empregados nas seções de formação e das prensas com a finalidade de remover a água por meio de vácuo. Os rolos de sucção são dotados de câmaras internas de vácuo, sendo limitadas e seladas por régua que fazem contato com a parte interna do rolo.

Água fresca é empregada internamente aos rolos de sucção com a finalidade de reduzir o atrito e refrigerar as régua de selagem.

2.4.3.16 Água de selagem

Água de selagem é usada por equipamentos com acionamento por eixo como bombas de massa, refinadores e bombas de vácuo (ARANTES et al, 2000). Na TABELA 2 encontra-se uma comparação entre a qualidade da água empregada para fins de selagem e a água clarificada obtida a partir da água branca drenada da seção de formação da máquina de papel.

TABELA 2 – COMPARAÇÃO ÁGUA DE SELAGEM VS ÁGUA RECIRCULADA CLARIFICADA

	Água de selagem	Água clarificada
pH	6,8 – 7,3	6 – 9
Sólidos dissolvidos, mg/L	<250	>>250
Sólidos suspensos, mg/L	<10	>50
DBO	<2	>25
Potencial de incrustação	Mínimo	Médio – alto
Corrosão	Mínimo	Baixo - alto

FONTE: PENG (2001)

Na TABELA 2 observa-se o grau de exigência de qualidade da água empregada para selagem, com previsão de formação de depósitos, de incrustação e de corrosão.

2.5 PERDA DE FIBRA NA ÁGUA BRANCA

De acordo com Fonseca *et al* (2003), os materiais contidos nos despejos de máquinas de papel passam completamente através das grades de separação de sólidos, coletores, filtros da máquina de papel, misturadores, tanques de agitação e peneiras.

A geração de efluentes em larga escala na fabricação de papel é devido ao alto consumo de água no processo produtivo, resultando em elevada diluição das águas residuárias. Normalmente, quanto mais finas são as classes de papel, maior é o consumo de água e conseqüentemente, maior é a diluição dos despejos industriais.

Há grande esforço para máxima recirculação de água nos sistemas da máquina de papel (SPRINGER, 2000). Aspectos de projeto e operação das plantas de papel e celulose devem maximizar a contenção das águas descartadas do processo (MICHALSKI, 2004). O tratamento de final de processo não é solução adequada, sendo que o caminho é captar ou eliminar a poluição na fonte (KOEPENICK, 1998).

Apesar dos efeitos indesejáveis do fechamento dos circuitos, as fábricas vêm a possibilidade de auferir vantagens econômicas em atenderem as normas ambientais (HAM *et al*, 2007). A recirculação de águas do processo contribui para a redução de custos e para a preservação ambiental (MICHALSKI, 2004).

Por questão de *benchmarking*⁸, existe incentivo para buscar tecnologia e soluções reduzindo o consumo de água (BACHMANN, 2009)

⁸ Benchmarking: comparação de indicadores de desempenho entre processos similares

A tributação dos recursos hídricos é fator motivador para que se incremente o uso de água fresca mediante o fechamento de circuitos (ARANTES et al, 2000).

2.5.1 Circulação de Água na Máquina de Papel

Na FIGURA 9 são indicadas as principais correntes líquidas de água branca em circulação através da máquina de papel.

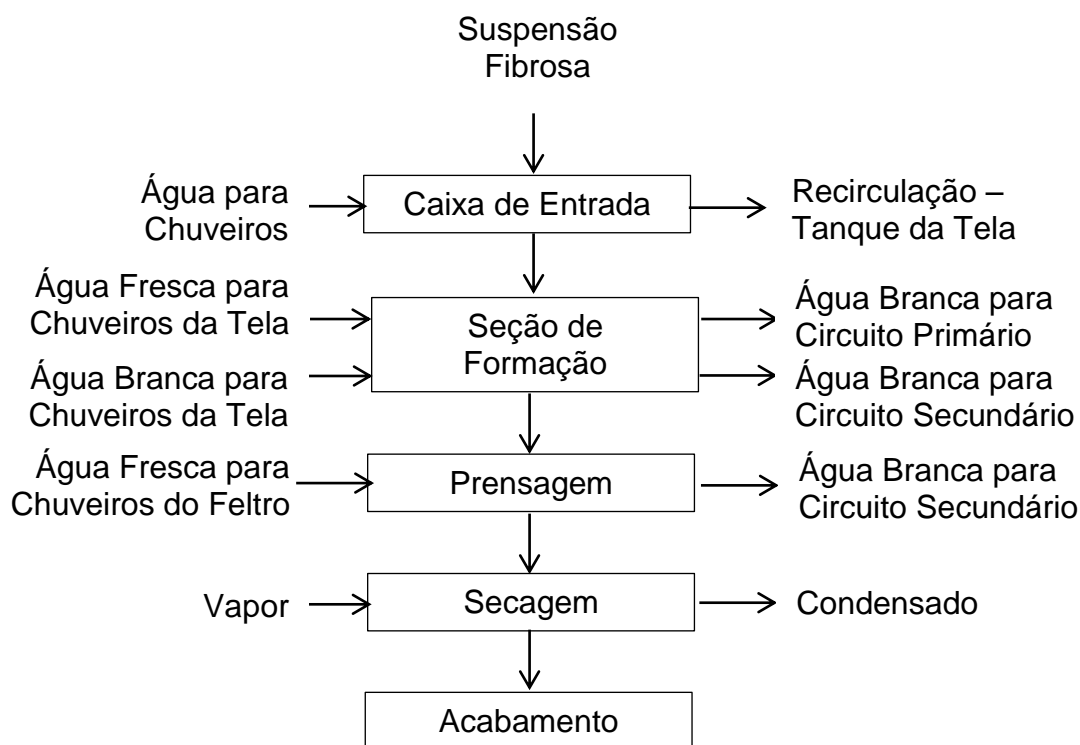


FIGURA 9 – CORRENTES DE ÁGUA NA MÁQUINA DE PAPEL

FONTE: O autor (2010)

Na FIGURA 9 encontram-se expostas as correntes de entrada na máquina de papel, sendo a suspensão fibrosa dos tanques de recepção, a água fresca e a água morna para os chuveiros e o vapor. As correntes de circulação interna correspondem às correntes de água branca. A corrente de saída corresponde à corrente de condensado. A geração de efluentes não foi representada.

Água fresca é usada nos chuveiros de limpeza da tela formadora e dos feltros. O vapor fornece calor para a secagem do papel, transformando-se em condensado. Água de refrigeração é consumida no tambor da enroladeira.

2.5.2 Perda de Fibra

A perda de fibra nas máquinas de papel acompanha as correntes líquidas de água branca drenadas e não reaproveitadas, o que se torna efluente, devido ao excesso de água no processo e por não haver consumidores suficientes.

Foelkel (2007) estabelece aspectos gerais sobre perda de fibra. As fábricas de celulose e papel têm perdas de 0,5 a 2,0% de fibras em relação à matéria-prima que entra nos processos. Modernas fábricas de celulose aceitam perdas de 0,3 a 0,5% das fibras que entram no processo e as fábricas de papel aceitam perdas de 1,5 a 2% das fibras. Essas faixas de perda são consideradas valores *benchmarking*. As fábricas de papel que usam aparas como matéria-prima têm perdas que chegam a 5%.

Perdas de fibra em máquinas de papel ficam na faixa de 1 a 3%, resultantes de troca de fabricação, limpezas, *refiles*, excesso de água branca e transbordos. A maior parte dessas fibras tem comprimento menor que 0,1mm.

De acordo com Foelkel (2007), as perdas de fibras na máquina de papel ocorrem com frequência nas seguintes áreas:

- a) águas de bombas de vácuo das caixas de sucção das máquinas na seção úmida;
- b) área de preparação de massa;
- c) área de desagregação e preparação das aparas;
- d) purga de água desaguada pela prensa úmida;
- e) transbordos e drenagens de tanques ou linhas onde as correntes líquidas possuem fibras
- f) vazamentos de gaxetas, selos, juntas, válvulas.

As causas possíveis de perdas de água e fibras na máquina de papel são listadas por Hespanhol *et al* (2005) e Foelkel (2007):

- a) mau funcionamento de dispositivos;
- b) uso inadequado de equipamentos ou de dispositivos;
- c) condições operacionais inadequadas, máquinas operando em sobre capacidade ou em estado de manutenção precário;
- d) vazamentos em tubulações, torneiras e acessórios;
- e) falta de manutenção nos dispositivos de armazenagem;
- f) uso de equipamentos com elevado consumo;
- g) realização de operações simultâneas por um operador;
- h) falhas e descontroles operacionais;
- i) método inadequado de trabalho;
- j) cultura do desperdício, considerando que os recursos naturais são bens infinitos;
- k) falta de treinamento e comprometimento da equipe de operação;
- l) falta de instrumentos para monitoramento das variáveis do processo;
- m) falta de indicadores e metas sobre as perdas.

As consequências da perda de fibras por ineficiência, de acordo com Foelkel (2007) não se limitam a aumento do custo da matéria-prima fibrosa, somando-se:

- a) maior consumo de matéria prima;
- b) maiores custos do tratamento de efluentes;
- c) maiores necessidades de capital para construção de estações de tratamento de efluentes e de aterros sanitários de maiores dimensões;
- d) maiores custos para manuseio das perdas que se concentram na forma de resíduos a dispor;
- e) custos de passivos ambientais a administrar para sempre;
- f) custos de licenças, burocracia.

2.5.3 Redução dos Efluentes de Água Branca e Recuperação de Água e Fibra

A recuperação de água e fibras do processo de fabricação de papel, particularmente do sistema da máquina de papel, se configura em operação de importância econômica e ambiental.

Fibras recuperadas significam aumento da eficiência das fábricas de papel, pois a mesma quantidade de papel é produzida com menor desperdício de fibras. Ao mesmo tempo, melhor aproveitamento das fibras se traduz em uso mais eficiente da matéria-prima vegetal.

Menor necessidade de água fresca no sistema da máquina de papel corresponde à redução da demanda sobre a estação de tratamento de água e melhor aproveitamento do recurso hídrico retirado da natureza. Menor quantidade de água em circulação no processo proporciona redução da quantidade de efluentes líquidos diminuindo a demanda sobre a estação de tratamento de efluentes.

As estratégias para recuperação de fibras dividem-se em preventivas, evitando a saída de fibras para os efluentes; corretivas, eliminando as causas tradicionais de perdas de fibras e recuperadoras, instalando equipamentos de recuperação nos corrente líquidas onde as fibras estão sendo perdidas (FOELKEL, 2007)

As possibilidades de recirculação dos efluentes da máquina de papel são reuso direto, reuso direto com diluição, reciclo e reuso pós-tratamento (NUNES, 2007).

A recirculação dos efluentes por meio de reuso direto é aplicada quando a concentração dos parâmetros do efluente é menor ou igual aos parâmetros de entrada de um processo, não sendo necessária adequação qualitativa, quer dizer não há custo.

O reuso direto com diluição também apresenta custo zero. Esse método é empregado quando os parâmetros do efluente são compatíveis com os parâmetros de entrada de um processo. As alternativas para suprir a vazão necessária são

mistura com outro efluente de melhor qualidade ou adição de água. A EQUAÇÃO 6 possibilita a simulação de misturas.

$$m_{RD} \cdot c_{RD} = m_{E1} \cdot c_{E1} + m_{E2} \cdot c_{E2} + \dots + m_{En} \cdot c_{En} \quad (6)$$

sendo

m_{RD} = vazão volumétrica de entrada para reuso com diluição ($m^3 \cdot h^{-1}$)

c_{RD} = concentração de entrada para reuso com diluição ($kg \cdot m^{-3}$)

m_{E1} = vazão do efluente 1 ($m^3 \cdot h^{-1}$)

c_{E1} = concentração do efluente 1 ($kg \cdot m^{-3}$)

m_{E2} = vazão do efluente 2 ($m^3 \cdot h^{-1}$)

c_{E2} = concentração do efluente 2 ($kg \cdot m^{-3}$)

m_{En} = vazão enésima do efluente ($m^3 \cdot h^{-1}$)

c_{En} = concentração enésima do efluente ($kg \cdot m^{-3}$)

O reciclo é a reutilização do efluente para a mesma função original. O efluente gerado no próprio processo possui parâmetros qualitativos muito próximos aos da água de alimentação. É necessária a utilização de alguma forma de tratamento para a adequação do efluente. Não é necessária a adequação de todos os parâmetros, entretanto o número de reciclos é limitado à concentração de entrada do parâmetro mais restritivo.

As estratégias e ações corretivas para minimização da perda de fibras devem priorizar aquelas que resolvam o problema na área geradora (FOELKEL, 2007). As vantagens desse procedimento estão enumeradas a seguir:

- a) disponibilidade de fibras usáveis que estavam sendo perdidas;
- b) disponibilidade de água recuperada pronta para uso;
- c) redução da necessidade de água fresca;

- d) redução da capacidade e da operacionalização da estação de tratamento de água;
- e) redução da necessidade de vapor, pois a água perdida normalmente é aquecida;
- f) redução do corrente líquida de efluente para a estação de tratamento de efluentes;
- g) redução da sobrecarga do decantador primário, que em muitos casos opera acima do limite, permitindo a passagem de sólidos.

De acordo com Hespanhol *et al* (2005) e Foelkel (2007), a minimização da perda de fibras será mais eficientemente atingida aplicando-se as seguintes estratégias e ações corretivas:

- a) manutenção eficiente – rápida e de qualidade;
- b) operação adequada dos equipamentos usualmente desperdiçadores de fibras, tais como os hidrociclones e lavadores;
- c) substituição de dispositivos e equipamentos em más condições;
- d) eficiência dos equipamentos recuperadores de fibras;
- e) controle de purgas em sistemas de resfriamento e das operações de lavagem;
- f) indicadores de qualidade operacional de equipamentos vitais: concentração dos hidrociclones, nível de rejeição dos depuradores primários, retornos de águas, consumo específico de água por tonelada de produto;
- g) acúmulo de contaminantes prejudiciais no sistema de água branca;
- h) balanços de massa para identificar entradas e saídas desses sistemas vitais, melhorando as formas de medidas e a automação;
- i) desenvolvimento de metas claras e compartilhadas com as áreas operacionais em relação às perdas de fibras setoriais e não à perda global da empresa;
- j) modificação nos procedimentos operacionais;
- k) treinamento dos operadores;
- l) alteração do método de produção, preferencialmente para forma contínua e automatizada.

A execução das estratégias e ações corretivas para minimização da perda de fibras visam recuperação de fibras, conservação de águas e fechamento dos circuitos, levando ao atingimento dos seguintes objetivos:

- a) máxima retenção das fibras no processo;
- b) máxima recuperação de águas e de fechamento de circuitos;
- c) máxima atenção nas operações, evitando inadequações que representem perdas de fibras e de águas;
- d) máxima atenção nas paradas emergenciais e acidentes, que sempre resultam em maiores perdas;
- e) eficientes sistemas de recuperação de perdas de água e de fibras (sistemas de contenção de derramamento);
- f) eficientes sistemas de medida e de monitoramento

A elaboração de propostas e estratégias para redução do consumo de água e da perda de fibras em processo onde são maiores as perdas dentro de um complexo de fabricação, exercendo o controle nessa área de interesse (FOELKEL, 2007), se justifica por esse processo apresentar maiores oportunidades de melhoria (NUNES, 2007).

2.5.4 Vantagens da recirculação de água e de fibras

As correntes de água branca e dos efluentes da máquina de papel contêm sólidos em suspensão, DBO e DQO. A reutilização dessas correntes líquidas proporciona redução do consumo de água fresca e de produtos químicos refletindo-se em um ganho ambiental (SILVA, 2000).

Segundo Foelkel (2007), as vantagens da redução da perda de fibras são redução dos custos unitários de fabricação, melhor utilização das matérias-primas e menor impacto ambiental atendendo as exigências dos órgãos ambientais.

A reintrodução de insumos no processo por meio da recuperação das fibras na área geradora traz como benefício o retorno de fibras ainda limpas para

reprocessamento através do sistema de refugo do preparo de massa e produção de água clarificada, reduzindo o uso de água fresca (FOELKEL, 2007).

A TABELA 3 apresenta valores de consumo de água antes e após o fechamento dos circuitos de água branca em máquina de papel.

TABELA 3 - CONSUMO DE ÁGUA EM MÁQUINA DE PAPEL (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA)

Localização dos chuveiros	Antes do fechamento (L.min ⁻¹)	Depois do fechamento (L.min ⁻¹)
Caixa de Entrada	570	570
Rolo cabeceira	910	0
Chuveiros destacadores	2270	0
Refileres	105	105
Limpeza 1ª prensa	20	20
Lubrificação caixa de vácuo feltro 1ª prensa	100	100
Reposição Tanque da Tela	570	0
Limpeza 2ª prensa	20	20
Lubrificação caixa de vácuo feltro 2ª prensa	90	90
Refrigeração rolo superior 2ª prensa	55	55
Lubrificação da enroladeira	40	40
Refrigeração tambor de freio da enroladeira	55	55
Reposição tanque de selagem do recuperador	320	0
Selagens, mangueiras	135	135
Bombas de vácuo	1435	1660
Lavadores do filtro engrossador	660	0
TOTAL	7355	2850

FONTE: PANCHAPAKESAN (1992)

De acordo com a TABELA 3, a redução do consumo de água foi de 61,25%. As ações realizadas no processo em que se usava água fresca ou morna passaram a ser realizadas com o emprego de água branca. Dentre os principais usos de água encontram-se a limpeza do rolo cabeceira, a diluição da folha de papel por meio dos chuveiros destacadores do tanque do rolo de sucção, a manutenção do nível do tanque da tela, reposição do tanque de selagem do recuperador de fibras e a lavagem da polpa celulósica no filtro engrossador.

Benefícios econômicos relacionados à economia de fibras e energia são auferidos como resultado do fechamento de circuitos (HAMM *et al*, 2007). Por exemplo, em uma máquina de papel de forma redonda obteve-se um ganho de 8% na produção de papel *testliner*⁹ como resultado do fechamento parcial do circuito de água branca. Isso ocorre devido à elevação de temperatura e aumento da drenabilidade. No tratamento secundário de efluentes, ocorreu redução do custo de implantação e de operação (ARANTES *et al*, 2000).

Outro exemplo do benefício do fechamento de circuitos se refere a uma fábrica de papel usando aparas como matéria-prima, que apresentou uma redução do consumo de água fresca de 30 para 4 m³ por tonelada de papel.

Finalmente, pode-se citar o caso de uma fábrica produzindo papel miolo e capa que fechou os circuitos de água branca. As vantagens auferidas foram: diminuição do volume de água no circuito; economia de produtos químicos e redução do consumo de energia elétrica em função da desativação de bombas. Parte da água disposta em corpo receptor foi empregada na desagregação e chuveiros da mesa plana e de peneiras vibratórias. A água industrial proveniente da estação de tratamento de água foi substituída por água clarificada em superfiltro.

2.5.5 Problemas relacionados à recuperação e recirculação de água e de fibras

Nas fábricas que fecharam os circuitos de água branca foi observado drástico aumento na concentração de substâncias dissolvidas e dispersas. De acordo com Miyanishi (2001) e Hamm *et al* (2007) os sistemas de água da máquina de papel com menor uso de água fresca agregam substâncias coloidais e dissolvidas, tanto orgânicas como inorgânicas, com consequente aumento da demanda catiônica e da condutividade.

Segundo Rocha (2007), o aumento da concentração de sais em sistemas que fecharam os circuitos decorre da dissociação de produtos químicos empregados

⁹ Testliner: papel fabricado com papel reciclado (aparas)

na parte úmida da máquina de papel. Os produtos químicos usados na parte úmida são agentes de retenção, de drenagem e de colagem.

O fechamento de circuitos provoca elevação das temperaturas do processo, aumento nas concentrações de sólidos suspensos e aumento de materiais dissolvidos e coloidais em circulação no processo (BLANCO, 2003).

O acúmulo de contaminantes causa problemas na drenabilidade, o que leva também a entupimento, corrosão, formação de espuma, crescimento bacteriológico, *pitch*¹⁰, depósitos e incrustações (SILVA *apud* ADAMS, 2000).

De acordo com Arantes *et al* 2000), o fechamento parcial do circuito de água branca aumenta o consumo de cola, a quantidade de espuma e a geração de odores nas águas de processo em fábrica de papel *testliner*. O aumento do número de quebras na seção das prensas é explicado pela redução da dimensão dos sólidos suspensos com conseqüente menor eficiência do flotador (ARANTES *et al*, 2000).

2.5.6 Propriedades dos papéis

O fechamento dos circuitos de água nas fábricas de papel altera a qualidade da água, observando-se redução da qualidade do papel e da operacionalidade da fábrica. O nível de recirculação da água na máquina de papel é determinado pela qualidade desejada do produto (HAMM *et al*, 2007).

A recirculação dos efluentes sem tratamento prévio afeta a qualidade do papel devido a problemas de drenabilidade causados por acúmulo de contaminantes (SILVA, 2000)

A maior parte das fibras contidas nos efluentes das fábricas de celulose e de papel tem dimensão inferior a 0,1 mm. A recirculação desses efluentes nas máquinas de papel reduz a drenagem da suspensão sobre a tela formadora.

¹⁰Pitch: aglomerados de materiais resinosos

2.6 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA BRANCA

A água branca que circula na máquina de papel contém substâncias dos mais diversos tipos e origens. Os constituintes das correntes de água branca são provenientes da estação de tratamento de água, derivam do processo de obtenção da fibra, dos produtos químicos e das contaminações.

Os fatores que contribuem para a alteração das propriedades da água branca estão relacionados à matéria-prima fibrosa usada na fabricação de determinado tipo de papel, ao grau de fechamento dos circuitos, ao processo e à operação.

2.6.1 Gases Presentes no Processo

Os gases presentes em maior proporção no processo de fabricação do papel são os que compõem o ar atmosférico e os que resultam da quebra das moléculas de compostos da massa, em sua maior parte carboidratos e açúcares. A concentração limite de ar na suspensão fibrosa depende das características do processo e da máquina de papel. Picos de concentração de gases ocorrem na massa antes da caixa de entrada ou de desaeradores¹¹ mecânicos (ROXO *et al*, 2001).

As três formas em que os gases se encontram nas suspensões fibrosas são dissolvidos, dispersos e como gases livres. O ar dissolvido não oferece problemas ao processo de fabricação do papel, pois se incorpora à folha de papel. A formação de bolhas causa problemas de drenabilidade e formação de pontos fracos na folha de papel. A presença de ar nas suspensões fibrosas causa problemas de obstrução de tubulações e favorece a proliferação de microrganismos.

¹¹ Desaeradores: equipamentos que retiram o ar da suspensão fibrosa por meio de vácuo

2.6.2 Microrganismos

A formação de depósitos e de lodo orgânico é causa muito bem conhecida de problemas de qualidade e do andamento da máquina no processo de fabricação do papel (DESJARDINS *et al*, 2003). A água em circulação contém substâncias dissolvidas biodegradáveis, pH e temperatura favoráveis à atividade microbiana (ALÉN, 2007).

O excesso de biofilmes formados nos circuitos da máquina gera defeitos no papel (buracos) ou causa quebras quando pelotas de lodo orgânico se desprendem (ALÉN, 2007). O lodo orgânico causa defeitos no papel como buracos e aglomerados, com consequentes problemas de produção como entupimento e depósitos (PAULAPURO, 2000).

A vida microbiana é afetada por temperaturas mais elevadas da água do processo e aumento das concentrações de sólidos suspensos, de material coloidal e dissolvido (BLANCO, 2003). A atividade microbiana é retardada com o aumento da temperatura decorrente do fechamento de circuitos, algumas fábricas relatam valores de até 66°C (IPST).

O crescimento de microrganismos aeróbios está associado à presença de gases dissolvidos (PRADO *et al*, 2010), como dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio. A concentração de cloretos beneficia o desenvolvimento de microrganismos anaeróbios (ROCHA, 2007).

Teores mais elevados de nutrientes dissolvidos podem favorecer o crescimento microbiano (JOHNSRUD, 2000). A atividade microbiana é inevitável devido à grande quantidade de nutrientes nas águas da máquina de papel (PAULAPURO, 2000). Água branca da máquina de papel contém concentração insuficiente de nitrogênio e fósforo para satisfazer as demandas do crescimento bacteriano (SLADE, 2004).

A presença de nutrientes obriga a aplicação de biocidas particularmente em sistemas de maior grau de fechamento onde há muitos pontos de estagnação e baixa frequência de limpeza (IPST).

Biocidas reduzem a contaminação da máquina de papel (ALÉN, 2007). Microbicida ambientalmente amigável é aplicado no controle de microrganismos em circuitos de máquina de papel, notadamente atuando sobre bactérias sésseis e podendo ser usado no controle de depósitos (CANALES *et al*, 2000).

2.6.3 Compostos Orgânicos

A água em circulação através da parte úmida das máquinas de papel transporta quantidades significativas de fibras, finos, cargas e aditivos, o que contribui para sólidos suspensos totais, demanda química de oxigênio e demanda bioquímica de oxigênio.

Os polímeros aniônicos da madeira se concentram na circulação de água branca devido à sua baixa capacidade de absorção sobre as fibras(MIYANISHI, 2001)

Em plantas de papel e cartão o problema com compostos orgânicos voláteis foi resolvido com a instalação de circuito terciário que retorna água da estação de efluentes após clarificação e tratamento microbiológico (HAMM *et al*, 2007).

2.6.4 Depósitos

A reciclagem da água branca resulta no acúmulo de complexos de talco e compostos de resina no sistema, os quais podem se depositar em equipamentos, telas de lavadores, pontas de depuradores centrífugos, caixas de entrada, régua desaguadoras, caixas de sucção, caixas de sucção para condicionamento de feltro úmido, tanques de selagem de caixas de sucção, rotores de bombas, feltros e telas de máquinas (SILVA *et al*, 2005)

Os depósitos na fabricação do papel contêm uma combinação complexa de todas as substâncias em circulação no processo – cargas, fibras e finos, colas

(SCHENKER, 1997). A complexidade dos depósitos na fabricação não permite estabelecer separação entre depósitos microbianos e químicos (ALÉN, 2007).

Os depósitos de sólidos dissolvidos podem produzir problemas como lodo orgânico, espuma, compostos de resina, corrosão, odor, controle de pH, cor e incrustação (GESS *apud* STEVENS, 1998)

Atividade microbiológica elevada na torre de refugo pode reduzir o potencial de oxirredução e o pH numa intensidade que afetará toda a parte úmida, levando a condições instáveis, o que pode culminar com risco de deposição química (ALÉN, 2007).

Concentrações mais elevadas de cloretos favorecem a proliferação de microrganismos anaeróbios proporcionando maior potencial de formação de depósitos (ROCHA, 2007).

2.6.5 Corrosão

O fechamento do circuito de água branca com o objetivo de reduzir a perda de fibras tem como consequências o aumento da concentração de sólidos no sistema, sejam sais ou mesmo fibras, elevação da temperatura da água branca e aumento da atividade microbiana.

Segundo Koepenick (1998), o fechamento de circuitos potencializa a corrosão causada por elementos inertes que acompanham a fibra. De maneira geral, o fechamento do circuito de água branca afeta a corrosividade devido a um substancial aumento dos sólidos dissolvidos, da temperatura e da atividade biológica. A intensidade do processo corrosivo é influenciada pelo grau de fechamento do circuito de água branca.

A corrosão de equipamento de fabricação de papel pela água branca pode ser causada por constituintes tão pequenos como íons em concentrações de 1 ppm e massas de fibra cobrindo muitos centímetros quadrados.

Tanto os constituintes orgânicos como os inorgânicos dos sólidos dissolvidos influenciam a intensidade da corrosão, dentre esses os mais significativos são cloretos, sulfatos, compostos ligno-sulfurados, ácidos orgânicos e carbonatos.

A corrosão de metais pela água branca da máquina de papel pode ser uniforme ou localizada. A corrosividade de cloretos danifica estruturas e tubulações de água decorrente do baixo nível de reposição de água (ROCHA, 2007).

De acordo com Paulapuro (2000), a corrosão microbiológica ocorre em depósitos de lodo orgânico. O crescimento bacteriano está associado à corrosão localizada em ligas especiais de aços inoxidáveis.

Sulfeto de hidrogênio produzido por bactérias redutoras de enxofre provoca corrosão em tanques de armazenamento. Ataques severos por corrosão localizada foram observados nas tubulações (CANALES *et al*, 2000).

A temperatura se eleva com o fechamento do circuito, sendo que algumas fábricas relatam valores de até 66°C. Temperaturas mais altas aumentam a ativação de corrosão localizada e a cinética de dissolução do metal em ataque uniforme.

O crescimento bacteriano em pontos de estagnação dos circuitos de água branca favorece a corrosão severa localizada inclusive de ligas especiais de aços inoxidáveis. Ataque corrosivo ocorre na linha de água clarificada para os chuveiros da máquina e demais pontos da recirculação (ARANTES *et al*, 2000).

O fechamento de circuitos provocará alterações nas correntes líquidas do processo da fábrica, não necessariamente aumentando a corrosão nesses ambientes e depende dos materiais de construção empregados. Uma vez que a fábrica esteja implantando o fechamento de circuitos, é necessário conhecer as questões relacionadas à corrosão antes do fechamento e antecipar mudanças no ambiente (IPST).

As consequências da corrosão são o aumento dos custos de manutenção e das paradas não programadas. A corrosividade da água branca reciclada em sistemas fechados é parâmetro de grande importância em projetos (IPST).

2.6.6 Ensaio para Monitoramento da Qualidade da Água Branca

No QUADRO 2 encontram-se relacionados os ensaios para caracterização das correntes de água branca em uma máquina de papel e problemas potenciais relacionados ao aumento nos valores das medidas desses ensaios.

SÓLIDOS TOTAIS	PRECIPITAÇÃO DE SÓLIDOS
Sólidos voláteis totais	Acúmulo de sólidos orgânicos
Sólidos totais fixos	Acúmulo de sólidos orgânicos
Sólidos suspensos	Acumulo de sólidos fibrosos
Sólidos dissolvidos	Acúmulo de sólidos dissolvidos
Sólidos voláteis dissolvidos	Acúmulo de sólidos orgânicos dissolvidos
Sólidos fixos dissolvidos	Acúmulo de sólidos inorgânicos dissolvidos,
Teste de decantação	Análise da partícula da 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, incrustação e corrosão
Dureza total	Sólidos de cálcio transportados pela fabricação da polpa,, incrustação e retenção
Dureza cálcio	Sólidos de cálcio transportados pela fabricação da polpa, , incrustação e retenção
Alcalinidade	Nível de carbonato, corrosão
Acidez	Corrosão
pH	Equilíbrio iônico, corrosão
Condutividade	Sólidos dissolvidos, corrosão
Temperatura	Elevação da temperatura
Polarização linear e medida da taxa de corrosão	Taxa de corrosão uniforme
Cor	Cor

QUADRO 2 - ENSAIOS PARA MONITORAMENTO DA ÁGUA BRANCA

FONTE: NCASI (2009)

O monitoramento da qualidade da água branca por meio dos ensaios listados no QUADRO 2 tem o objetivo de medir alterações dos potenciais de

depósitos orgânicos e inorgânicos, de incrustação e de corrosão resultantes da redução do consumo de água em decorrência do fechamento parcial dos circuitos e do reuso da água branca. Segundo Alexandersson (2003), a caracterização da composição da água branca inclui as medidas de DBO e DQO.

2.6.7 Composição da Água Branca em Fábricas de Papel

Na TABELA 4 encontram-se expostos os valores médios das propriedades e características da água branca usada para fins de água de selagem e de aquecimento e resfriamento em 25 fábricas de papel. As amostras da água de selagem são oriundas de 16 fábricas e as de aquecimento e resfriamento são provenientes de 9 fábricas.

TABELA 4 - RESUMO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA BRANCA REUSADA PARA SELAGEM E AQUECIMENTO E RESFRIAMENTO EM PLANTAS DE PRODUÇÃO DE PAPEL

Parâmetro	Selagem	Aquecimento e Resfriamento
Temperatura (°C)	36,5	32,6
pH	7,1	7,2
Sólidos totais (kg.m ⁻³)	1,066	1,071
Sólidos cinzas totais (kg.m ⁻³)	0,784	0,741
Sólidos dissolvidos (kg.m ⁻³)	1,005	1,040
Sólidos cinzas dissolvidos (kg.m ⁻³)	0,753	0,672
Sólidos voláteis dissolvidos (kg.m ⁻³)	0,252	0,368
Sólidos suspensos (kg.m ⁻³)	0,068	0,044
Condutividade a 25°C (µmho.cm ⁻¹)	1115	950
Cor (pcu ou ppm)	146	164
Dureza total (kg.m ⁻³ equivalente a CaCO ₃)	0,141	0,114
Alcalinidade (kg.m ⁻³ equivalente a CaCO ₃)	0,111	0,136
Acidez (kg.m ⁻³ CaCO ₃)	0,007	0,010
Sulfato (kg.m ⁻³)	0,437	0,372
Cloreto (kg.m ⁻³)	0,026	0,018

FONTE: NCASI (2009)

Com base nos resultados expostos na TABELA 4 pode-se verificar que há muitas semelhanças entre a água branca usada para fins de água de selagem e de aquecimento e resfriamento, o que pode ser observado com base nos valores de temperatura, pH, sólidos totais, sólidos cinzas totais, sólidos dissolvidos e cor.

Os parâmetros e seus respectivos valores listados na TABELA 4 servem de orientação para monitoramento da qualidade do efluente de água branca da máquina de papel em situações de redução do consumo de água, reuso de água branca e fechamento parcial ou total dos circuitos, no que se refere à elevação dos potenciais de formação de depósitos, de incrustação e de corrosão.

Na TABELA 5 encontram-se as alterações nas propriedades da água branca clarificada em fábrica de papel *testliner* como consequência de fechamento parcial do circuito de água branca.

TABELA 5 - VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DA ÁGUA BRANCA

	DBO ₅ (kg.m ⁻³)	Sólidos dissolvidos totais (kg.m ⁻³)	Sólidos sedimentáveis (m.L-1.h-1)	Sólidos suspensos totais (kg.m ⁻³)
Antes do fechamento	<1	N.D.	N.D.	<100
Depois do fechamento	1,5-2,0	~3,0	4-30	0,2-0,25

N.D. – não determinado

FONTE: ARANTES ET AL (2000)

De acordo com a TABELA 5, o circuito apresentou elevação da concentração de materiais fibrosos (sólidos suspensos totais) e da atividade microbiana (DBO₅).

Na TABELA 6 encontram-se expostas as faixas de concentração e de variação de DQO, de Carbono Orgânico Dissolvido e de Sólidos Totais em fábrica de papel *testliner* e miolo em duas situações, com circuito de água branca aberto e fechado.

TABELA 6 - FAIXAS DE CONCENTRAÇÃO E DE VARIAÇÃO DE DQO, COD E ST EM FÁBRICA DE PAPEL *TESTLINER* E MIOLO COM CIRCUITO DE ÁGUA BRANCA ABERTO E FECHADO

Parâmetro	Circuito Aberto	Circuito Fechado
DQO dissolvido (kg.m ⁻³)	1,0 a 2,5	30 a 35
COD (kg.m ⁻³)	0,2 a 0,9	1 a 14
ST	30 a 270	2 a 3,4

FONTE: ALEXANDERSSON (2003)

Com base nos dados expostos na TABELA 6 observa-se acentuada diferença entre os valores dos parâmetros usados para caracterizar a água branca nas duas situações. A elevada concentração da água branca em circuito fechado é explicada em decorrência do maior teor de finos, provocado pelas características da matéria-prima usada na fabricação de papel *testliner* e miolo, que se constitui basicamente de fibras secundárias. A elevação do valor da DQO decorre da maior concentração de finos e de sólidos em geral retidos na água em circulação.

Apesar das elevadas concentrações de DQO, COD e ST em circuito fechado apresentadas na TABELA 6, não houve relatos de aumento da incidência de formação de depósitos, instabilidades no andamento da máquina de papel ou prejuízos nas propriedades do papel (ALEXANDERSSON, 2003).

Na TABELA 7 encontra-se a composição da água branca em fábrica de papel que usa papel reciclado como matéria-prima. O consumo específico é de 1 m³ de água fresca/t de papel, característico de processo em circuito fechado.

TABELA 7 - COMPOSIÇÃO DA ÁGUA BRANCA EM FÁBRICA DE PAPEL RECICLADO

Parâmetro	Concentração
DQO (kg.m ⁻³)	35
Cálcio (kg.m ⁻³)	3,7
Sulfato (kg.m ⁻³)	1,5
Cloreto (kg.m ⁻³)	0,00055
Ácido acético (mg/L)	0,005
Lactatos (mg/L)	0,0058
pH	6,25
Condutividade Elétrica (µS.cm ⁻¹)	9,0

FONTE: HABETS et all (1997)

Os valores expostos na TABELA 7 confirmam a expectativa para fábrica de papel que emprega aparas como matéria-prima e operando em circuito fechado. Papéis reciclados potencializam valores elevados de DQO e de condutividade em virtude da característica da composição fibrosa, alto teor de finos, e de outros materiais usados na fabricação do papel, como colas e cargas minerais.

As composições da água branca apresentadas nas TABELAS 4, 5, 6 e 7 servem como referência para outras máquinas de papel, pois refletem as piores condições em termos de fabricação de papel, que são o uso de papel reciclado como matéria-prima e operação em circuito fechado.

2.6.8 Medida do Teor Seco e Caracterização das Suspensões Fibrosas

A concentração das suspensões fibrosas é a variável mais importante nos processos de fabricação de celulose e papel (TECO-INC), pois representa a quantidade de matéria-prima nas corrente líquidas e reservatórios.

A caracterização das correntes líquidas de suspensões fibrosas e dos efluentes de água branca é feita por meio das medidas de vazão e de concentração. De acordo com Vehmas (2005), essas medidas são fundamentais para controlar a eficiência do processo.

Segundo Foelkel (2007), são três os métodos para determinação das quantidades de fibras perdidas dos processos, a seguir enumerados:

- a) quantificação do lodo primário na estação de tratamento de efluentes;
- b) quantificação do efluente global na entrada da estação de tratamento de efluentes;
- c) quantificação de cada um dos efluentes setoriais.

A quantificação do lodo primário é parcial, pois parte das fibras se perdem para o corpo receptor como sólidos suspensos. A quantificação é prejudicada devido à presença de contaminantes que interferem na qualidade da análise.

A quantificação das fibras contidas no efluente global também é prejudicada pela presença de outros sólidos. Outra característica do efluente global é a variabilidade da corrente líquida.

O método de quantificação das fibras por segregação setorial é especialmente recomendado onde a perda de fibras é significativa. A medida individualizada das corrente líquidas de cada processo caracteriza-se por maior precisão na identificação das fontes e causas das perdas.

A medida de concentração é obtida em laboratório conforme descrito no capítulo MATERIAIS E MÉTODOS e por meio de automação.

De acordo com TECO-INC, o transmissor de concentração é específico para cada processo, pois dentre as tecnologias disponíveis cada uma apresenta um conjunto de vantagens e limitações.

A medida da concentração de sólidos tem como limitações a influência da composição dos materiais sólidos e de interferências. A composição pode variar em termos de fibras, finos, cargas minerais, produtos químicos. As interferências se devem à temperatura, velocidade da corrente líquida, teor de ar.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 INTRODUÇÃO

Para o desenvolvimento desse trabalho, a metodologia adotada incluiu, inicialmente, a caracterização do efluente de água branca da máquina de papel. A caracterização foi feita por meio de medidas de vazão, concentração de sólidos, DQO, sólidos totais, dureza total e condutividade elétrica.

Os dados de vazão e concentração de sólidos do efluente de água branca foram obtidos durante 30 dias com frequência horaria, o que fez o total de 720 resultados. Os valores médios de vazão e concentração foram comparados com dados históricos da máquina de papel referentes a período de um ano de operação e com os valores obtidos pela empresa pelo mesmo procedimento dessa metodologia.

As medidas iniciais de vazão e concentração serviram de base para análise posterior do consumo de água e da perda de fibra que são influenciados pelas alterações e modificações implantadas visando à redução do efluente de água branca.

O método empregado teve o objetivo de levantar dados mais precisos sobre perda de fibra e volume de água das correntes líquidas dos efluentes de água branca. Dados precisos permitiram a elaboração de propostas de baixo custo para a redução do efluente de água branca.

As medidas iniciais de DQO, sólidos totais, dureza total e condutividade elétrica serviram de base para análise dos potenciais depósitos de materiais orgânicos e inorgânicos, bem como de incrustação e de corrosão. As medidas de DQO, sólidos totais, dureza total e condutividade elétrica foram feitas com frequência semanal durante um período de 10 meses.

Após a caracterização inicial do efluente de água branca e do estudo da redução do efluente de água branca, prosseguiu-se o tratamento dos dados e o

estudo técnico dos fluxogramas da máquina de papel para identificar os pontos de desperdício e de consumo de água.

Nessa etapa, foram realizadas visitas à área da máquina de papel, simultaneamente com acompanhamento da operação, possibilitando dessa forma a apresentação de propostas de modificações de projeto e de alterações dos procedimentos operacionais com o objetivo de reduzir os efluentes de água branca.

O acompanhamento da qualidade da água branca em circulação através da máquina de papel foi realizado por meio de inspeções visuais do processo durante paradas e procedimentos de limpeza com o objetivo de observar a formação de depósitos de qualquer origem, bem como, de incrustações e incidência de corrosão.

3.2 MEDIDA DA CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS DA ÁGUA BRANCA

A medida da concentração juntamente com a medida de vazão permitiu a caracterização dos efluentes quanto a conteúdo de água e teor de fibras. A norma empregada para a determinação do teor seco é a norma NBR 14003 (1997) – Determinação da Consistência de Pastas Celulósicas da ABNT e também foi usada a norma NBR 9898 (1987) – Preservação e Técnicas de Amostragem de Afluentes Líquidos e Corpos Receptores da ABNT.

Na FIGURA 10 encontra-se ilustrado o dispositivo para a coleta de amostras das suspensões fibrosas. Esse dispositivo é confeccionado em PVC e constitui-se de um recipiente de 200 mL. Após a coleta da amostra, a mesma é colocada em um *becker* para transferência ao *laboratório*.

Na FIGURA 11 encontra-se a ilustração do conjunto de filtração de suspensões fibrosas constituído por fonte de vácuo, funil de *Büchner*, e *kitassato*. O funil de *Büchner* da marca Chiarotti tem volume de 560 mL, diâmetro de 125 mm; é fabricado em porcelana e é internamente esmaltado. O *kitassato* da marca Stocklabor classe A tem volume de 2000 mL. A bomba de vácuo é da marca Prismatic, modelo 131, tipo 2 VC.

O dispositivo de coleta de amostras (FIGURA 10) e o conjunto de filtração (FIGURA 11) são usados na determinação da concentração de sólidos.



FIGURA 10 - DISPOSITIVO PARA COLETA DE AMOSTRAS DE SUSPENSÕES FIBROSAS

FONTE: O autor (2010)

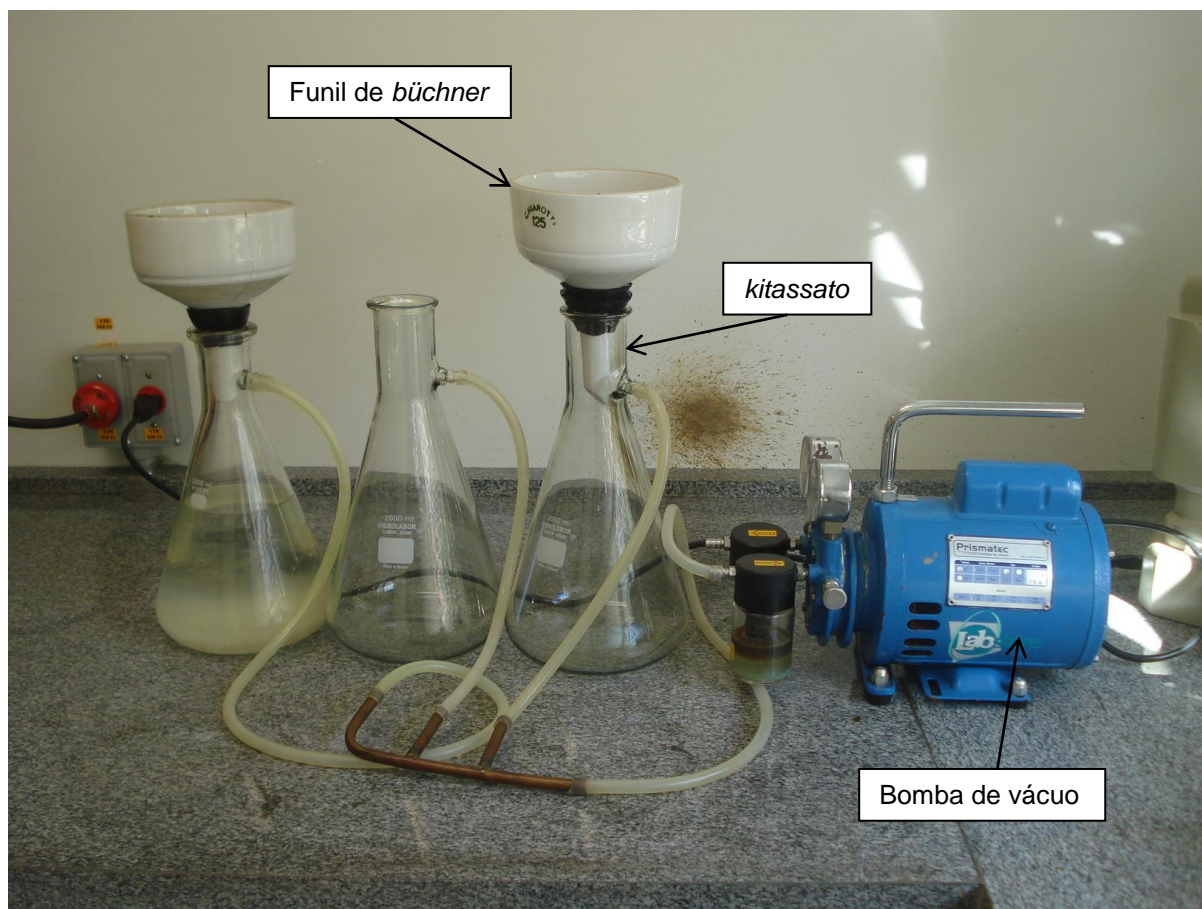


FIGURA 11 - CONJUNTO PARA FILTRAÇÃO DA SUSPENSÃO FIBROSA COMPOSTO DE FUNIL DE BÜCHNER; KITASSATO E BOMBA DE VÁCUO.

FONTE: O autor (2010)

Os demais equipamentos e materiais usados para a medida da concentração são: a) papel de filtro com porosidade para retenção de todo material visível. As características do papel de filtro são: diâmetro de 12,5 cm; velocidade de filtração de 140 s e teor de cinzas de 0,00009 g; b) Estufa da Nova Ética modelo 420/D empregada na secagem das amostras; c) Balança analítica da Gehaka modelo AG200; d) *becker* de 2000 mL é usado para depósito da amostra de suspensão fibrosa para posterior transferência ao laboratório.

3.2.1 Procedimento para Coleta das Amostras de Água Branca

As amostras para a determinação da concentração foram obtidas a partir dos efluentes de água branca coletadas na Calha *Parshall*¹² (FIGURA 12) da máquina de papel.



FIGURA 12 - PROCEDIMENTO DE AMOSTRAGEM DA ÁGUA BRANCA EM CALHA PARSHALL COM DISPOSITIVO DE COLETA

FONTE: O autor (2010)

Na FIGURA 12 é indicada a amostragem de água branca coletada do efluente da máquina de papel com o dispositivo de coleta. A profundidade da tomada de amostra na corrente do efluente foi de 20 cm, o que corresponde a uma marca feita no cabo do dispositivo.

¹² Calha *Parshall*: medidor de vazão usado em canais abertos

A amostra de água branca coletada é depositada no recipiente (*becker*) para transferência ao laboratório. Após a coleta de cada amostra, o recipiente foi lavado com água até não apresentar resíduos que contaminassem a próxima amostragem. A fim de se garantir a limpeza do dispositivo de coleta, a lavagem foi complementada com água destilada.

3.3 MEDIDA DA VAZÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA

Os dados de vazão do efluente da água branca da máquina de papel foram obtidos a partir do sistema PIMS (*process information management system*) da empresa, que é o sistema de controle e de registros das variáveis operacionais.

A medida da vazão foi feita por meio de medidor de nível por borbulhamento acoplado à calha Parshall do efluente. A frequência da coleta dos dados de vazão foi horária realizada durante 30 dias, o que totalizou 720 resultados.

O medidor de vazão tipo Calha Parshall (FIGURA 13) é um elemento primário para medir a vazão de correntes líquidas que fluem por gravidade em canais abertos.

A calha Parshall apresenta pouca perda de carga e é bastante precisa na determinação (leitura) das vazões. A calha Parshall é acomodada em caixa de concreto nivelada, posicionada conforme projeto.

Na FIGURA 13 encontra-se ilustrada a Calha Parshall, por meio da qual a vazão foi medida de acordo com o nível de líquido. O nível da lâmina do efluente na calha *Parshall* foi medido por borbulhador (FIGURA 14) o qual é instalado em tanque comunicante à calha *Parshall*. O nível do líquido também foi acompanhado pela régua graduada fixada internamente à calha Parshall.



FIGURA 13 - CALHA PARSCHALL PARA MEDIDA DE VAZÕES EM CANAIS ABERTOS

FONTE: COMUSA (2011)

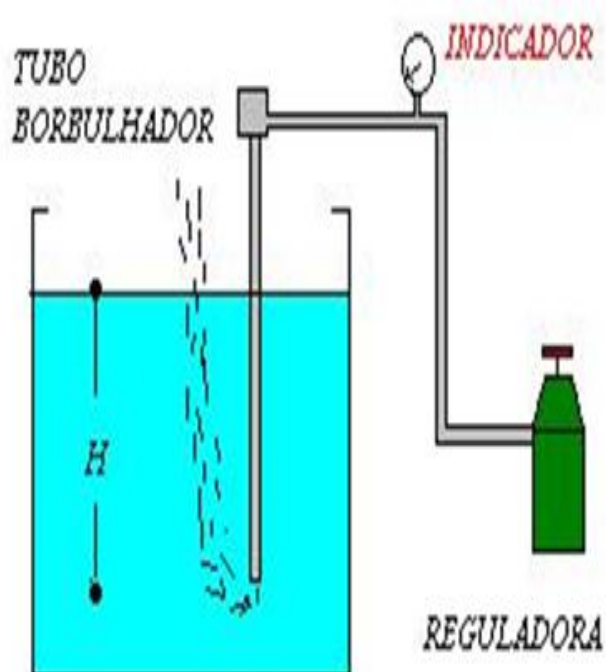


FIGURA 14 - ESQUEMA DO MEDIDOR DE NÍVEL POR BORBULHAMENTO INCLUINDO O TUBO BORBULHADOR, O ROTÂMETRO PARA REGULAGEM DA VAZÃO E O MANÔMETRO INDICADOR

FONTE: O autor (2010)/INSTRUMENTAÇÃO (2011)

Na FIGURA 14 observa-se o projeto do borbulhador usado na determinação do nível do efluente que escoar através da calha Parschall. O projeto do borbulhador inclui um tubo através do qual escoar ar de instrumentação, um manômetro e um rotâmetro.

A extremidade inferior do borbulhador é um entalhe na forma de um “V” para evitar a turbulência. A vazão do ar de instrumentação que passa através do borbulhador é regulada por um rotâmetro com o objetivo de minimizar as flutuações do medidor.

3.4 CÁLCULO DA PERDA DE FIBRA

Após terem sido obtidos os valores das medidas de concentração e das leituras de vazão do efluente de água branca da máquina de papel, cálculos da perda absoluta de fibras e da perda específica foram executados com o objetivo de servir de base para o monitoramento após a implantação das ações para reduzir o efluente de água branca.

A relação utilizada no cálculo do teor seco das suspensões de água branca é dada pela EQUAÇÃO 7.

$$C_s = (mu - ms)/mu \cdot 100 \quad (7)$$

sendo:

C_s – concentração (% em massa)

mu – massa úmida (kg)

ms – massa seca (kg)

A relação usada no cálculo da produção seca (PS) é dada pela EQUAÇÃO 8.

$$PS = (1-U)/100 \cdot P \quad (8)$$

sendo:

PS - produção seca (t/d)

U – umidade do papel na enroladeira (% em massa)

P – produção de papel na enroladeira (t.d⁻¹)

O cálculo da perda absoluta de fibras (PF) é feito a partir dos resultados obtidos da medida de concentração e da leitura dos transmissores de vazão das correntes líquidas de efluente, com a aplicação da EQUAÇÃO 9.

$$PF = Q \cdot Cs \cdot K \quad (9)$$

sendo:

PF – perda de fibras (t.d⁻¹)

Q - vazão (m³.h⁻¹)

Cs – concentração (kg.m⁻³)

K – 24/1000

A perda específica (PE) relaciona perda de fibra e produção seca, podendo ser calculada com a EQUAÇÃO 10.

$$PE = PF/PS \cdot 100 \quad (10)$$

sendo:

PE – perda específica de fibras (%)

PF – perda de fibras ($t.d^{-1}$)

PS – perda seca ($t.d^{-1}$)

3.5 MEDIDAS DE DQO, SÓLIDOS TOTAIS, DUREZA TOTAL E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A caracterização inicial do efluente de água branca foi complementada por meio das medidas de DQO, sólidos totais, dureza total e condutividade elétrica, as quais permitiram investigar a formação de depósitos e de incrustações, bem como a corrosão dos equipamentos da máquina de papel.

As normas aplicadas para realização dos ensaios foram: a) DQO: NBR 10357 Águas - Determinação da demanda química de oxigênio (DQO) da ABNT; b) Sólidos totais: NBR 10664 Águas - Determinação de resíduos (sólidos) da ABNT c) Dureza total: NBR 12621 da ABNT. A condutividade elétrica foi medida com o condutímetro da marca Gehaka modelo CG 2200.

As amostras do efluente de água branca para a realização dos ensaios foram tomadas da mesma maneira que as amostras para a medida da concentração (item 3.2.1). A frequência das medidas de DQO, sólidos totais, dureza total e condutividade elétrica foi semanal.

3.6 MÁQUINA DE PAPEL

Nas FIGURAS 15 e 16 encontram-se ilustrações que representam a máquina de papel que foi objeto desse estudo.

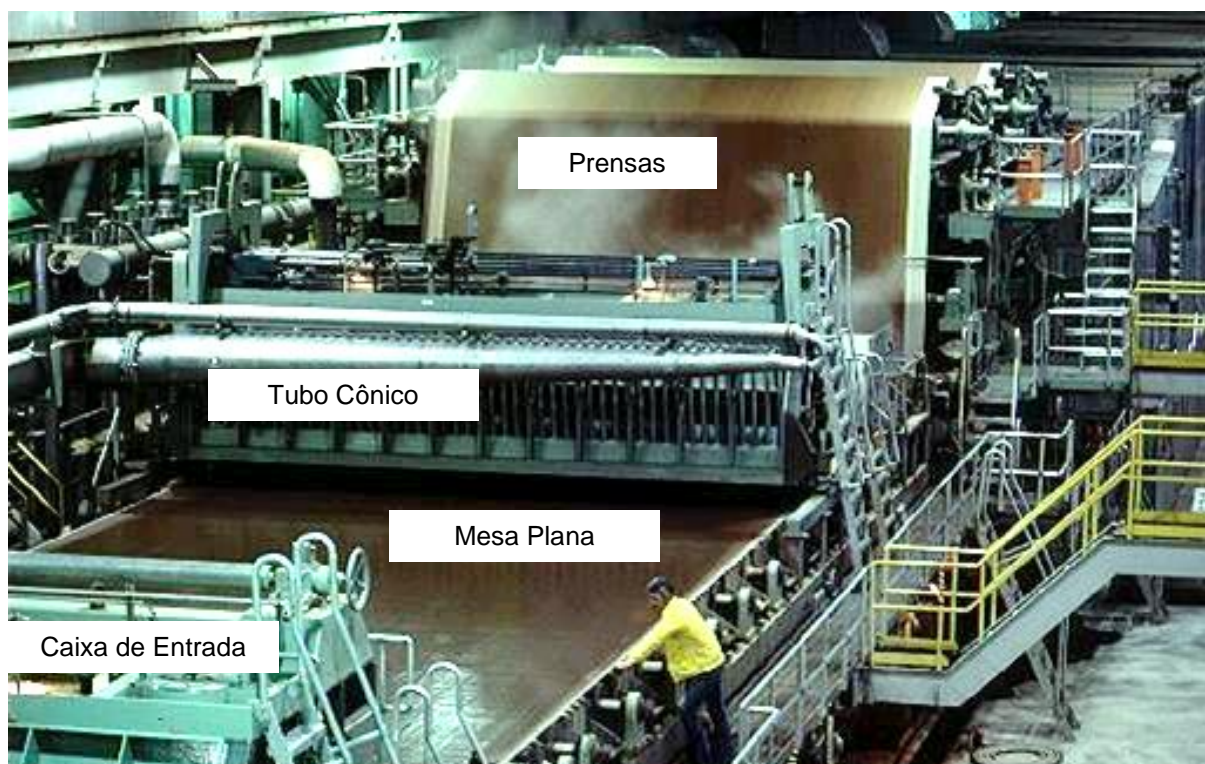


FIGURA 15 - PARTE INICIAL DA MÁQUINA DE PAPEL COM TUBO CÔNICO, CAIXA DE ENTRADA PRIMÁRIA, MESA PLANA (SEÇÃO DE FORMAÇÃO) E SEÇÃO DAS PRENSAS

FONTE: RINCON DEL VAGO (2011)

Na FIGURA 15 representativa da parte inicial da máquina de papel pode-se observar: a) o tubo cônico que alimenta a caixa de entrada com suspensão fibrosa oriunda do circuito de aproximação; b) a caixa de entrada pressurizada que distribui a suspensão fibrosa sobre a tela formadora; c) a seção de formação tipo mesa plana; d) seção das prensas úmidas

Os elementos desaguadores que compõe a mesa plana são: a) *forming board*¹³; b) régua desaguadora *foils*¹⁴; c) vácuo-*foils*; d) caixas de sucção; e) rolo de sucção *couch*. No final da seção de formação a concentração de sólidos da folha de papel é, em média, de 20% (em massa).

¹³ Forming board: elemento da seção de formação à saída da caixa de entrada usado para suportar a tela formadora no momento do impacto do jato

¹⁴ Foils: elementos desaguadores com formato de régua

A seção das prensas constitui-se de prensas de rolos convencionais. Ao final da seção das prensas, a concentração da folha de papel é em média de 35% (em massa).



FIGURA 16 - PARTE FINAL DA MÁQUINA DE PAPEL OBSERVANDO-SE A CALANDRA E A SEÇÃO DE SECAGEM.

FONTE: AIRTHERMCORP (2011)

Na FIGURA 16 observa-se a parte final da máquina de papel constituída de seção de secagem e calandra. A seção de secagem é de configuração multicilindros.

No final da seção de secagem a folha de papel encontra-se com o valor final da concentração de sólidos, sendo em média de 94% (em massa).

O papel fabricado (cartão) é formado por duas camadas provenientes de duas caixas de entrada. As linhas de fibra operam separadamente e constituem as linhas primária e secundária. A maior parte das fibras que formam o papel é oriunda da linha primária, em média, 80% do total. A vazão de fibras da linha primária se compõe de fibras recicladas dos outros processos, o que constitui a base do papel. A linha secundária se compõe de fibras virgens, tanto curtas e longas, o que forma a cobertura do papel.

A capacidade de produção da máquina de papel é, em média, de 351,43 t. Para isso, são verificados os seguintes consumos: 29 t de vapor/h; 95 m³.h⁻¹ de água fresca; 115 m³.h⁻¹ de água morna.

3.7 INVESTIGAÇÃO DOS PONTOS DE GERAÇÃO DE EFLUENTES DE ÁGUA BRANCA NO SISTEMA DA MÁQUINA DE PAPEL

3.7.1 Descrição do Sistema da Máquina de Papel

A descrição do processo teve o objetivo de permitir a visualização do processo no que se refere a facilitar a identificação de pontos de geração de efluentes de água branca, bem como oportunidades para a redução desses efluentes.

Além disso, procurou-se mostrar a grande quantidade de água em circulação por necessidade intrínseca do processo e, como consequência, a dificuldade de o sistema manipular grandes vazões.

Na FIGURA 17 encontra-se exposto o diagrama de blocos do sistema da máquina de papel, que inclui o preparo de massa, o circuito de aproximação e a máquina de papel.

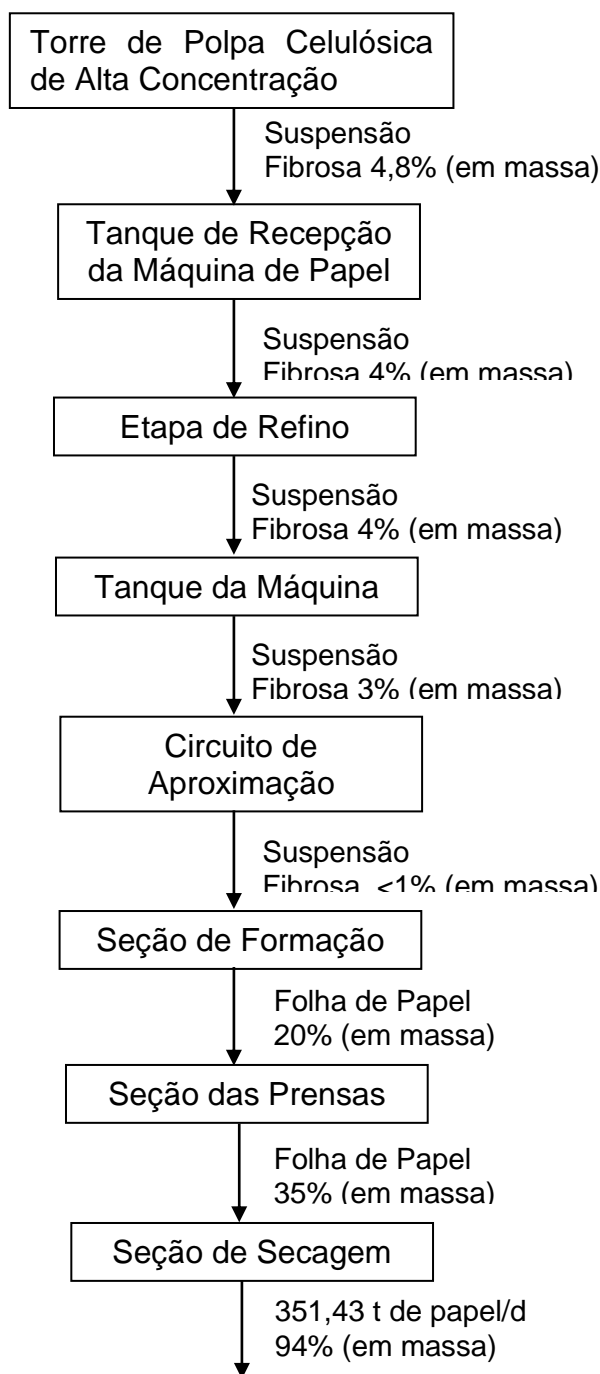


FIGURA 17 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA DA MÁQUINA DE PAPEL COM AS PRINCIPAIS ETAPAS DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO

FONTE: O autor (2010)

Na FIGURA 17 encontram-se indicadas as etapas e operações do sistema da máquina de papel, podendo ser observada a circulação da suspensão fibrosa desde o ponto de suprimento nas torres de alta concentração até a obtenção do papel com suas características finais no final da seção de secagem.

3.7.2 Investigação dos Pontos de Geração de Efluentes de Água Branca

A primeira etapa da identificação das perdas na máquina de papel foi feita mediante visitas ao processo. O objetivo das visitas foi de detectar e identificar as perdas inerentes ao processo perceptíveis por meio de inspeções “*in loco*”, sendo as facilmente detectáveis a olho nu.

Os pontos e causas de geração de efluentes de água branca que foram investigados no sistema da máquina de papel encontram-se enumerados abaixo:

- a) Equipamentos e dispositivos
 - vazamentos de gaxetas, selos, juntas, válvulas
 - mau funcionamento de dispositivos
 - uso inadequado de equipamentos ou de dispositivos
 - vazamentos em tubulações, torneiras e acessórios
 - falta de manutenção nos dispositivos de armazenagem
 - uso de equipamentos com elevado consumo

Posteriormente, por meio de acompanhamento da operação da máquina de papel, buscou-se identificar perdas de água branca relacionadas ao procedimento operacional ou devido à ineficiência do processo (perdas involuntárias) de difícil detecção relacionados a método e monitoramento.

A seguir, estão listados os pontos e as causas de perdas de água branca relacionados à operação, método e monitoramento verificados durante o acompanhamento da operação da máquina de papel.

- b) Operacionais
 - águas de bombas de vácuo das caixas de sucção das máquinas na seção úmida
 - purga de água desaguada pela prensagem
 - transbordos e drenagens de tanques ou linhas onde as correntes líquidas possuem fibras
 - falhas e descontroles operacionais
 - falta de treinamento e comprometimento da equipe de operação

- condições operacionais inadequadas, máquinas operando acima da capacidade ou em estado de manutenção precário
- realização de operações simultâneas por um operador

c) Método

- método inadequado de trabalho
- cultura do desperdício, que leva em consideração que os recursos naturais são bens infinitos

d) Monitoramento

- falta de instrumentos para monitoramento das variáveis do processo
- falta de indicadores e metas sobre as perdas

3.7.3 Propostas para redução dos efluentes de água branca

Depois das visitas ao processo da máquina de papel e do acompanhamento da operação, propostas para redução dos efluentes de água branca foram apresentadas com o objetivo de reduzir o consumo de água e a perda de fibras.

As propostas apresentadas buscaram atender baixa necessidade de investimento e que não causassem impacto negativo no processo e na qualidade do produto. Com esse critério, propostas foram colocadas na seguinte ordem: primeiramente, alteração de procedimentos operacionais, depois, manobras no processo e, finalmente, modificações do processo.

3.7.4 Monitoramento do Efluente de Água branca

O monitoramento do impacto do fechamento parcial dos circuitos de água branca da máquina de papel por meio de alterações de procedimento operacional e modificações do processo foi feito mediante medidas de vazão, concentração de sólidos, DQO, sólidos totais, dureza total e condutividade elétrica. O monitoramento

iniciou após a implantação da primeira medida para redução do efluente de água branca sendo executado num período de 9 meses.

Os valores de vazão foram obtidos por médias diárias das leituras do sistema PIMS da empresa. Os valores de concentração de sólidos foram determinados a partir de amostras coletadas com frequência horária do efluente de água branca. Os valores de DQO, sólidos totais, dureza total e condutividade elétrica foram obtidos a partir de amostras coletadas semanalmente do efluente de água branca.

O monitoramento da qualidade da água branca em circulação pelo sistema da máquina de papel foi complementado por inspeções visuais do processo durante paradas e procedimentos de limpeza. O objetivo dessa inspeção foi o de detectar visualmente a ocorrência de formação de depósitos de qualquer origem, de incrustações e de corrosão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA

A caracterização inicial do efluente de água branca foi feita durante 30 dias. As medidas realizadas foram vazão, concentração de sólidos, DQO, sólidos totais, dureza total e condutividade elétrica. As amostras para as medidas de concentração foram tomadas com frequência horária, o que totalizou 720 resultados.

A leitura de vazão foi obtida do sistema PIMS da empresa. As amostras para as medidas de DQO, sólidos totais, dureza total e condutividade elétrica foram tomadas com frequência semanal.

4.1.1. Vazão, Concentração e Perda de Fibra

Na TABELA 8 encontra-se apresentada uma parte dos dados de concentração de fibras na suspensão e da vazão do efluente de água branca.

TABELA 8 - MÉDIAS DIÁRIAS DOS RESULTADOS DE VAZÃO VOLUMÉTRICA E CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS DA CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA (continua)

Vazão do Efluente ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	Concentração ($\text{kg}.\text{m}^{-3}$)
545,871	0,466
582,269	0,37
517,941	0,427
502,473	0,39
514,38	0,798
500,341	0,459
495,308	0,446
544,387	0,374
527,013	0,502
128,15	0,64

TABELA 8 - RESULTADOS MÉDIOS DIÁRIOS DE VAZÃO VOLUMÉTRICA E CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS DA CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA (conclusão)

Vazão do Efluente ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	Concentração (% em massa)
344,427	0,253
597,485	0,295
607,161	0,443
535,764	0,373
567,777	0,465
573,599	0,372
482,473	0,399
477,259	0,300
503,019	0,351
478,18	0,302

FONTE: PIMS/O autor (2010)

Observando-se os dados de vazão volumétrica e de concentração de sólidos na TABELA 8 pode-se verificar a dispersão dos dados. Na FIGURA 18 pode-se observar a relação entre a vazão e a concentração em massa dos sólidos do efluente de água branca da máquina de papel com os mesmos dados da TABELA 8.

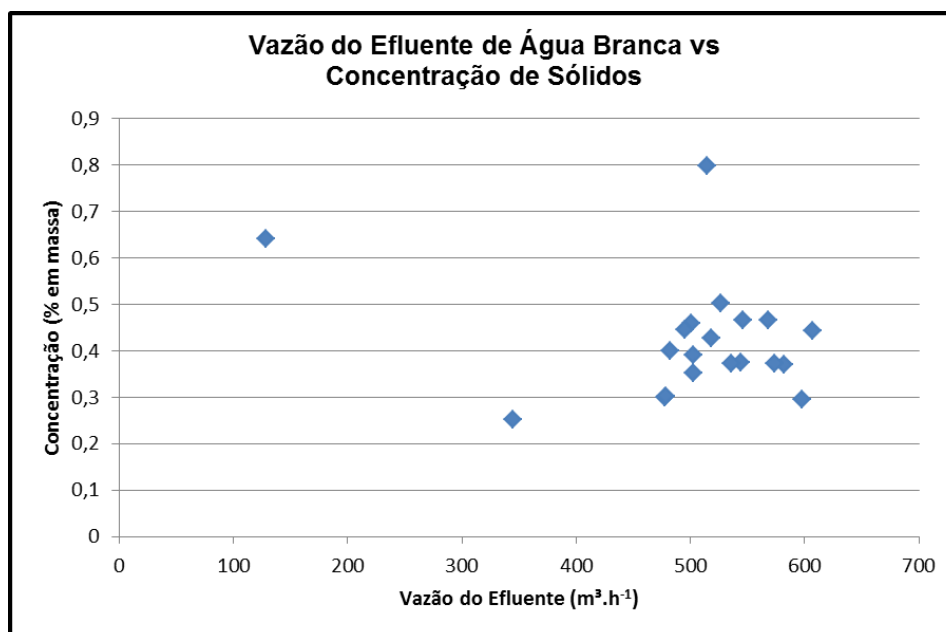


FIGURA 18 - VAZÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA *VERSUS* CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS NA SUSPENSÃO

FONTE: O autor (2010)

Observando os dados da FIGURA 18 pode-se verificar que a maior frequência da concentração se encontra em torno de $0,4 \text{ kg.m}^{-3}$. Em relação à vazão, pode-se observar que os valores dos resultados apresentam maior frequência em torno de $500 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$.

A análise estatística foi feita com os dados na TABELA 14, onde se encontram as médias semanais dos parâmetros medidos.

Na TABELA 9 encontram-se os resultados médios das medidas iniciais da concentração e da vazão do efluente de água branca, antes da implantação das alterações e modificações no processo; também se encontram expostos os resultados calculados das médias da perda de fibra absoluta e específica.

TABELA 9 – VALORES MÉDIOS DE VAZÃO, CONCENTRAÇÃO E PERDA DE FIBRA REFERENTES À CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA

Vazão ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$)	469,789
Concentração (% em massa)	0,0427
Perda média de fibra (t.d^{-1})	4,811
Perda específica média (%)	1,46

FONTE:O autor (2010)

De acordo com a TABELA 9, a média estatística do conjunto de dados de concentração de sólidos é 0,0427% (em massa) e a média estatística do conjunto de dados é $469,79 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$.

Os valores obtidos das medidas de vazão, concentração e perda de fibra expostos na TABELA 9 confirmaram os dados históricos da máquina de papel referentes a período de um ano de operação e também os valores obtidos pela empresa que empregou o mesmo procedimento adotado nesse estudo.

Os valores da TABELA 9 serviram de referência para o acompanhamento e monitoramento do processo a partir da implantação das alterações de procedimento operacional e modificações do processo para redução do efluente de água branca.

Todos os valores contidos na TABELA 9 mostram grande oportunidade de redução do consumo de água e da perda de fibra por meio de fechamento parcial do circuito de água branca mediante alterações de procedimento operacional e modificações do processo.

De acordo com a TABELA 9, o valor de vazão, de maneira isolada, mostrou grande possibilidade de redução do consumo de água. O valor vazão de $469,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ obtido pela média de 30 dias de leitura mostrou-se parâmetro representativo, uma vez que valores próximos, entretanto abaixo desse, foram obtidos durante nove meses de acompanhamento da máquina de papel, como resultado das alterações e modificações implantadas para redução do efluente de água branca.

A análise dos valores expostos na TABELA 9, referentes às medidas realizadas no efluente de água branca da máquina de papel, mostrou consumo específico de água de $31,75 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$, em relação apenas à água do efluente de água branca.

De acordo com Bachmann (2009), o limite superior de consumo específico de água para máquinas de papel é de $15 \text{ m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$. Esse resultado mostrou significativa oportunidade de redução do consumo de água pela máquina de papel, com correspondente oportunidade de redução da perda de fibra por meio da redução dos efluentes de água branca.

O valor de perda específica – 1,46% - encontrou-se dentro dos limites considerados *benchmarking*, aceitos para a fabricação de papel, entretanto indicou possibilidade de redução.

A concentração do efluente apresentou valores normais, próximos a 10% da concentração da caixa de entrada, sem considerar a diluição proporcionada pela vazão. Como resultado do elevado valor de vazão, mesmo valores aceitáveis de concentração correspondem a elevada perda de fibra.

4.1.2 DQO, Sólidos Totais, Dureza Total e Condutividade

Os resultados das medidas de DQO, sólidos totais, dureza e condutividade elétrica referentes à caracterização inicial do efluente de água branca encontram-se expostos na TABELA 10.

TABELA 10 - VALORES DE DBO, DQO, SÓLIDOS TOTAIS, DUREZA TOTAL E CONDUTIVIDADE REFERENTES À CARACTERIZAÇÃO INICIAL DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA EM COMPARAÇÃO COM ÁGUA BRANCA REUSADA E EM CIRCULAÇÃO EM CIRCUITO FECHADO

	Média dos ensaios iniciais	Água reusada para selagem e refrigeração (NCASI)*	Água branca em circulação em circuito fechado (HABETS)**
DQO (ppm)	853		35000
Sólidos totais (ppm)	1260	1066-1071	
Dureza (ppm CaCO ₃)	125	114-141	
Condutividade Elétrica (μS.cm ⁻¹)	1453	95,0-111,5	9000

* dados levantados de 25 fábricas que reusaram água branca

** fabricação de papel com aparas

FONTE: O autor (2010)

De acordo com os parâmetros da NCASI para água branca reusada para selagem e refrigeração e com Habets (1997) que fornece dados da água branca em circulação através de máquina de papel que usa aparas como matéria-prima, a análise dos valores constantes da TABELA 10 não indica potenciais de formação de depósitos orgânicos, de formação de incrustações ou potencial de corrosão.

O valor de DQO (853 ppm) que indica potencial de formação de depósitos e de incrustações está muito abaixo do valor encontrado na água branca em circulação por máquina de papel com circuito fechado de água branca que emprega aparas como matéria-prima fibrosa (35000 ppm).

O valor médio inicial de dureza (125 ppm), quando comparado aos dados da água branca reusada para selagem e refrigeração de acordo com NCASI, não indicou potencial de incrustação.

O valor médio inicial de condutividade elétrica ($1453 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) não indicou potencial corrosivo, em comparação com o valor de condutividade da água branca em máquina de papel que empregava papel reciclado como matéria-prima e que operava em circuito fechado.

4.2 RESULTADOS DO ESTUDO DA REDUÇÃO DOS EFLUENTES DE ÁGUA BRANCA

4.2.1 Descrição do Processo da Máquina de Papel

A FIGURA 19 mostra as correntes de suspensão fibrosa e de água através do preparo de massa, do circuito de aproximação e da seção de formação.

De acordo com a FIGURA 19, o preparo de massa começa pela linha primária que recebe massa da torre 1, que armazena a polpa composta de fibra reciclada dos outros processos à concentração de 4,8% (em massa). A polpa é armazenada no tanque de matéria-prima 1. À saída do tanque de matéria-prima 1, a suspensão fibrosa é diluída para a concentração de 4% (em massa) com água branca recirculada da máquina de papel.

A análise da FIGURA 19 permite observar que após a passagem através do refinador 1, a suspensão é enviada para o tanque 3. A suspensão armazenada no tanque 3 recebe água branca do tanque da tela (circulação primária) na sucção da bomba de mistura. A bomba de mistura tem capacidade hidráulica de 42820 L/min ($2569,2 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$).

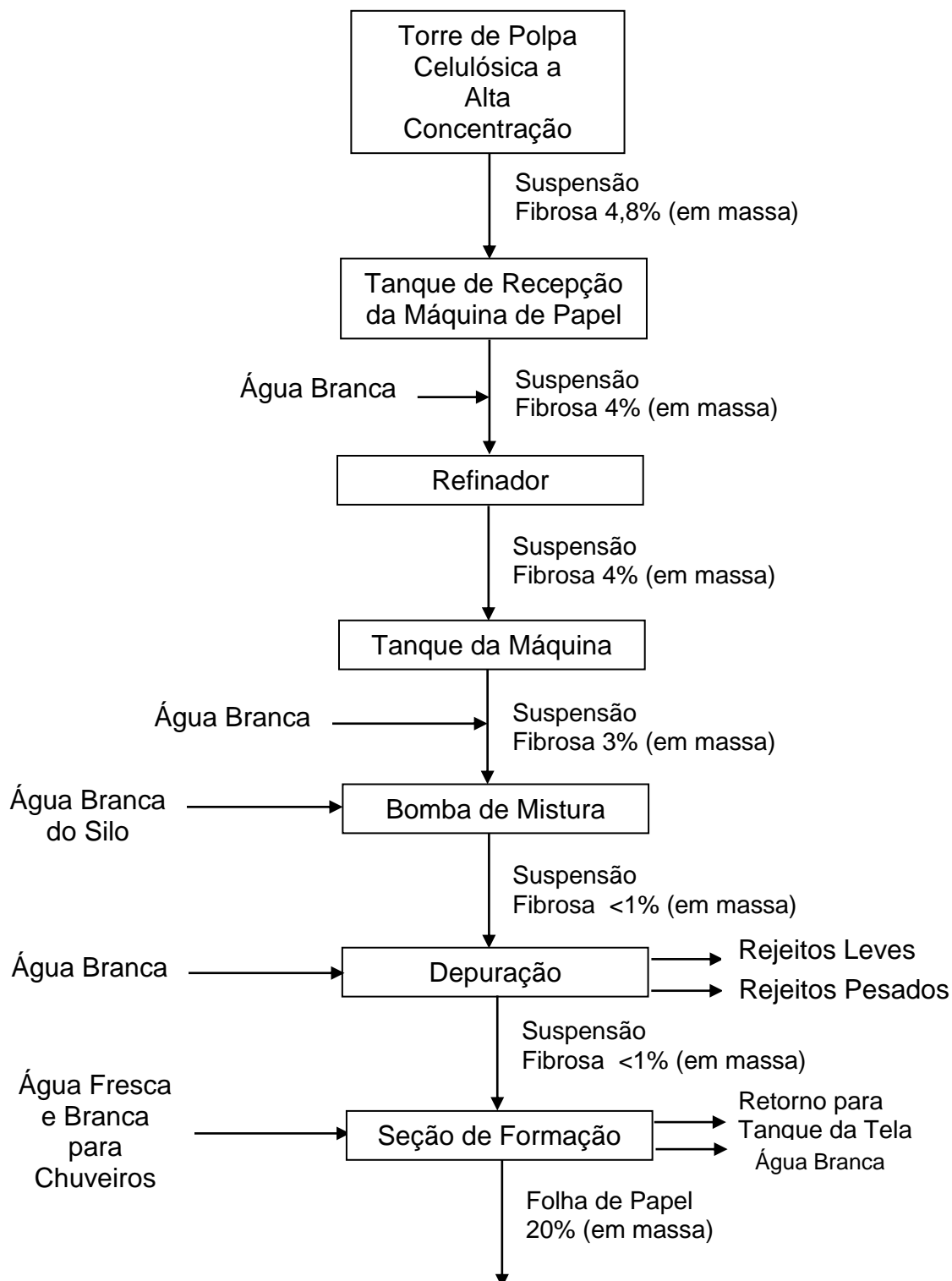


FIGURA 19 - CORRENTES LÍQUIDAS DE POLPA CELULÓSICA E DE ÁGUA ATRAVÉS DO PREPARO DE MASSA E SEÇÃO DE FORMAÇÃO DA MÁQUINA DE PAPEL

FONTE: O autor (2010)

O diagrama de blocos exposto na FIGURA 19 indica que a suspensão recalçada pela bomba de mistura com concentração de 0,7% (em massa) supre o depurador pressurizado centrífugo. A corrente líquida de aceite do depurador é enviada à caixa de entrada.

Observa-se ainda que a linha secundária recebe massa da torre 2, polpa composta de fibra virgem curta e longa à concentração de 4,8% (em massa). A polpa é armazenada no tanque de matéria-prima 2. À saída do tanque de matéria-prima 2, a suspensão fibrosa é diluída para concentração de 4% (em massa) com água branca do processo.

Após passagem através do refinador 2, a suspensão é enviada para o tanque 4. A suspensão armazenada no tanque 4 passa através do tanque de água branca da linha secundária sendo recalçada pela bomba de mistura. A capacidade hidráulica da bomba de mistura é $17000 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ($1020 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$).

A bomba de mistura recalca a suspensão através do depurador pressurizado centrífugo à concentração média de 0,6% (em massa). A corrente líquida de aceite do depurador é enviada à caixa de entrada.

As correntes líquidas de água branca das linhas primária e secundária guardam semelhanças. A circulação primária das linhas primária e secundária se compõe das correntes líquidas de água branca drenadas na mesa plana. As correntes líquidas drenadas são direcionadas aos silos de água branca. As correntes líquidas de suspensão dos tanques 3 e 4 são respectivamente diluídas por água branca estocada nos silos de água branca das linhas primária e secundária.

Os outros reservatórios de suspensão fibrosa que se localizam na parte da parte úmida da máquina de papel são o tanque do rolo de sucção, o tanque da enroladeira, o desagregador, o filtro engrossador, o tanque 5.e a torre 3.

A torre 3 recebe todas as correntes de suspensão de fibras do circuito de aproximação da máquina de papel. As correntes de suspensão são provenientes do tanque do rolo de sucção, da enroladeira, do desagregador e do tanque 5 (FIGURA 20).

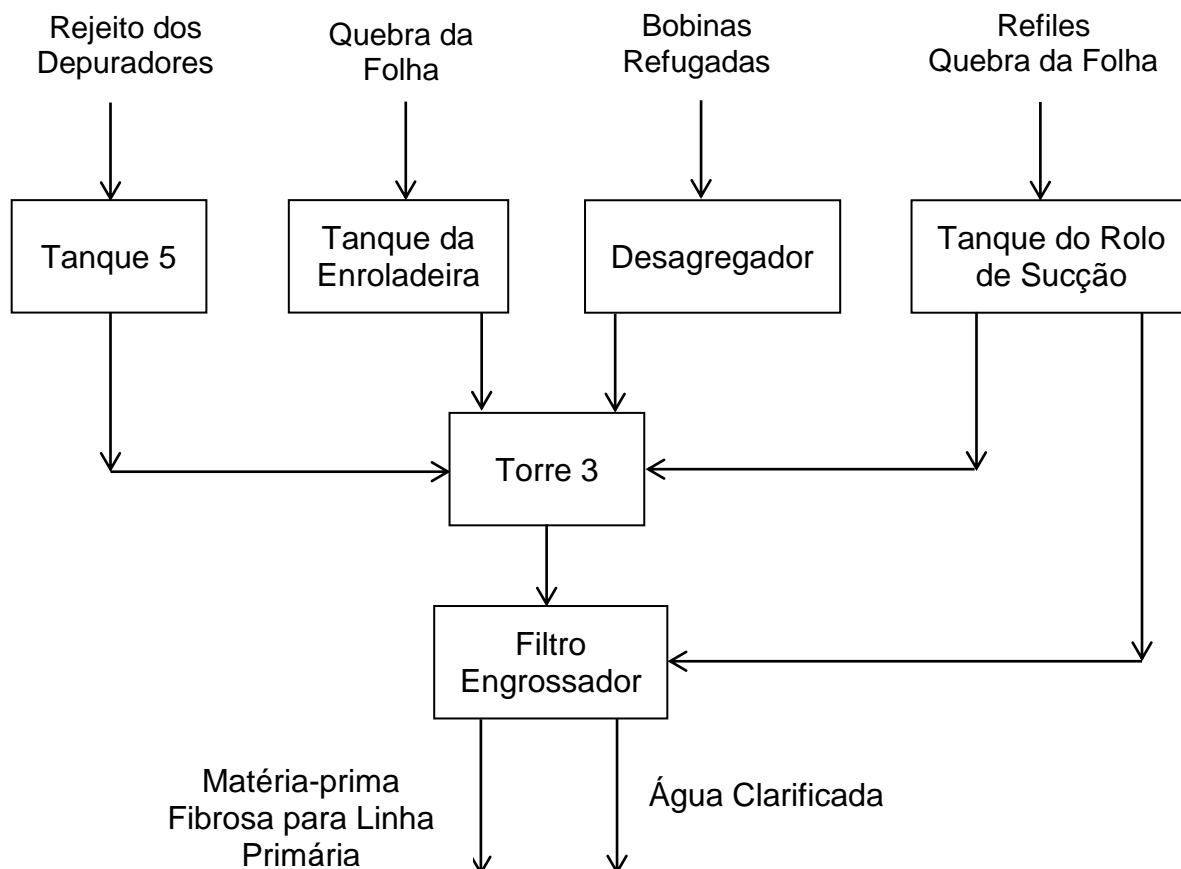


FIGURA 20 - REPROCESSAMENTO DA MATÉRIA-PRIMA FIBROSA DA PARTE ÚMIDA E DO FINAL DA MÁQUINA DE PAPEL

FONTE: O autor (2010)

A análise da FIGURA 20 mostrou a torre 3 como ponto crítico no estudo sobre a geração de efluentes de água branca, pois centraliza todos as correntes dos tanques do preparo de massa da máquina de papel. Essa condição torna a torre 3 um pulmão para reprocessamento das perdas, caracterizadas por excessos e transbordos de água branca gerados em outros tanques e refugos oriundos das quebras do papel.

Se a torre 3 não apresentar capacidade para absorver a vazão total das correntes de suspensão fibrosa e água branca de outros tanques, ocorrem transbordos na torre 3 ou nos tanques que a abastecem. A partir da torre 3, a suspensão de fibras é enviada ao filtro engrossador, o qual, após reprocessamento,

reintroduz a matéria-prima fibrosa no processo à concentração de 5% (em massa), através do tanque de matéria-prima da linha primária.

O tanque do rolo de sucção recebe a folha de papel à concentração média de 20% durante o reinício da máquina e na eventualidade de quebras. Chuveiros são ligados para fornecer água de diluição. A suspensão fibrosa à concentração de 5% (em massa) é bombeada para a torre 3.

Existe alternativa para enviar a suspensão diretamente do tanque do rolo de sucção ao filtro engrossador na eventualidade de a torre 3 encontrar-se com excesso de nível, a partir dos 85% do nível máximo de operação.

O tanque 5 recebe as correntes líquidas de rejeito dos depuradores das suspensões de fibras das linhas primária e secundária. O tanque 5 envia a suspensão dos rejeitos dos depuradores à torre 3.

O tanque da enroladeira recolhe as quebras da folha de papel na enroladeira e as dispersa até concentração de 5% (em massa). O desagregador reprocessa as bobinas refugadas por falta de qualidade. As correntes líquidas de suspensão do tanque da enroladeira e do desagregador têm concentração de 5% (em massa).

O filtro engrossador do tipo tambor recebe as correntes líquidas de suspensão da torre 3 e do tanque do rolo de sucção. A água branca filtrada é enviada ao tanque de água branca da linha primária. A polpa recuperada abastece o tanque de matéria prima 1 da linha primária.

O retorno de todas as correntes líquidas da parte úmida é feito através da linha primária. A corrente líquida da linha primária equivale a 80% do total, o que fornece maior capacidade de absorção para o processo, sem gerar instabilidades.

A partir do preparo de massa (circuito de aproximação), as suspensões de fibra passam através das caixas de entrada e são projetadas sobre a tela da seção de formação. A água branca é drenada por meio de elementos desaguadores mediante forças hidrodinâmicas e por meio de forças de vácuo. Ao final da seção de formação, a concentração da folha de papel é em média de 20% (em massa).

4.2.2 Circulação e Consumo de Água no Sistema da Máquina de Papel

A TABELA 11 mostra os dados de vazão, concentração e perda de fibra correspondentes à caracterização inicial do efluente de água branca, obtidos durante 30 dias com um total de 720 resultados.

TABELA 11 - MÉDIAS DE VAZÃO, CONCENTRAÇÃO E PERDA DE FIBRAS DA MÁQUINA DE PAPEL

Vazão média	Concentração	Perda média de fibras	Perda específica
469,789 m ³ /h	0,0427% (em massa)	4,811 t/d	1,46%

FONTE: O autor (2010)

A análise dos valores da TABELA 11 mostra que a máquina de papel se caracteriza por operar com elevado consumo de água. A vazão média do efluente da água branca é de 469,789 m³/h. A concentração média é de 0,0427% (em massa), valor que pode ser considerado relativamente baixo, sem levar em conta o fator de diluição causado pelo grande volume de água. A perda média de fibras por dia é de 4,811 t, equivalente a 1683,85 t/a, considerando 350 dias de operação.

A TABELA 12 mostra dados de consumo de água fresca e morna na máquina de papel.

TABELA 12 – CONSUMOS MÉDIOS DE ÁGUA FRESCA E MORNA NA MÁQUINA DE PAPEL

Tipo de Água	Uso	Consumo Médio
Fresca	Bomba de vácuo, refrigeração das prensas, chuveiros de lubrificação dos feltros	95 m ³ /h
Morna	Chuveiros formatadores, chuveiros agulha, chuveiros leque, chuveiros destacadores, controle de nível	115 m ³ /h

FONTE: PIMS (2010)

De acordo com a TABELA 12, água morna é empregada para serviços em que pode ser substituída por água branca, como chuveiros leque, chuveiros destacadores e principalmente para controle de nível.

4.2.3 Balanço de Massa no Sistema da Máquina de Papel

Os cálculos apresentados a seguir sobre vazões mássicas de suspensão fibrosa e água branca têm o objetivo de mostrar o volume de água branca em circulação através da parte úmida da máquina de papel.

A concentração da suspensão fibrosa nos tanques de recepção da máquina de papel é, em média, 4,8% (em massa). Após sucessivas diluições, a concentração da suspensão é reduzida para 0,7 % (em massa) na entrada das bombas de mistura das linhas primária e secundária.

A vazão mássica de água branca necessária para a diluição da suspensão estocada nos tanques de recepção é calculada por meio da EQUAÇÃO 12.

$$m_{AB} = m_T (C_T - C_{BM}) / (C_{BM} - C_{AB}) \quad (12)$$

sendo

m_{AB} = vazão mássica de água branca de diluição (t.d⁻¹)

C_{AB} = concentração da água branca de diluição (% em massa)

m_T = vazão mássica de suspensão fibrosa do tanque (t.d⁻¹)

C_T = concentração da suspensão no tanque (% em massa)

m_{BM} = vazão mássica de água recalcada pela bomba (t.d⁻¹)

C_{BM} = concentração da suspensão recalcada pela bomba (% em massa)

Na FIGURA 21 encontra-se exposta a proporção entre a suspensão fibrosa do tanque de matéria-prima e a água branca na linha primária. Para cada tonelada de suspensão armazenada no tanque de matéria-prima da linha primária à concentração de 4,8% (em massa) são necessários 6,238 t de água branca à concentração de 0,0067% (concentração da água branca do tanque da tela, % em massa), O volume de suspensão produzido e que chega à bomba de mistura da linha primária é de 7,477 t à concentração de 0,7% (em massa).

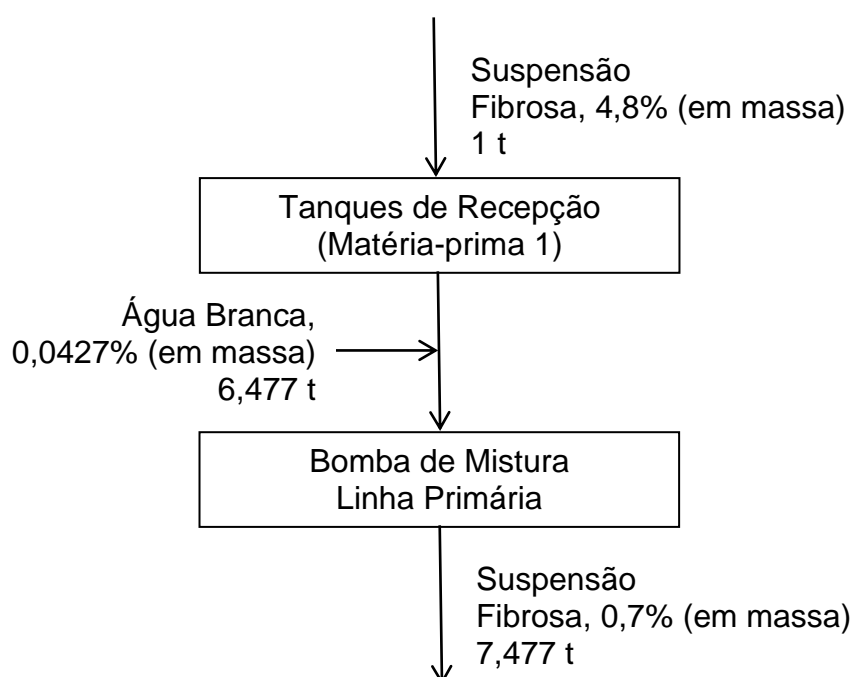


FIGURA 21 - BALANÇO DE MASSA DA CORRENTE LÍQUIDA DE ÁGUA BRANCA E DA SUSPENSÃO FIBROSA ENTRE O TANQUE DE RECEPÇÃO E A BOMBA DE MISTURA DA LINHA PRIMÁRIA

FONTE: O autor (2010)

O jato de suspensão fibrosa projetado a partir da caixa de entrada primária e despejado sobre a mesa plana contém em média 99,3% (em massa) de água.

A maior parte da água contida no jato de suspensão fibrosa é drenada na seção de formação (mesa plana), em média 97,48% (em massa) do total de água a ser removido na máquina de papel; as seções das prensas úmidas e de secagem removem, em conjunto, em média 2,52% (em massa).

De uma extremidade a outra da máquina de papel, a concentração da suspensão fibrosa passa de 0,7% (em massa) na caixa de entrada para um valor médio de 94% (em massa) na enroladeira.

O balanço de sólidos fornece as vazões mássicas de água branca drenadas nas seções de formação e prensagem, a vazão mássica de vapor removida da folha de papel na seção de secagem e as vazões mássicas da folha de papel entre as seções da máquina de papel.

Os valores de entrada são:

- produção média em 350 dias: 351,43 t.d⁻¹
- concentração do papel na enroladeira: 94% (em massa)
- concentração da folha de papel na saída das prensas: 35% (em massa)
- concentração da água branca drenada na seção das prensas: 0% (em massa)
- concentração da folha de papel na saída da seção de formação: 20% (em massa)
- concentração da água branca no tanque da tela: 0,067% (em massa)

A vazão de água branca drenado da seção de formação faz parte das circulações primária e secundária. As vazões de água fresca e morna usadas nos chuveiros da tela e dos feltros e para refrigeração das prensas totalizam 5400 t/d são incorporados à vazão mássica de água branca. A vazão de água drenada na seção das prensas irá integrar a circulação secundária.

Na FIGURA 22 encontram-se indicados os valores derivados do balanço de vazões mássicas de suspensão fibrosa, água branca e da folha de papel através da máquina de papel.

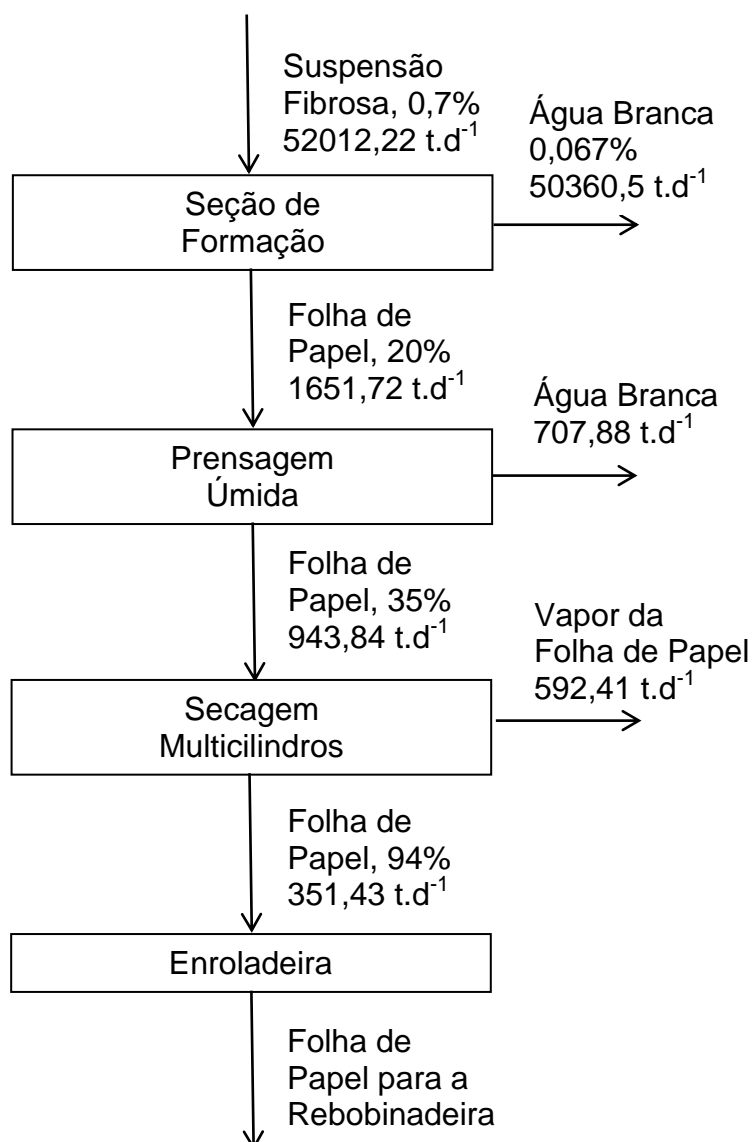


FIGURA 22 - BALANÇO DAS VAZÕES MÁSSICAS DE ÁGUA BRANCA E DE VAPOR REMOVIDAS ENTRE A SEÇÃO DE FORMAÇÃO E A ENROLADEIRA

FONTE: O autor (2010)

De acordo com a análise dos valores apresentados na FIGURA 22, que mostra grandes vazões de suspensão fibrosa e de água branca, confirmou-se a necessidade de limitar e reduzir o consumo de água no para atender as demandas intrínsecas do processo.

A TABELA 13 exhibe as vazões mássicas retiradas em cada seção da máquina de papel e seus respectivos percentuais.

TABELA 13 – VAZÕES MÁSSICAS DE ÁGUA BRANCA E VAPOR REMOVIDAS NA MÁQUINA DE PAPEL

Seção	Formação	Prensagem	Secagem
Remoção absoluta, t.d ⁻¹	50360,5	707,88	592,41
Remoção percentual, %	97,48	1,37	1,15

FONTE: O autor (2010)

A análise dos dados da TABELA 13 mostra a grande proporção de água a ser reintegrada e manipulada na parte úmida da máquina de papel, particularmente no circuito de aproximação. A essa vazão de água branca drenada na seção de formação somam-se as vazões provenientes do preparo de massa.

A quantidade de sólidos que acompanha a água branca drenada através da tela formadora e que se deposita no tanque da tela é calculada multiplicando-se a concentração absoluta pela vazão de água branca:

$$0,067 \% \text{ (em massa)} \cdot 50360,5 \text{ t.d}^{-1} = 33,74 \text{ t.d}^{-1}$$

A parte úmida da máquina tem a função de manipular grandes volumes de água e massas de sólidos. Os resultados de caracterização das correntes líquidas dos efluentes de água branca apontaram consumo médio de água da máquina de papel de 31,75 m³.t⁻¹, considerando apenas a água que faz parte do efluente de água branca. O limite superior é de 15 m³.t⁻¹ (BACHMANN, 2009). Se considerada a vazão de vapor removida da folha de papel na seção de secagem – 592,41 t.d⁻¹, o consumo médio de água sobe para 32,22 m³.t⁻¹ de papel.

Esses valores mostraram a importância de se buscar a redução do consumo e da perda de água com correspondente redução da perda de fibra, justificado pelas grandes quantidades de água e de sólidos (fibras) em circulação.

4.2.4 Medidas para a Redução do Efluente de Água Branca

A identificação dos pontos e causas de geração de efluentes de água branca foi suportada por meio de visitas ao processo da máquina de papel, acompanhamento da operação, consulta de documentos do arquivo técnico da empresa e dos fluxogramas eletrônicos da máquina de papel. Os pontos de perdas de fibra e de água identificados encontram-se expostos na FIGURA 23.

Após a identificação dos pontos e causas de geração de efluentes de água branca, propostas de alteração do procedimento operacional foram primeiramente apresentadas para reduzir a perda de água branca, o que se traduz em custo zero de investimento.

A seguir, alterações referentes a manobras no processo e substituição de equipamentos foram propostas. As manobras correspondem à instalação de tubulações para conectar pontos do processo. Essas duas alternativas foram consideradas de baixo custo.

Finalmente, oportunidades relacionadas à modificação do processo foram identificadas, com um custo superior em relação àquelas de modificação do procedimento operacional, mas ainda consideradas de baixo custo.

As medidas apresentadas para reduzir os efluentes de água branca satisfizeram o conceito de que as perdas devem ser sanadas onde elas acontecem, quer dizer na própria fonte geradora. As modificações e alterações propostas foram executadas gradativamente, em ordem crescente de dificuldade de implantação.

De acordo com a FIGURA 23, os pontos de geração de efluentes detectados foram transbordo do filtro engrossador da linha primária, transbordo do tanque de água branca da linha primária, transbordo do tanque de água branca da linha

secundária, transbordo do tanque de refugo da enroladeira, transbordo da torre 3, dreno do tanque do rolo de sucção, dreno da torre 3, dreno do tanque da enroladeira e dreno do tanque 5.

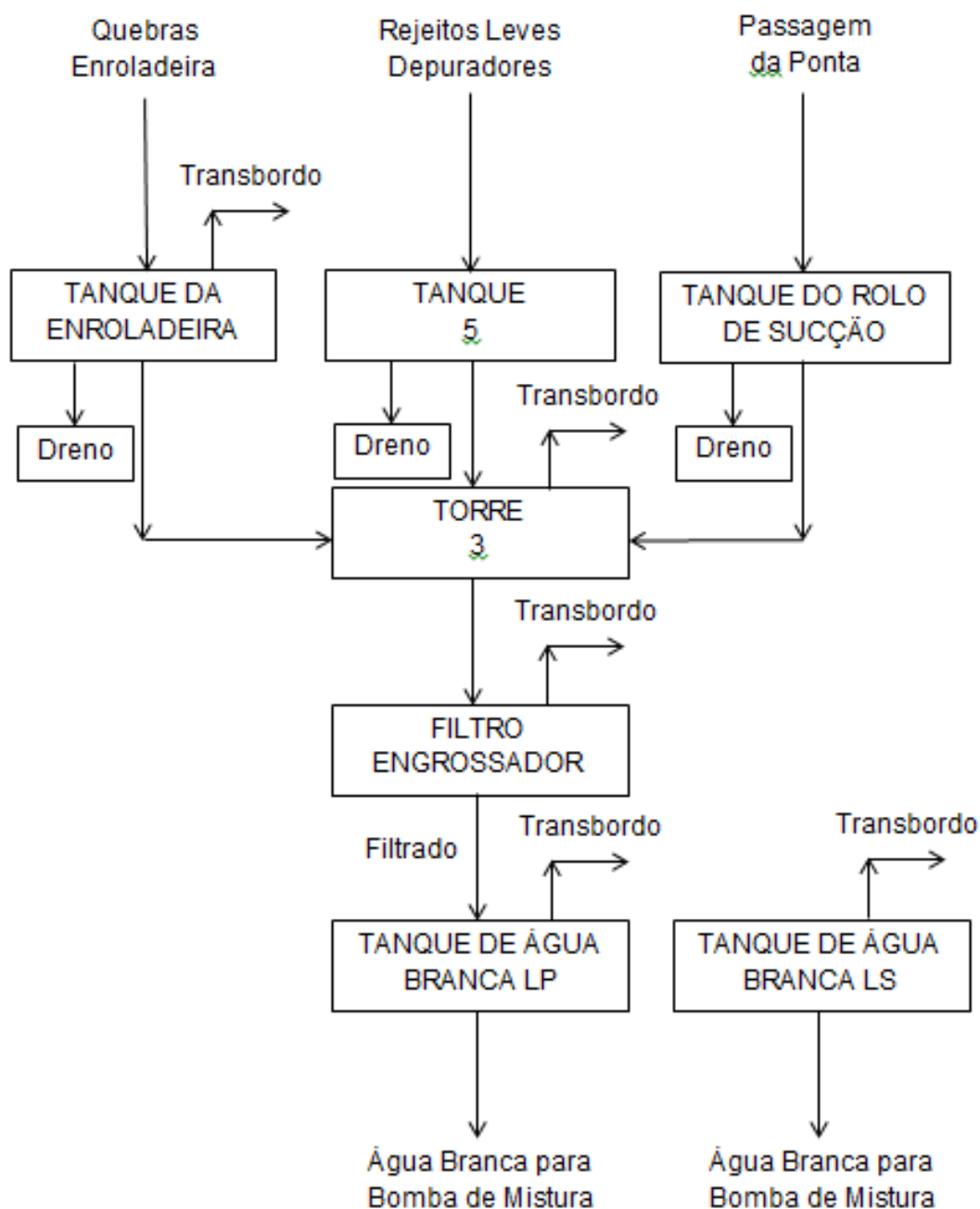


FIGURA 23 – PONTOS DE GERAÇÃO DE EFLUENTES NA PARTE ÚMIDA DA MÁQUINA DE PAPEL

FONTE: O autor (2010)

O transbordo do tanque de refugo da enroladeira era causado pelo entupimento da peneira quando o nível ficava abaixo dos 35%. A medida proposta (ação 1) foi adotar padrão para controle do nível e para operação da bomba do tanque por meio do SDCD (Sistema Digital de Controle Distribuído). A operação do nível do tanque da enroladeira foi fixado a um mínimo de 40% do nível de operação máximo.

Os efluentes de água branca devidos aos drenos do tanque do rolo de sucção e do tanque 5 decorriam de procedimento operacional e ocorriam na eventualidade de quebras da folha de papel e reinícios da produção da máquina.

A proposta para conter o efluente de água branca através do dreno do tanque do rolo de sucção e do tanque 5 foi mudar o procedimento operacional, o que dependia de alteração no processo.

A razão para manter os drenos abertos se deve a torre 3 estar cheia (100% do nível) ou com nível alto (85%) e a bomba ter capacidade limitada de bombeamento. A torre 3 recebe todas as correntes de suspensão fibrosa da parte úmida e as envia ao filtro engrossador. Dessa maneira, manter os drenos abertos era medida preventiva, o que evitava o transbordo na torre. Entretanto, as perdas de suspensão aconteciam no tanque do rolo de sucção e no tanque 5 a uma concentração elevada, aproximadamente 5% (em massa).

A proposta apresentada foi de substituição da bomba da torre 3 por outra de maior capacidade (ação 2), desta maneira o recurso de abrir os drenos do tanque do rolo de sucção e do tanque 5 pode ser eliminado. Como consequência da substituição da bomba houve redução do nível operacional da torre para 60%.

O transbordo do tanque (poço) de água branca da linha secundária é causado por excesso de água branca. Duas medidas foram identificadas para reduzir o transbordo e diminuir a respectiva geração do efluente de água branca.

Uma das medidas foi substituir parte da água morna que supre o silo primário por água branca da linha secundária (ação 3). Outra medida foi controlar a concentração do tanque de matéria-prima 1 com água branca da linha secundária (ação 4).

Além da redução do efluente de água branca proporcionada pelo reuso do transbordo do poço de água branca da linha secundária, resultado significativo foi o aumento da qualidade da composição fibrosa da linha primária por meio do reaproveitamento de fibras virgens.

O aumento da qualidade da composição fibrosa foi observado por meio do incremento dos valores das propriedades de resistência do papel, o qual resultou, em média, 1,3%.

O transbordo de fibra no filtro engrossador durante as quebras ocorria devido a não haver controle de nível no filtro engrossador e em função de o operador direcionar a massa diretamente à tina do filtro em virtude de a torre 3 operar a nível elevado (85%). A opção de direcionar a massa diretamente ao filtro tinha a finalidade de reduzir o nível da torre 3, porque a bomba tinha baixa capacidade de bombeamento.

A ação proposta foi de instalar controle de nível da tina do filtro (ação 5). A substituição da bomba da torre 3 por outra de maior capacidade já fora executada.

4.3 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA DECORRENTES DAS ALTERAÇÕES OPERACIONAIS E MODIFICAÇÕES PROCESSUAIS

Na TABELA 14 encontram-se expostos os resultados de Vazão Volumétrica, Perda de Fibra, DQO, Sólidos Totais, Dureza e Condutividade Elétrica medidos durante os 10 meses de acompanhamento do efluente de água branca da máquina de papel.

Os resultados na TABELA 14 representam as médias semanais dos parâmetros medidos do efluente de água branca.

TABELA 14 - RESULTADOS DE VAZÃO VOLUMÉTRICA, PERDA DE FIBRA, DQO, SÓLIDOS TOTAIS, DUREZA E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA OBTIDOS DURANTE O ACOMPANHAMENTO DA QUAI DADE DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA (continua)

Meses	Vazão (m ³ .h ⁻¹)	Perda (t.d ⁻¹)	DQO (ppm)	Sólidos Totais (ppm)	Dureza (ppm)	Condutividade Elétrica (µS.cm ⁻¹)
1	472,3	4,85	853	1240	125	1453
	474,1	4,77	830	1280	118	1390
	465,5	4,75	844	1255	129	1483
	467,3	4,87	835	1265	121	1410
2	465	4,83	843	1245	119	1385
	464	4,69	852	1255	116	1422
	458	4,72	836	1250	120	1464
	457	4,64	842	1260	115	1396
3	456	4,66	839	1270	117	1434
	451	4,7	845	1255	123	1415
	461	4,72	839	1265	110	1376
	450	4,64	846	1240	113	1481
4	453	4,66	849	1250	112	1389
	445	4,62	834	1260	109	1438
	449	4,46	819	1150	114	1405
	449	4,48	829	1200	110	1362
5	444	4,5	806	1160	108	1440
	402	4,5	812	1140	106	1395
	420	4,65	819	1180	112	1455
	426	4,55	804	1200	109	1386
6	429	4,5	809	1160	104	1401
	431	4,3	815	1180	111	1424
	425	4,4	801	1170	108	1414
	423	4,35	813	1150	110	1386
7	427	4,3	815	1160	114	1460
	437	4,25	826	1140	109	1397
	430	4,15	814	1010	112	1610
	434	4,1	790	1020	155	1642
8	425	4,2	794	1000	146	1626
	395	4,25	785	1010	153	1645
	409	4,4	789	990	148	1634
	415	4,35	802	1010	154	1663
9	403	4,25	786	1000	160	1595
	385	4,1	793	960	140	1633
	389	4,05	770	950	145	1615
	393	4,09	785	970	150	1599
10	388	4,15	779	980	146	1645
	410	4,1	765	960	152	1686
	400	4,08	772	950	158	1675
	404	4,2	783	970	147	1643

FONTE: O autor (2011)

Os resultados contidos na TABELA 14 foram analisados estatisticamente por meio do programa STATISTICS da STATGRAPHICS, sendo que se encontram apresentados na TABELA 15 e nas FIGURAS 25, 26 e 27.

4.3.1 Análise Estatística

Na TABELA 15 encontram-se os resultados da análise estatística dos valores de Vazão Volumétrica ($\text{m}^3.\text{h}^{-1}$); Perda de Fibra ($\text{t}.\text{d}^{-1}$); DQO (ppm); Sólidos Totais (ppm); Dureza (ppm) e Condutividade Elétrica ($\mu\text{S}.\text{cm}^{-1}$) resultantes do acompanhamento do efluente de água branca da máquina de papel no período de 10 meses. Os resultados foram obtidos aplicando-se o programa STATISTICS fornecido pela STATGRAPHICS.

TABELA 15 - RESULTADOS DA ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS VALORES DE VAZÃO VOLUMÉTRICA; PERDA DE FIBRA; DQO; SÓLIDOS TOTAIS; DUREZA E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

Estatísticas	Vazão volumétrica	Perda de Fibra	DQO	Sólidos Totais	Dureza	Condutividade Elétrica
Observações	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
Média	432,03	4,45	814,05	1134,00	125,70	1494,30
IC (-95%)	423,65	4,37	805,91	1096,02	119,86	1459,10
IC (+95%)	440,41	4,53	822,19	1171,98	131,54	1529,50
Mediana	430,50	4,47	814,50	1160,00	117,50	1446,50
Frequência	2,00	3,00	2,00	3,00	3,00	2,00
Soma	17281,20	177,83	32562,00	45360,00	5028,00	59772,00
Mínimo	385,00	4,05	765,00	950,00	104,00	1362,00
Máximo	474,10	4,87	853,00	1280,00	160,00	1686,00
Variância	686,53	0,06	647,54	14100,26	333,24	12110,78
Desvio Padrão	26,20	0,25	25,45	118,74	18,25	110,05
Coeficiente de Variação	6,06	5,67	3,13	10,47	14,52	7,36
Skewness	-0,18	-0,01	-0,19	-0,38	0,66	0,54
Kurtosis	-1,12	-1,32	-1,12	-1,52	-1,24	-1,47

FONTE: O autor (2011)

A análise dos resultados expostos na TABELA 15 em comparação com os resultados obtidos na caracterização inicial do efluente de água branca aponta redução dos valores de Vazão, Perda de Fibra, DQO e Sólidos totais; simultaneamente verificou-se aumento dos valores de Dureza e Condutividade Elétrica.

De acordo com os resultados na TABELA 15, os dados de vazão volumétrica apresentaram média de $432,03 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ podendo apresentar variação de $\pm 26,20 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$; os dados de perda de fibra apresentaram média de $4,45 \text{ t.d}^{-1}$ com variação de $\pm 0,25 \text{ t.d}^{-1}$; os dados de DQO apresentaram média de $814,05 \text{ ppm}$ com variação de $\pm 25,45 \text{ ppm}$; os dados de sólidos totais apresentaram média de 1134 ppm com variação de $\pm 118,74 \text{ ppm}$; os dados; os dados de dureza apresentaram média de $125,7 \text{ ppm}$ com variação de $18,25 \text{ ppm}$ e os dados de condutividade elétrica apresentaram média de $1494,3 \text{ }\mu\text{S.cm}^{-1}$ com variação de $110,05 \text{ }\mu\text{S.cm}^{-1}$.

Após terem sido determinadas as médias e os desvios-padrão das variáveis investigadas, determinaram-se as distribuições de frequência das mesmas. Nas FIGURAS 24, 25 e 26 se encontram apresentados os resultados obtidos.

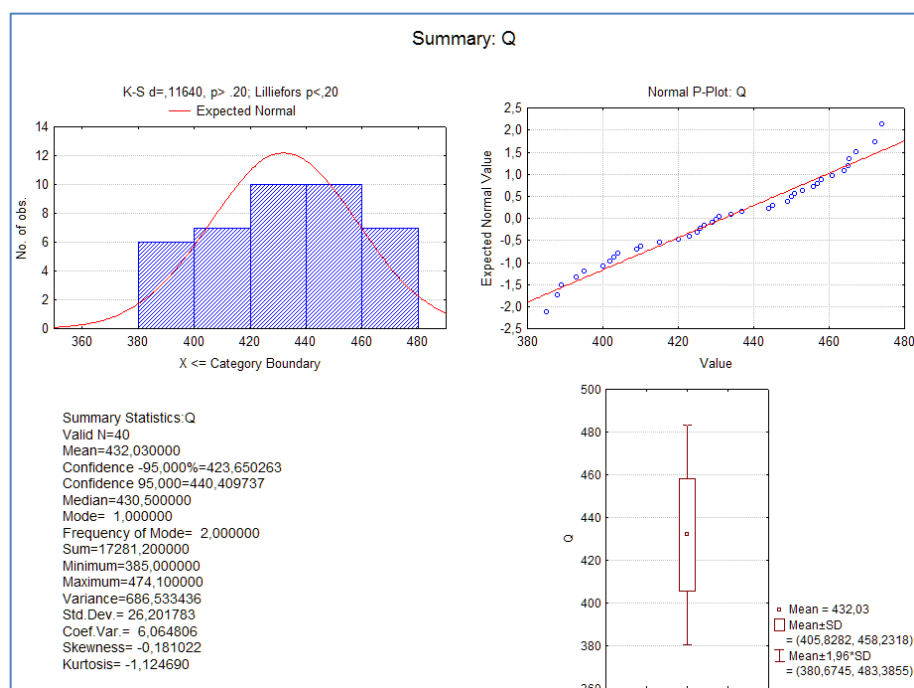


FIGURA 24 – DISTRIBUIÇÃO NORMAL DA VAZÃO VOLUMÉTRICA DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA

FONTE: O autor (2011)

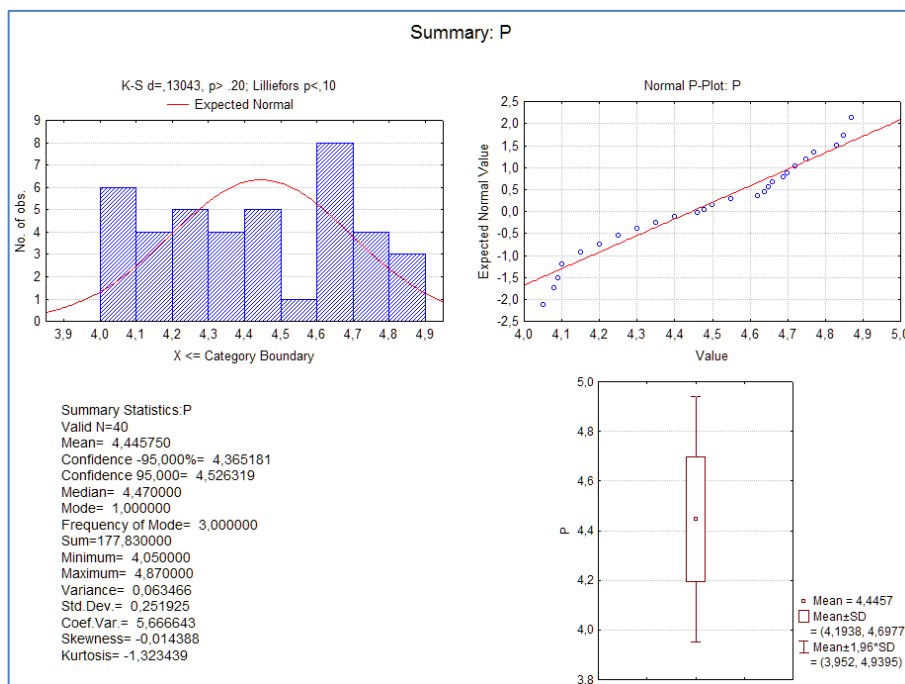


FIGURA 25 – DISTRIBUIÇÃO NORMAL DA PERDA DE FIBRA DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA

FONTE: O autor (2011)

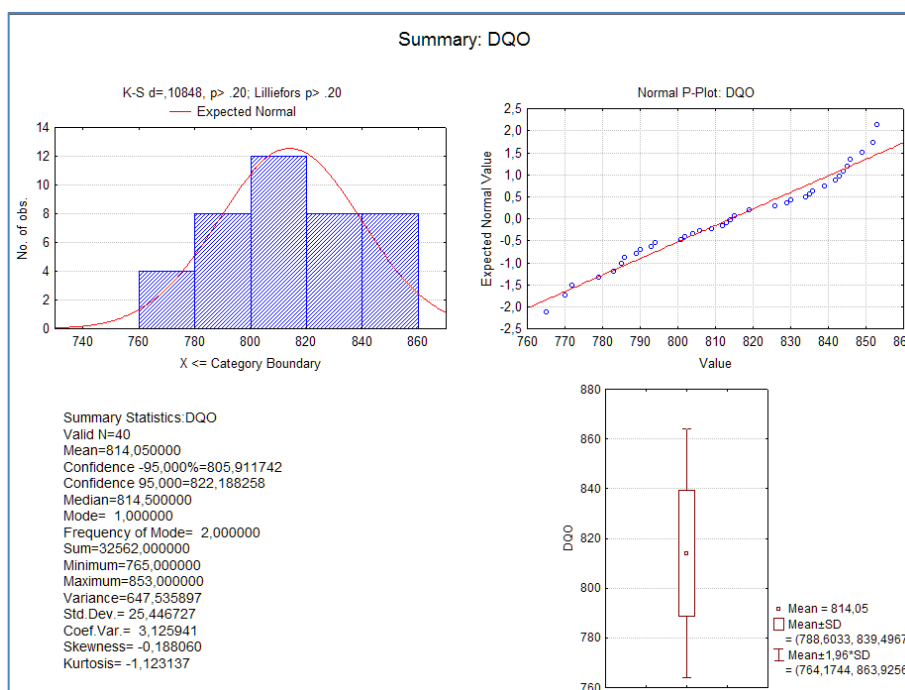


FIGURA 26 – DISTRIBUIÇÃO NORMAL DA DQO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA

FONTE: O autor (2011)

Inspecionando as FIGURAS 24, 25 e 26, verifica-se que as variáveis vazão, perda de fibra e DQO se ajustam à função normal de distribuição de probabilidades, significando que as médias destas variáveis podem ser comparadas. Além disso, os valores dos coeficientes SKEWNESS e CURTOSIS corroboram os resultados ilustrados nas FIGURAS 24, 25 e 26, uma vez que são menores do que dois.

Considerando os resultados obtidos da análise descritiva estatística básica, foram construídos os gráficos que relacionam os valores das vazões com as demais variáveis a serem apresentadas na sequência.

4.3.2 Resultados de Vazão e Perda de Fibra do Efluente de Água Branca

Os resultados de redução da vazão do efluente de água branca e da perda de fibra decorrentes das alterações de procedimento operacional e das modificações do processo encontram-se expostos nas FIGURAS 27 e 28.

Para melhor entendimento do comportamento dos valores de vazão e de perda de fibra, os momentos da implantação das ações para reduzir o efluente de água branca encontram-se listados:

- Ação 1 – eliminação do transbordo do tanque de refugo da enroladeira, a partir do 2º mês
- Ação 2 – eliminação do transbordo da torre 3 e dos drenos do tanque do rolo de sucção e do tanque 5 – a partir do 4º mês
- Ações 3 e 4 – redução da vazão de transbordo do poço de água branca da linha secundária – a partir do 7º mês
- Ação 5 – redução do transbordo do filtro engrossador – a partir do 9º mês

O primeiro mês é o período em que foi realizada a caracterização inicial do efluente de água branca.

Na FIGURA 27 encontra-se indicada a tendência da vazão do efluente de água branca em função das medidas implantadas para eliminação e contenção dos

transbordos. A tendência representada na FIGURA 27 corresponde aos resultados de vazão volumétrica constantes na TABELA 14.

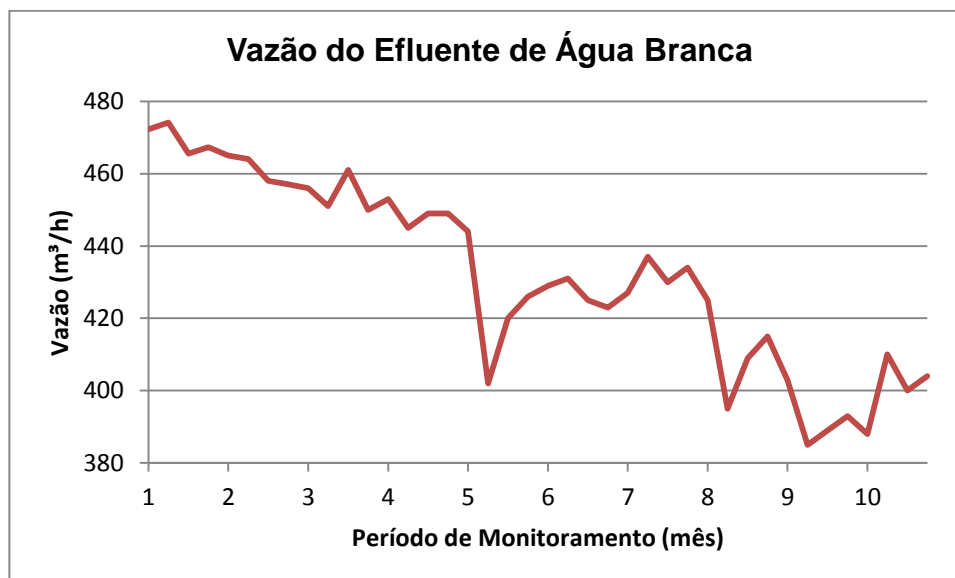


FIGURA 27 – VARIAÇÃO DA VAZÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA COMO RESULTADO DA IMPLANTAÇÃO DAS MEDIDAS PARA REDUÇÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA

FONTE: O autor (2011)

De acordo com análise da FIGURA 27 e com base nos resultados expostos na TABELA 14, verifica-se que nos dois meses subsequentes à implantação da ação 1, houve redução da vazão do efluente de água branca em 1,88 %, de um valor médio de 469,8 para 461 m³.h⁻¹.

Com a implantação da ação 2, a redução acumulada do efluente de água branca foi de 4,4%, de um valor médio de 469,8 para 449 m³.h⁻¹. Individualmente, a ação 2 foi mais significativa que a ação 1, porque eliminou o transbordo da torre 3 que ocorria com mais frequência em relação ao do tanque de refugo da enroladeira. A redução de vazão correspondente à ação 2 foi de 2,4% em relação à vazão original.

As ações 3 e 4 em conjunto provocaram a redução de mais 5,6% da vazão do efluente de água branca. A redução do transbordo do poço de água branca da

linha secundária é mais significativa que os resultados das ações 1 e 2, por se tratar de transbordo contínuo de grande vazão. As quatro ações acumularam redução de 10% do efluente, de um valor médio de 469,8 para um valor mínimo de 423 m³.h⁻¹.

O resultado da implantação da ação 5 foi a estabilização da vazão do efluente para um valor médio de 400 m³.h⁻¹. A redução individual correspondente à ação 5 foi de 4,8%, o que é um resultado muito significativo por corresponder a transbordo contínuo.

Durante o período de dez meses no qual se acompanharam os resultados das alterações e modificações no processo, a redução da vazão do efluente foi de 14,8%, de um valor médio de 469,8 m³.h⁻¹ para 400 m³.h⁻¹.

Na FIGURA 28 encontra-se indicada a tendência da perda de fibra a partir das alterações e modificações implantadas para reduzir o efluente de água branca. A tendência representada na FIGURA 28 corresponde aos resultados de perda de fibra constantes na TABELA 14.

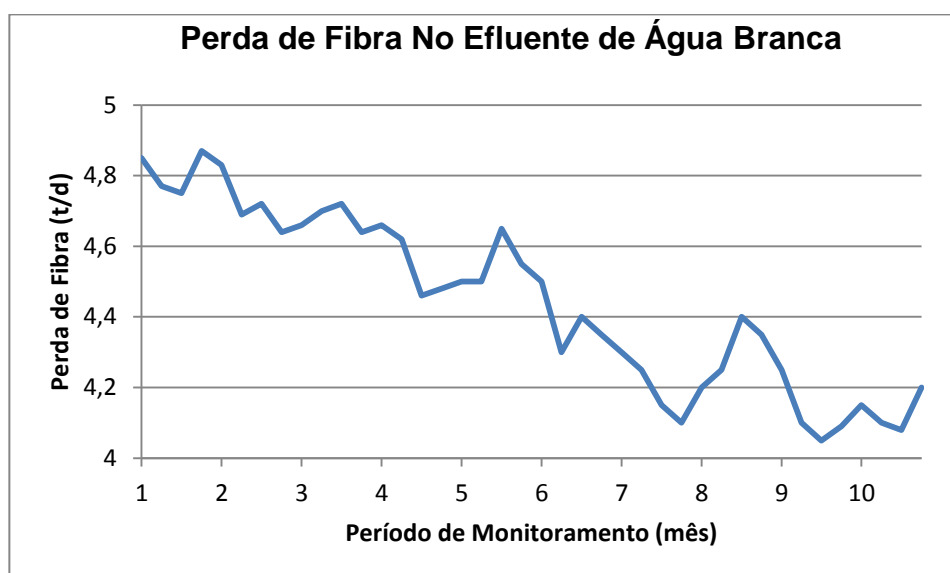


FIGURA 28 – VARIAÇÃO DA PERDA DE FIBRA DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA COMO RESULTADO DA IMPLANTAÇÃO DAS MEDIDAS PARA REDUÇÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA

FONTE: O autor (2011)

De acordo com análise da FIGURA 28 e com os resultados da TABELA 14, verifica-se que a redução da perda de fibra correspondente à ação 1 foi de 2%, de uma média de 4,811 t/d referente à caracterização inicial do efluente para 4,715 t/d. A redução da perda de fibra correspondente à ação 2 foi de 3,8%. A redução da perda de fibra acumulada das ações 1 e 2 foi de 5,8%, de 4,811 para 4,53 t/d.

Com base nos resultados de perda de fibra da TABELA 14, verifica-se que a redução de perda de fibra correspondente às ações 3 e 4 totalizaram 3,8%. A redução acumulada de perda de fibra correspondente às quatro ações em conjunto foi de 9,6%, de 4,811 para 4,35 t/d. A redução da perda de fibra correspondente à ação 5 foi de 3,1%.

Durante o período de nove meses no qual se acompanharam os resultados no processo, a redução da perda de fibra através do efluente da máquina de papel forneceu uma média de 13,7%, com a consideração de que a perda de fibra média tende a se estabilizar em 4,2 t/d.

Na TABELA 16 encontram-se os resultados absolutos e relativos da redução do efluente de água branca em função das medidas implantadas, sendo que os resultados estão relacionados a ações individuais e também cumulativamente.

TABELA 16 – REDUÇÃO DA VAZÃO DO EFLUENTE E DA PERDA DE FIBRA

Medida	Redução da vazão do efluente		Redução da perda de fibra	
	Absoluta ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	Relativa (%)	Absoluta ($\text{t} \cdot \text{d}^{-1}$)	Relativa (%)
Ação 1	8,8	1,88	0,096	2,00
Ação 2	12,0	2,40	0,185	3,80
Ações 1 e 2	20,8	4,28	0,281	5,80
Ações 3 e 4*	26,0	5,60	0,180	3,80
Ações 1,2,3 e 4	46,8	10,00	0,461	9,60
Ação 5	23,0	4,80	0,150	3,10
Ações 1,2,3,4 e 5	69,8	14,8	0,611	13,7

* ações implantadas simultaneamente

FONTE: O autor (2011)

De acordo com a análise dos resultados na TABELA 16 verifica-se a redução do efluente de água branca à medida que as ações foram implantadas, permitindo observar que os resultados mais significativos correspondem aos pontos onde os transbordos eram contínuos antes da implantação das medidas.

Com os resultados expostos na TABELA 16, verifica-se que a implantação das medidas 3 e 4 para diminuir o transbordo do poço de água branca da linha secundária reduziu a vazão do efluente em 26,0 m³/h e a perda de fibra em 180 kg/d. Pode-se observar também que a implantação da medida 5 para conter o transbordo do filtro engrossador, reduziu a vazão do efluente em 23 m³/h e a perda de fibra em 150 kg/d.

Fazendo uma análise geral dos resultados da TABELA 16 referentes à vazão do efluente de água branca e da perda de fibra verifica-se que há uma efetiva tendência de redução, confirmada pelo período de dez meses de monitoramento. De acordo com os resultados, as reduções globais obtidas de 14,8% da vazão do efluente e de 13,7% da perda de fibra são muito significativas.

Na FIGURA 29 encontra-se exposta a superfície de contorno que relaciona a Perda de Fibra com a Vazão Volumétrica do Efluente no decorrer dos 10 meses de acompanhamento do efluente de água branca. Os resultados da Perda de Fibra encontram-se identificados pelos pontos brancos, sendo que seus valores podem ser acompanhados através da legenda.

A análise dos resultados da FIGURA 29 permite visualizar a tendência de queda da Perda de Fibra a partir da primeira modificação implantada no processo no segundo mês desse estudo, podendo se observar a mesma tendência com a implantação das demais modificações. A análise da FIGURA 29 permite observar que existe uma relação direta entre a Vazão Volumétrica e a Perda de Fibra.

As medidas implantadas visando à redução do efluente de água branca e da perda de fibra foram relativamente de baixo custo tendo em vista a complexidade e a dimensão da máquina de papel que foi objeto do estudo, o que fica claro que há ainda oportunidades de melhorias. Resultados mais significativos poderão ser obtidos com incremento da tecnologia do processo, o que inclui sistema de recuperação de fibras.

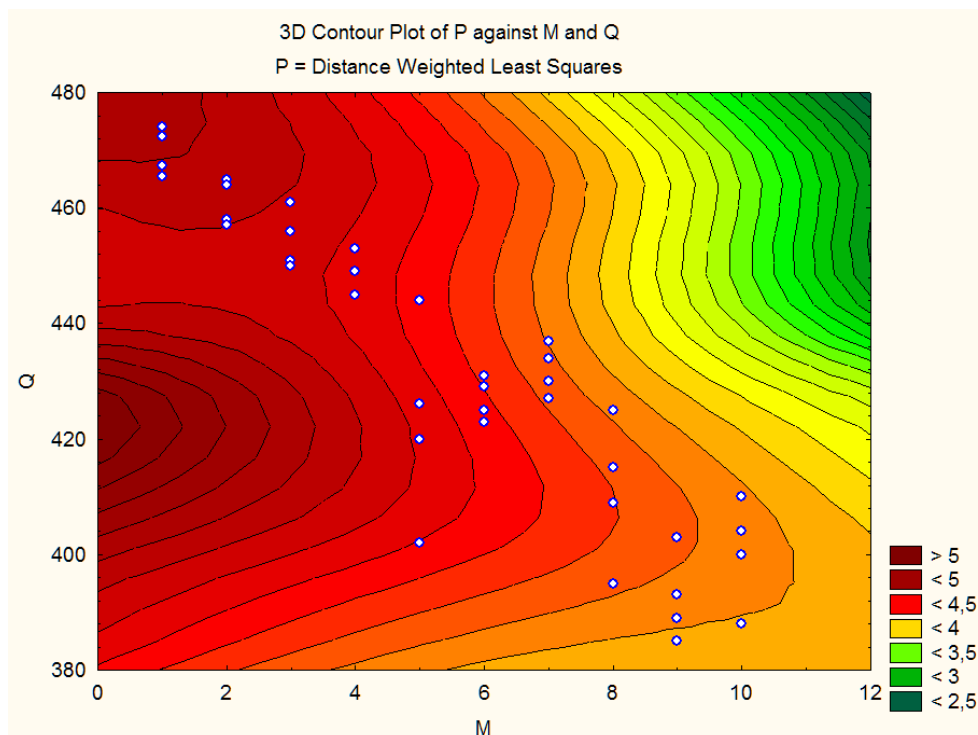


FIGURA 29 – SUPERFÍCIE DE CONTORNO DA RELAÇÃO ENTRE VAZÃO VOLUMÉTRICA E A PERDA DE FIBRA DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA DA MÁQUINA DE PAPEL DURANTE O PERÍODO DE MONITORAMENTO

FONTE: O autor (2011)

4.3.3 Resultados da Caracterização do Efluente de Água Branca em Relação a Potenciais de Formação de Depósitos, de Incrustação e de Corrosão

Os resultados dos ensaios realizados para monitoramento da água branca referente à alteração nos potenciais de formação de depósitos, de incrustação e de corrosão encontram-se expostos nas FIGURAS 30, 31 e 32.

Na FIGURA 30 se podem observar os valores dos resultados de DQO em função das implantações das alterações e modificações para redução do efluente de água branca da máquina de papel. A tendência representada na FIGURA 30 corresponde aos resultados de DQO constantes na TABELA 14.

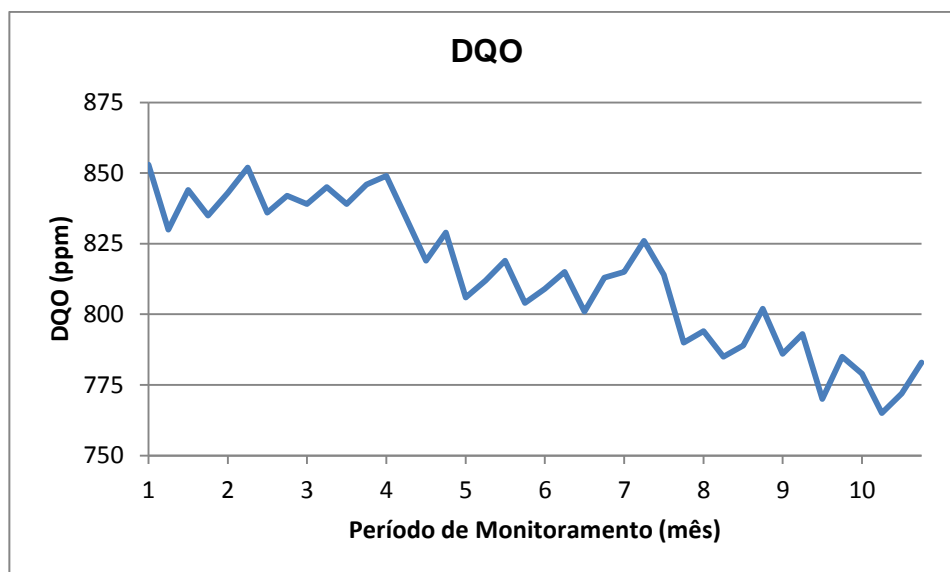


FIGURA 30 – VARIAÇÃO DA DQO COMO RESULTADO DAS MEDIDAS IMPLANTADAS PARA A REDUÇÃO DA VAZÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA

FONTE: O autor (2011)

De acordo com análise da FIGURA 30 e com os resultados da TABELA 14, verifica-se que DQO não apresentou variação como resultado do fechamento parcial do circuito proporcionado pela ação que eliminou o transbordo do tanque da enroladeira (ação 1, a partir do 2º mês). O transbordo do tanque da enroladeira era intermitente causado pelo entupimento da peneira.

De acordo com a FIGURA 30, observa-se que a variação mais acentuada da DQO ocorreu como resultado da eliminação do transbordo da torre 3 (ação 2, a partir do 4º mês). O transbordo da torre 3 ocorria com mais frequência que o do tanque da enroladeira. A redução pouco significativa da DQO corresponde à redução do teor de finos em circulação pelo sistema. Como consequência das duas primeiras ações, os valores de DQO permaneceram entre 800 e 825 ppm.

A análise da tendência representada na FIGURA 30 permite observar que a redução da DQO foi mais significativa a partir da implantação das ações correspondentes à diminuição do transbordo da linha secundária (ações 3 e 4, a partir do 7º mês), pois as fibras virgens recuperadas substituíram parte dos finos que

compõem a corrente de suspensão da linha primária. Os valores de DQO se concentraram entre 775 e 800 ppm.

A redução do transbordo do filtro engrossador provocou nova diminuição do valor da DQO do efluente de água branca, em virtude da maior retenção dos finos no sistema.

Todas as ações de eliminação e redução de transbordos correspondem a fechamento parcial do circuito com conseqüente aumento da retenção na água branca em circulação das substâncias que provocam a DQO.

Na FIGURA 31 encontra-se exposta a superfície de contorno obtida por meio do programa STATISTICS que relaciona os resultados de DQO com a Vazão Volumétrica do Efluente no decorrer dos 10 meses de acompanhamento do efluente de água branca. Os resultados da DQO encontram-se identificados pelos pontos brancos, sendo que seus valores podem ser acompanhados através da legenda.

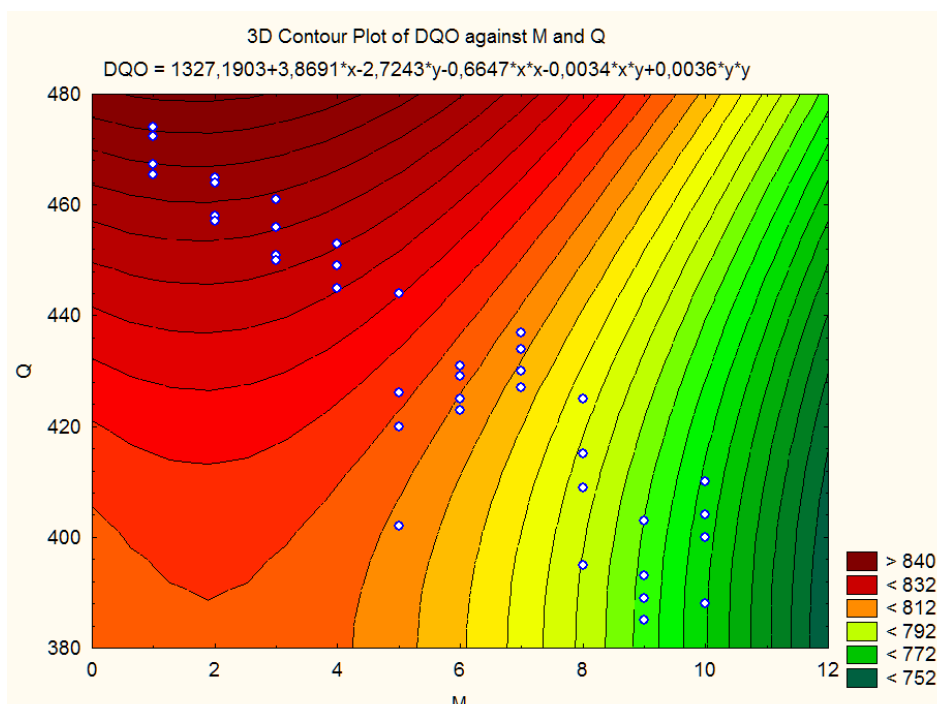


FIGURA 31 – SUPERFÍCIE DE CONTÓRNO DA RELAÇÃO ENTRE VAZÃO VOLUMÉTRICA E DQO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA DA MÁQUINA DE PAPEL DURANTE O PERÍODO DE MONITORAMENTO

FONTE: O autor (2011)

A análise dos dados expostos na FIGURA 31 permite visualizar a tendência de queda nos resultados da DQO em função das modificações implantadas no processo da máquina de papel com o objetivo de reduzir o efluente de água branca.

Na FIGURA 32 pode-se observar a tendência dos resultados dos sólidos totais em função das implantações das alterações e modificações para redução do efluente de água branca da máquina de papel. A tendência representada na FIGURA 32 corresponde aos resultados de Sólidos Totais apresentados na TABELA 14.

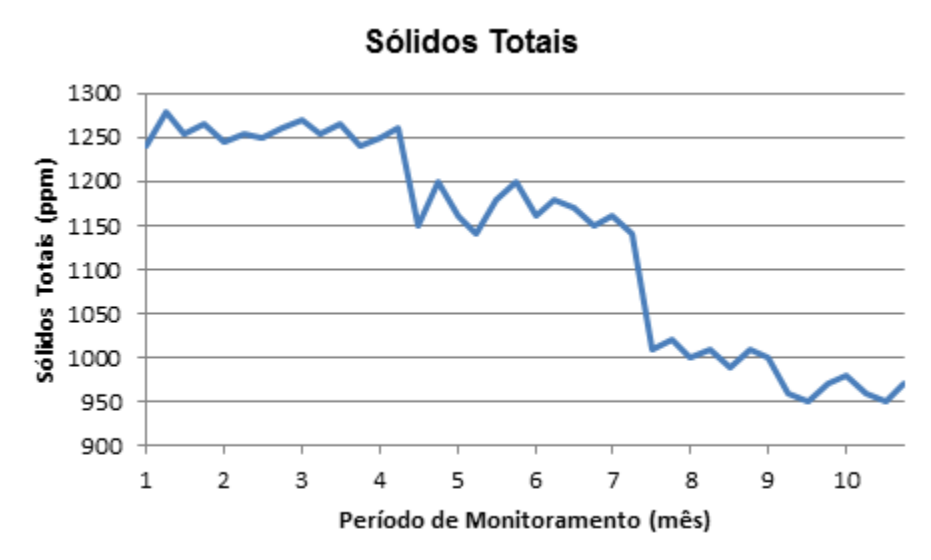


FIGURA 32 – VARIAÇÃO DOS SÓLIDOS TOTAIS DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA COMO RESULTADO DA IMPLANTAÇÃO DAS MEDIDAS PARA REDUÇÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA

FONTE: O autor (2011)

A análise da FIGURA 32 mostra que as medidas dos sólidos contidos no efluente de água branca apresentaram redução acompanhando a redução da perda de fibra, o que mostra maior retenção no sistema decorrente da eliminação e redução dos transbordos.

As reduções mais significativas dos sólidos se devem à redução e eliminação dos transbordos mais frequentes – torre 3, a partir do 4º mês - e

contínuos - poço de água branca da linha secundária, a partir do 7º mês e filtro engrossador da linha primária, a partir do 9º mês.

Os valores dos resultados de sólidos totais decorrentes das alterações de procedimento operacional e modificações do processo para redução do efluente de água branca, não indicaram potencial de formação de depósitos, tendo como base os valores de água branca reusada para fins de selagem e refrigeração, de acordo com dados da NCASI.

Na FIGURA 33 encontra-se exposta a superfície de contorno obtida por meio do programa STATISTICS que relaciona a os resultados de Sólidos Totais com a Vazão Volumétrica do Efluente no decorrer dos 10 meses de acompanhamento do efluente de água branca. Os resultados dos Sólidos Totais encontram-se identificados pelos pontos brancos, sendo que seus valores podem ser acompanhados através da legenda.

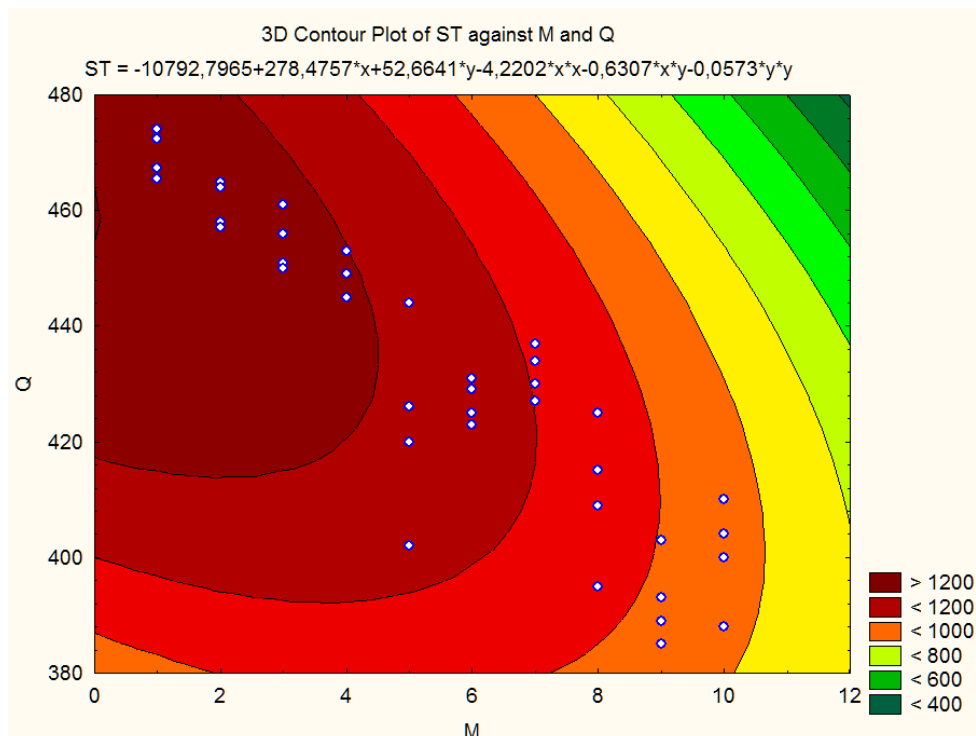


FIGURA 33 – SUPERFÍCIE DE CONTORNO DA RELAÇÃO ENTRE VAZÃO VOLUMÉTRICA E SÓLIDOS TOTAIS DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA DA MÁQUINA DE PAPEL DURANTE O PERÍODO DE MONITORAMENTO

FONTE: O autor (2011)

A análise dos resultados expostos na FIGURA 33 permite visualizar a tendência de queda nos resultados dos Sólidos Totais em função das modificações implantadas no processo da máquina de papel que foram executadas nos 2º, 4º, 7º e 9º meses de acompanhamento do efluente de água branca. Observando a FIGURA 33, verifica-se que existe uma relação linear entre os resultados de Vazão Volumétrica e de Sólidos Totais.

Na FIGURA 34 pode-se observar a tendência dos resultados de dureza em função das implantações das alterações e modificações para redução do efluente de água branca da máquina de papel. A tendência representada na FIGURA 34 corresponde aos resultados de Sólidos Totais constantes na TABELA 14.

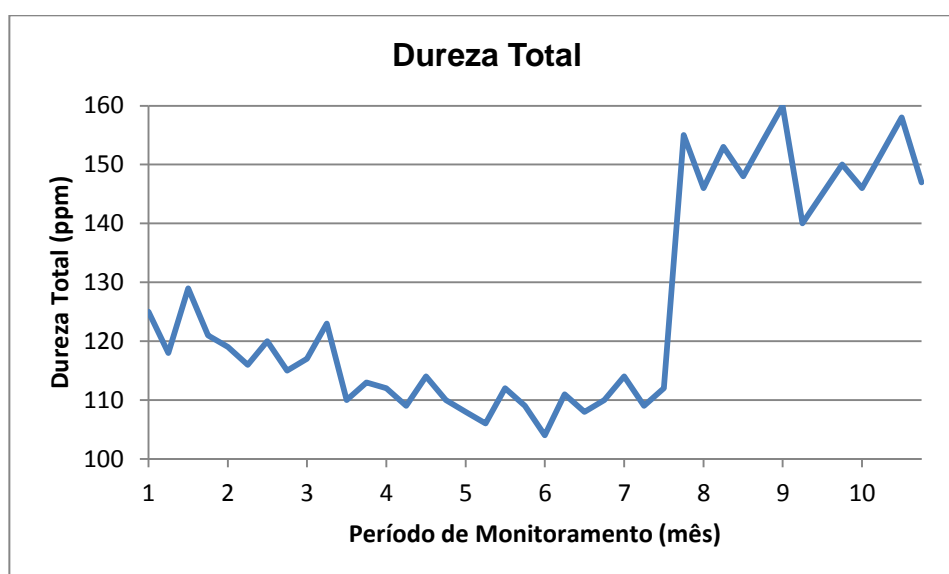


FIGURA 34 – VARIAÇÃO DA DUREZA TOTAL DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA COMO RESULTADO DA IMPLANTAÇÃO DAS MEDIDAS PARA REDUÇÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA

FONTE: O autor (2011)

De acordo com análise da FIGURA 34 e com o conjunto de resultados de Dureza Total da TABELA 14, observa-se que os resultados de dureza não apresentaram variação significativa decorrente da eliminação dos transbordos do tanque da enroladeira (ação 1, mês 2) e da torre 3 (ação 2, mês 4). A redução ocorreu de 120 ppm para 110 ppm, EM VALORES MÉDIOS

Observando a tendência representada na FIGURA 34, verifica-se que o aumento mais significativo na dureza ocorreu após o reaproveitamento de parte do transbordo da linha secundária (ações 3 e 4, a partir do 7º mês). A suspensão de fibras virgens que compõe a linha secundária é mais rica em carbonatos em relação à da linha primária porque vem diretamente da planta de fabricação de celulose.

Com base nos resultados da TABELA 14, verifica-se que os valores de dureza total passaram de uma média de 110 ppm para 150 ppm. Os níveis de dureza atingidos não indicam aumento do potencial de incrustação, quando comparados aos valores de dureza de água branca reusada para selagem – 141 ppm – e da reusada para refrigeração – 114, segundo dados da NCASI.

Na FIGURA 35 encontra-se exposta a superfície de contorno obtida por meio do programa STATISTICS que relaciona a os resultados de Dureza Total com a Vazão Volumétrica do Efluente no decorrer dos 10 meses de acompanhamento do efluente de água branca.

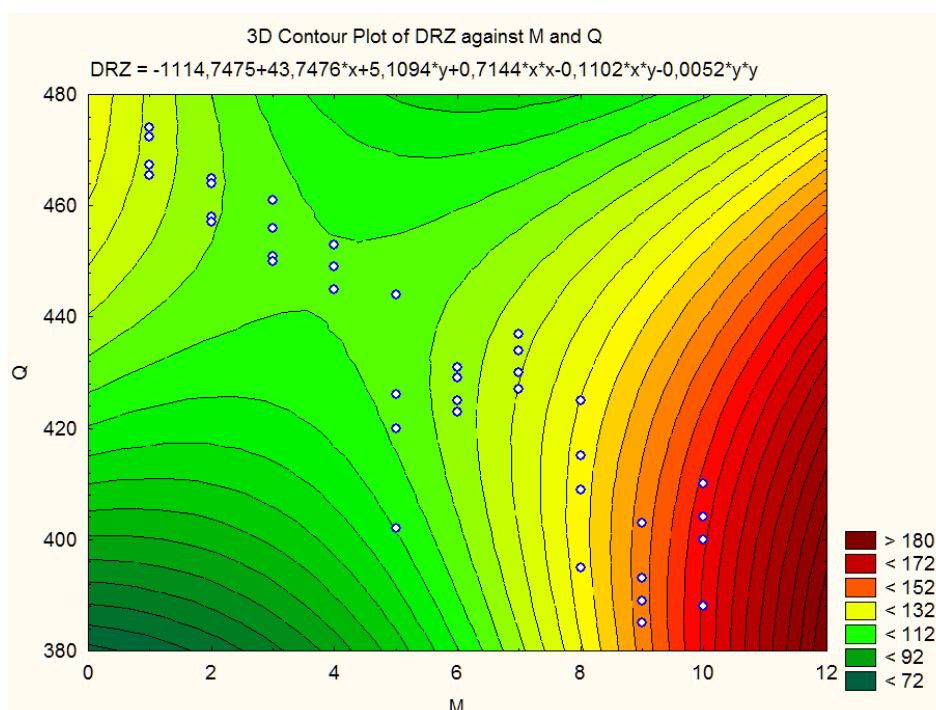


FIGURA 35 – SUPERFÍCIE DE CONTORNO DA RELAÇÃO ENTRE VAZÃO VOLUMÉTRICA E DUREZA TOTAL DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA DURANTE O PERÍODO DE MONITORAMENTO

FONTE: O autor (2011)

Para facilitar o entendimento da tendência exposta na FIGURA 35, os resultados da Dureza Total encontram-se identificados pelos pontos brancos, sendo que seus valores podem ser acompanhados através da legenda.

A análise dos resultados expostos na FIGURA 35 indica a tendência de aumento nos valores dos resultados de Dureza Total decorrentes da implantação das medidas para redução do efluente de água branca da máquina de papel.

Na FIGURA 36 pode-se observar a tendência dos resultados da Condutividade Elétrica em função das implantações das alterações e modificações para redução do efluente de água branca da máquina de papel. A FIGURA 36 foi construída com base nos resultados de Condutividade Elétrica expostos na TABELA 14.

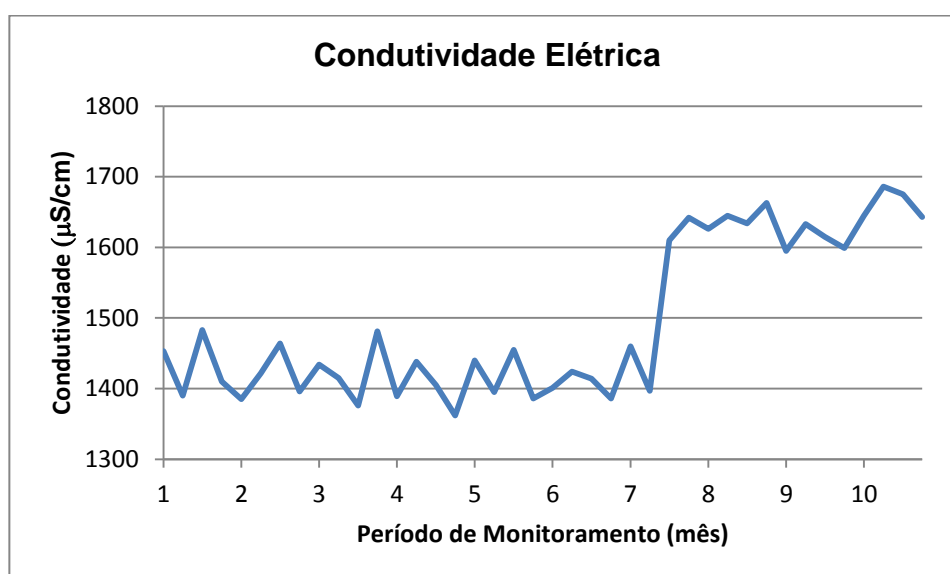


FIGURA 36 – VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA COMO RESULTADO DA IMPLANTAÇÃO DAS MEDIDAS PARA REDUÇÃO DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA

FONTE: O autor (2011)

De acordo com a análise da FIGURA 36, os valores dos resultados da condutividade elétrica não apresentaram variações como resultado das implantações das ações 1 e 2, sendo que os resultados se mantiveram em torno de $1400 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Com base na análise da tendência apresentada na FIGURA 36, a variação mais significativa no valor da condutividade elétrica ocorreu a partir do sétimo mês com a redução do transbordo da linha secundária. Houve aumento dos resultados da condutividade elétrica para valores superiores a 1600 $\mu\text{S}/\text{cm}$

A tendência de elevação da condutividade elétrica se deve à substituição parcial da água branca da linha primária por água branca da linha secundária, mais rica em sais provenientes da planta de fabricação de celulose. A tendência de elevação do valor da condutividade elétrica correspondeu à tendência dos resultados da dureza total, o qual apresentou elevação a partir do maior reaproveitamento da água branca da linha secundária.

Na FIGURA 37 encontra-se exposta a superfície de contorno obtida por meio do programa STATISTICS que relaciona a os resultados da Condutividade Elétrica com a Vazão Volumétrica do Efluente no decorrer dos 10 meses de acompanhamento do efluente de água branca.

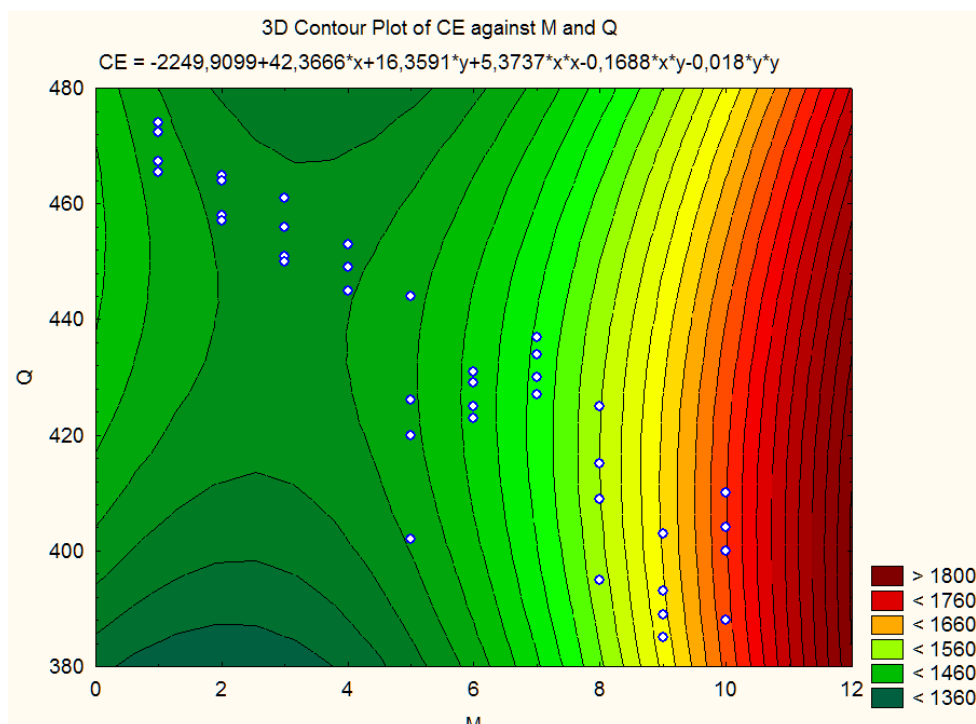


FIGURA 37 – SUPERFÍCIE DE CONTORNO DA RELAÇÃO ENTRE VAZÃO VOLUMÉTRICA E CONDUTIVIDADE ELÉTRICA DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA DA MÁQUINA DE PAPEL DURANTE O PERÍODO DE MONITORAMENTO

FONTE: O autor (2011)

Para facilitar o entendimento da FIGURA 37, os resultados da Condutividade Elétrica encontram-se identificados pelos pontos brancos, sendo que seus valores podem ser acompanhados através da legenda.

A análise dos resultados expostos na FIGURA 37 indica a tendência de aumento nos valores dos resultados de Condutividade Elétrica decorrentes da implantação das medidas para redução do efluente de água branca da máquina de papel.

Finalmente, foram determinados os valores de Posto de Spearman. Esse coeficiente indica a relação linear ente as variáveis, significando que quanto mais próximo de 1,0 for o valor do coeficiente mais forte será a dependência entre as variáveis. Na TABELA 17 são apresentados os resultados da análise realizada.

TABELA 17 - VALORES DE POSTO DE SPEARMAN INDICANDO O NÍVEL DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS MEDIDAS DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA

	Mês	Vazão Volumétrica	Perda de Fibra	DQO	Sólidos Totais	Dureza	Condutividade Elétrica
Mês	1,0000	-0,9192	-0,9347	-0,9098	-0,9292	0,4202	0,6654
Vazão	-0,9192	1,0000	0,8435	0,8822	0,8833	-0,3136	-0,5759
Perda	-0,9347	0,8435	1,0000	0,8574	0,9037	-0,3753	-0,6226
DQO	-0,9098	0,8822	0,8574	1,0000	0,8751	-0,4278	-0,6247
Sólidos	-0,9292	0,8833	0,9037	0,8751	1,0000	-0,4668	-0,6800
Dureza	0,4202	-0,3136	-0,3753	-0,4278	-0,4668	1,0000	0,7528
Condutividade	0,6654	-0,5759	-0,6226	-0,6247	-0,6800	0,7528	1,0000

FONTE: O autor (2011)

A análise dos valores de Posto de Spearman expostos na TABELA 17 revela relação mediana da Vazão Volumétrica com Perda de Fibra, Sólidos Totais e DQO, pois os valores ficam entre 0,8 e 0,9; enquanto que as relações da Vazão volumétrica com a Dureza e a Condutividade são fracas, apresentando, respectivamente, os valores -0,31 e -0,57.

Tendo como base nos resultados da TABELA 17, verifica-se forte relação entre Perda de Fibra com os Sólidos Totais, apresentando valor superior a 0,9; enquanto que a relação com a DQO é mediana e com a Dureza e a Condutividade é fraca.

Em relação à DQO, a TABELA 17 indica relação mediana com os Sólidos Totais e fracas relações com a Dureza e a Condutividade Elétrica, enquanto que a Dureza e a Condutividade Elétrica apresentam relação mediana entre si e fracas relações com as demais variáveis.

Na FIGURA 38 encontram-se representados diagramas das correlações entre as variáveis. A FIGURA 38 possibilita a visualização gráfica dos valores de Posto de Spearman, evidenciando se a relação entre as variáveis é forte, mediana ou fraca.

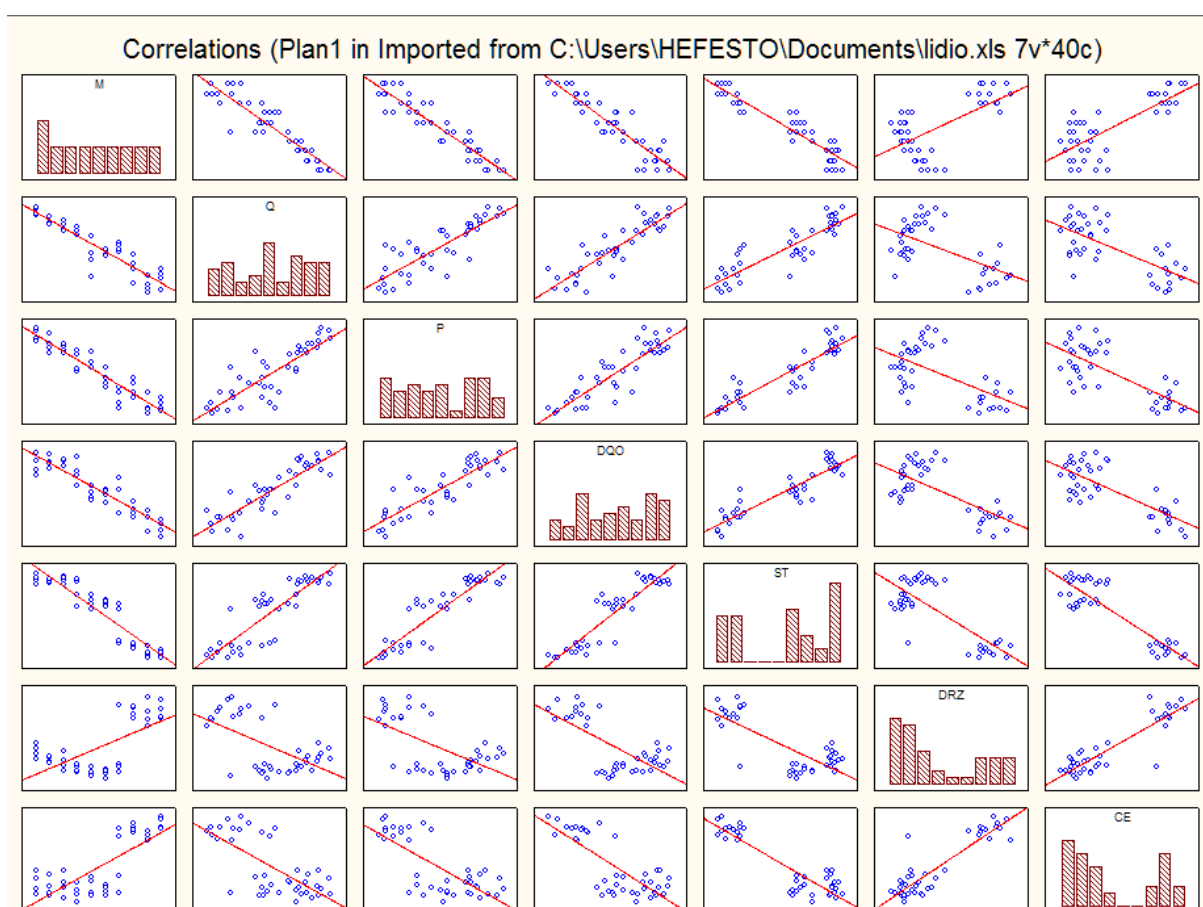


FIGURA 38 – DIAGRAMAS DAS CORRELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS DO EFLUENTE DE ÁGUA BRANCA

FONTE: O autor (2011)

4.3.4 Inspeções Visuais

Simultaneamente ao monitoramento da qualidade do efluente de água branca por meio das medidas, inspeções visuais foram realizadas no processo durante paradas e procedimentos de limpeza, com o objetivo de acompanhar a influência das alterações e modificações implantadas.

As inspeções visuais não detectaram variação na formação de depósitos de qualquer origem, fossem orgânicos ou por acúmulo de materiais fibrosos. Igualmente, variações na formação de incrustações ou em processos de corrosão não foram observadas.

5 CONCLUSÕES

As conclusões decorrentes do estudo realizado com o objetivo de reduzir o efluente de água branca em uma máquina de papel são:

- A partir dos resultados obtidos no estudo, pode-se concluir que existe uma relação linear de dependência entre a variável vazão do efluente de água branca com as perdas das fibras do processo.
- A partir do monitoramento das condições operacionais e das características do efluente, pode-se concluir que as ações de redução do efluente de água branca não alteram as propriedades e características do produto final.
- A partir da caracterização físico-química e biológica do efluente de água branca foi possível determinar a relação de dependência entre os parâmetros do efluente com os resultados do coeficiente de posto de Spearman, podendo-se concluir que existe relação linear de dependência entre os pares: a) vazão do efluente de água branca com perda de fibra, DQO e sólidos totais; b) perda de fibra com DQO e sólidos totais; c) DQO com sólidos totais
- Visando a redução do efluente de água branca e das perdas de fibras do processo foram implantadas cinco ações, quais sejam: 1) eliminação do transbordo do tanque de refugo da enroladeira; 2) eliminação do transbordo da torre 3 e dos drenos do tanque do rolo de sucção e do tanque 5; 3) substituição de parte da água morna suprida ao silo primário por água branca da linha secundária; 4) controle da concentração de sólidos do tanque de matéria-prima 1 com água branca da linha secundária; 5) redução do transbordo do filtro engrossador. De acordo com os resultados apresentados na TABELA 16, pode-se concluir que a ação 5, individualmente, é mais efetiva na redução da vazão do efluente de água branca e a ação 2 é a mais efetiva na redução da perda de fibra.
- Com as ações implantadas houve uma redução de 14,8% do consumo de água tratada alimentada à máquina de papel, correspondendo a $69,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, e uma redução de 13,7% da perda de fibra, correspondendo a

611 kg.d⁻¹ ou 216 t.a⁻¹. Tendo como base o valor de R\$ 300,00 da celulose produzida pela fábrica, pode-se estimar uma economia de fibras em R\$ 64800 por ano.

6 RECOMENDAÇÕES

Visando a contínua melhoria das condições operacionais e ambientais do processo, fazem-se as seguintes recomendações:

- Realizar um estudo específico para a contínua diminuição das perdas de água branca com correspondentes diminuições do consumo de água tratada e da perda de fibra
- Realizar a modelagem e otimização do processo com base no balanço de massa das principais correntes do sistema da máquina de papel
- Realizar o estudo quantitativo dos pontos do processo onde foram identificadas as emissões de resíduos sólidos e dos efluentes líquidos (FIGURA 23)

REFERENCIAS

ADANUR, S. **Paper machine clothing**. Lancaster (USA): Technomic Publishing company, 1997.

AIRTHERMCORP. Airtherm Corporation. Disponível em: <<http://www.airthermcorp.com/open.htm>>. Acesso em: 31 de março de 2011.

ALÉN, R. **Papermaking chemistry**. Helsinki: Paperi ja Puu Oy, 2007. p 54-123, p164-196 ISBN 978-952-5216-24-0.

ALEXANDERSSON, T. **Water reuse in papermills**. Lun: Media-Tryck, 2003

AMHOLD, A. Análise das condições de máquinas de papel. **O Papel**, São Paulo, p. 62, nov. 1998.

ARANTES, B. M et al. Fechamento do circuito de águas do processo de fabricação do papel. **O Papel**, São Paulo, p. 79, out. 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9898**: Preservação e Técnicas de Amostragem de Afluentes Líquidos e Corpos Receptores. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10357**: Águas - Determinação da demanda química de oxigênio. Rio de Janeiro, 1988.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10664**: Águas - Determinação de resíduos (sólidos). Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12621**: Águas - Determinação da dureza total. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14003**: Pastas celulósicas – Determinação da concentração. Rio de Janeiro, 1997.

BACHMANN, D.L. Benchmarking ambiental na indústria de celulose e papel. **O Papel**, São Paulo, p. 57, jun. 2009.

BLANCO, A. **Microbiology in papermaking** 1:87-134 ISBN:81-271-0043-9 2003

BRACELPA. Associação Brasileira de Celulose e Papel. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/conjuntura/CB-036.pdf>>. Acesso em: 2 de dezembro de 2011.

CANALES, C. Y. G. DÍAZ, R. Controle de Microrganismos em Circuitos de Máquina de Papel com THPS – Um Microbicida Ambientalmente Amigável. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL, 33, 2000. São Paulo

CELULOSEONLINE. Disponível em: <<http://www.celuloseonline.com.br>>. Acesso em: 23 de março de 2010.

COMUSA. Serviços de Água e Esgoto de Novo Hamburgo. Disponível em <<http://www.comusa.com.br/index.php/saneamento/tratamentoagua>>. Acesso em: 9 de dezembro de 2011.

DESJARDINS, E.; BEAULIEU, C. **Identification of bacteria contaminating pulp and paper machine in a Canadian paper mill**. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12715250>>. Acesso em: 19 de maio de 2010.

FARDIM, P. Papel e química de superfície – Parte I – A superfície da fibra e a química da parte úmida. **O Papel**, São Paulo, p. 97, abr. 2002a.

FARDIM, P. Papel e química de superfície Parte II – Revestimento e Printabilidade. **O Papel**, São Paulo, p. 75, mai. 2002b.

FOELKEL, C. **Ecoeficiência na gestão da perda de fibras de celulose e do refugo gerado na fabricação do papel**. Disponível em <www.eucalyptus.com.br>. Acesso em: 11 de março de 2009

FONSECA, J. A. V. M. et al. Tratamento de Efluentes Líquidos de Indústria de Papel e Celulose. In: III FÓRUM DE ESTUDOS CONTÁBEIS, 9, 2003. Santa Maria/RS.

GESS, J. M. **Retention of fines and fillers during papermaking**. Atlanta (USA): Tappi, 1998.

GLV. Disponível em: <<http://www.glv.com/PulpPaperHome.aspx>>. Acesso em: 15 de setembro de 2010.

HABETS, L. H. A.; KNELISSEN, H. J. In line biological water regeneration in a zero discharge recycled paper mill, **Water Science & Technology** 35(2-3), 41-48.

HAMM, U., SCHABEL, S. Effluent-free papermaking: industrial experiences and latest developments in the German paper industry, **Water Science & Technology** 65 (6): p 205-211. 2007

HESPANHOL, I.; MIERZWA, J. C. **Água na Indústria: Uso Racional e Reuso**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

INSTRUMENTAÇÃO. Disponível em: <<http://www.instrumentacao.com/medidores.html>>. Acesso em: 14 de outubro de 2011.

IPST. Institute of Paper Science and Technology. Disponível em: <<http://ipst.gatech.edu/>>. Acesso em: 29 de setembro de 2009.

ITAJAI. Disponível em: <<http://itajai.olx.com.br/venda-de-wood-chips-cavacos-de-madeira-iid-31665386>>. Acesso em: 29 de setembro de 2010.

JOHNSRUD, S.Ch. Paper mill micro-organisms, **Investigacion y Tecnica del Papel**, 146: p.499-508. 2000

JOKIO, M. **Papermaking Part 3, Finishing**. Helsinki: Fapet Oy, 1999.

KARLSSON, M. **Papermaking Part 2, Drying**. Helsinki: Fapet Oy, 2000. p 16-33.

KOEPENICK, M. Excelente desempenho ambiental. **O Papel**, São Paulo, p. 50, dez. 1998.

LANDIM, A. B., LEITE NETO, J. M., ALMEIDA, R. S. Recuperação do Efluente da Secagem. **O Papel**, São Paulo, p. 67, jun. 2001.

LJOKKOI, R., BREWSTER, R. Depuração da polpa. **O Papel**, São Paulo, p. 58, mai. 1999.

MATERIALESABEL. Disponível em:
<<http://materialesabel.webhispana.net/papel/pagpapel/papel6.htm>>. Acesso em: 29 de junho de 2011.

MENDES, A.H. Benefícios latentes em sistemas de vapor e condensado para máquinas de papel. **O Papel**, São Paulo, p. 97, mar. 2002.

MICHALSKI, R. Reutilização de água na indústria de papel e celulose. **O Papel**, São Paulo, p57, jul. 2004

MIYANISHI, T., MOTEGI, S. O efeito do fechamento do circuito de água branca da fábrica sobre a floculação de várias substâncias químicas auxiliares de retenção. **O Papel – Tappi Journal Especial**, São Paulo, p22, jul. 2001.

NCASI. National Council for Air and Stream Improvement. Disponível em:
<<http://www.ncasi.org>>. Acesso em: 24 de maio de 2009.

NISKANEN, J. Tendências na evolução das máquinas de papel. **O Papel**, São Paulo, p74, set. 1998.

NUNES, D. C. L. **Conservação de Água em Máquina de Fabricação de Papel** O caso da Bahia Sul Papel e Celulose S.A. 2007. 192f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá.

PANCHAPAKESAN, B. **Optimizing White Water System Design**. Disponível em
<www.enme.umd.edu/newsletterarchives/metrics-sp06.pdf> Acesso em: 17 de outubro de 2009.

PANCHAPAKESAN, B.. White water reuse and savells. In: Michael Kocurek. **Stock Preparation**. 3rd. ed. Attanta: Joint Textbook Committee of the Paper Industry, 1992. Capítulo IX, 173-186.

PAULAPURO, H. **Papermaking Part 1**, Stock preparation and wet end. Helsinki: Fapet Oy, 2000.

PENG, C.Y. **Water Consumption, Quality Demanded, and Re-use of the Treated Wastewater for Paper Industry**. Disponível em: <<http://www.water.org.tw>>. Acesso em: 25 de junho de 2009.

PRADO, R., OLIVEIRA, D.O., BIASOTTO, M. Programa Savcor para aperfeiçoar sistemas de drenagem online. **O Papel**, São Paulo, p49, mar. 2010.

REIS, E. A. Influencia da refinação de alta concentração em papeis. **O Papel**, São Paulo, p65, fev. 2003.

RINCONDELVAGO. Disponível em: <<http://html.rincondelvago.com/envases-y-embalajes.html>>. Acesso em: 31 de março de 2011.

ROCHA, J. Influência dos cloretos na performance da máquina de papel. **O Papel**, São Paulo, p41, dez. 2007.

ROMERO, S. R. Curso Recuperação de Fibras e Clarificação da Água Branca – Parte 1. Belo Horizonte: ABTCP, 1995.

ROXO, F., PENTINEN, A. Ação dos gases como limitadores da performance e qualidade na produção de papel e secagem de celulose. **O Papel**, p78, ago. 2001.

SANTAMARIA. **Curiosidades sobre o papel**. Disponível em: <<http://www.santamaria.ind.br/curiosidades/papel.pdf>>. Acesso em: 10 de julho de 2009.

SCHENKER, A. P. **Einsatz von Enzymen zur Kontrolle der Biofilmbildung in Papiermaschinenkreisläufen**, Wochenbl. 1997.125 (14-15): p 702-709

SILVA, C. M. Utilização de membranas sintéticas na indústria de celulose e papel. **O Papel**, São Paulo, p56, jan. 2000.

SILVA, D.; SILVA, J. **Talco, pitch e celulose**. Disponível em: <<http://www.celuloseonline.com.br/colunista/colunista.asp?IDAssuntoMateria=215&iditem=>>> Acesso em: 7 de novembro de 2009.

SLADE, A. H. et al. (2004), Nutrient minimization in the pulp and paper industry: an overview. **Water Science and Technology**, 2004, 50 (3): p 11-122

SMOOK, G. A. **Handbook for pulp & paper technologists**. Vancouver: Angus Wilde Publications Inc., 2002.

SMOOK, G. A. **Manual para técnicos de pulpa y papel**. Atlanta: Tappi Press, 1990.

SPRINGER, A. M. **Industrial environmental control pulp and paper industry**. Atlanta: Tappi Press, 2000. 3rd ed.

STOERE, P., NAZHAD, M., KEREKES, R. Um estudo experimental do efeito da refinação sobre a formação do papel. **Especial O Papel** - Tappi Journal, São Paulo, p4, dez. 2001.

TECO-INC. Transmission Engineering Company. Disponível em: <<http://www.tecoinc.com>>. Acesso em: 14 de maio de 2009.

VEHMAS, J. Os segredos da medida de concentração na linha de produção. **O Papel**, São Paulo, p47, dez. 2005.

VIZOTTO, R. E. Aplicações de chuveiros em máquinas de papel tissue. **O Papel**, São Paulo, p69, nov. 1999.

WEG. Disponível em: <<http://www.weg.net/br/Media-Center/Noticias/Produtos-e-Solucoes/Tecnologia-WEG-na-maior-maquina-de-fazer-papel-do-mundo#>>. Acesso em: 26 de novembro de 2011.

ZINI, C. A., ESCOBAR, R. Avaliação dos impactos ambientais de uma fábrica de celulose e papel. **O Papel**, São Paulo, p54, ago. 1998.

GLOSSÁRIO

ÁGUA BRANCA: água drenada da seção de formação da máquina de papel com concentração de sólidos de até 5000 ppm, cuja constituição é de fibras, finos, cargas minerais, componentes da DBO e produtos químicos dissolvidos tais como sulfato de alumínio, amido, cola; no processo de fabricação do papel é aplicada para diluição, ajuste de concentração e dispersão de fardos; a temperatura da água branca se situa entre 40 e 50°C

ÁGUA CLARIFICADA: água branca submetida a processo de recuperação de fibras; o teor de fibras da água clarificada se situa entre 200 e 700 ppm

ÁGUA DE LUBRIFICAÇÃO: água branca ou fresca para usada para reduzir o atrito da tela formadora e dos feltros contra rolos-guia; empregada nos chuveiros de lubrificação

ÁGUA FRESCA: água proveniente da estação de tratamento de água, cristalina, sem conteúdo de poluentes, sem fibras e sólidos totais, dissolvidos ou em suspensão; a temperatura da água fresca é de até 30°C

ÁGUA MORNA: a água morna apresenta as mesmas características da água fresca; a temperatura da água morna é superior a 30°C

ÁGUA SUPERCLARA: água clarificada submetida a tratamento adicional de recuperação de fibras; o teor de fibras da água superclara é menor que 200 ppm

APARAS: papel reciclado; fibras secundárias

APARAS NÃO CLASSIFICADAS: papel reciclado do qual não se define a quantidade e a qualidade dos contaminantes

CHUVEIROS AGULHA: aplicam água fresca ou morna sob pressão de no mínimo 10 bar para limpeza de telas formadoras e de feltros; os orifícios dos chuveiros apresentam um diâmetro máximo de 1mm.

CHUVEIROS DE LUBRIFICAÇÃO: chuveiros com bicos tipo leque empregados nos circuitos de telas formadoras e feltros; os chuveiros de lubrificação empregam água branca ou fresca para reduzir o atrito da vestimenta contra rolos-guia

CHUVEIROS DESTACADORES: retiram a folha de papel da tela formadora na eventualidade de quebra da folha; a folha é recolhida no tanque do rolo de sucção para reprocessamento

CHUVEIROS FORMATADORES: chuveiros com bico agulha de 1 mm de diâmetro instalados no final da seção de formação para retirar parte da borda da folha de papel com perfil irregular de gramatura

CHUVEIROS LEQUE: chuveiros empregados como chuveiros destacadores ou de lubrificação

COMPOSIÇÃO FRACIONÁRIA: composição da suspensão fibrosa e da folha de papel no que se refere às dimensões dos componentes fibrosos

CONCENTRAÇÃO: concentração de sólidos, pode ser expresso em porcentagem em massa ou kg/m^3 ; na indústria de celulose e papel é usualmente conhecida como consistência

CONSISTÊNCIA: termo usual para concentração ou teor seco da suspensão fibrosa, folha de papel e água branca nos processos de fabricação de celulose e papel

DEMANDA CATIONICA: carga eletrostática de líquidos condutores medida em μV ; indica o consumo de produtos químicos necessário para reduzir a carga dos líquidos, favorecendo os processos de coagulação, floculação, retenção e drenagem na fabricação do papel

FECHAMENTO DE CIRCUITO: reaproveitamento das perdas de água branca no próprio processo com o objetivo de reduzir o consumo de água e de fibras

MULTICILINDROS: configuração da seção de secagem da máquina de papel constituída de duas baterias de cilindros secadores que recebem vapor cujo calor de condensação é usado para a secagem da folha de papel

PARTE ÚMIDA: parte da máquina de papel que inclui o preparo de massa, circuito de aproximação, seção de formação e prensagem; caracteriza-se pelo grande volume de água em circulação

PICHASSOS: chuveiros formatadores

PLANTAS INTEGRADAS: planta de fabricação de polpa celulósica fornece a suspensão fibrosa para a máquina de papel

PLANTAS NÃO INTEGRADAS: máquinas de papel que recebem a suspensão fibrosa para a fabricação do papel de desagregadores de matéria-prima fibrosa

PRODUÇÃO SECA: produção de papel medida na enroladeira ou na balança, descontando a umidade do papel

PULMÃO: tanque ou torre de grande capacidade de armazenamento que suporta o processo

SUPERFILTRO: equipamento com capacidade de produzir água superclara com concentração de sólidos menor que 200 ppm