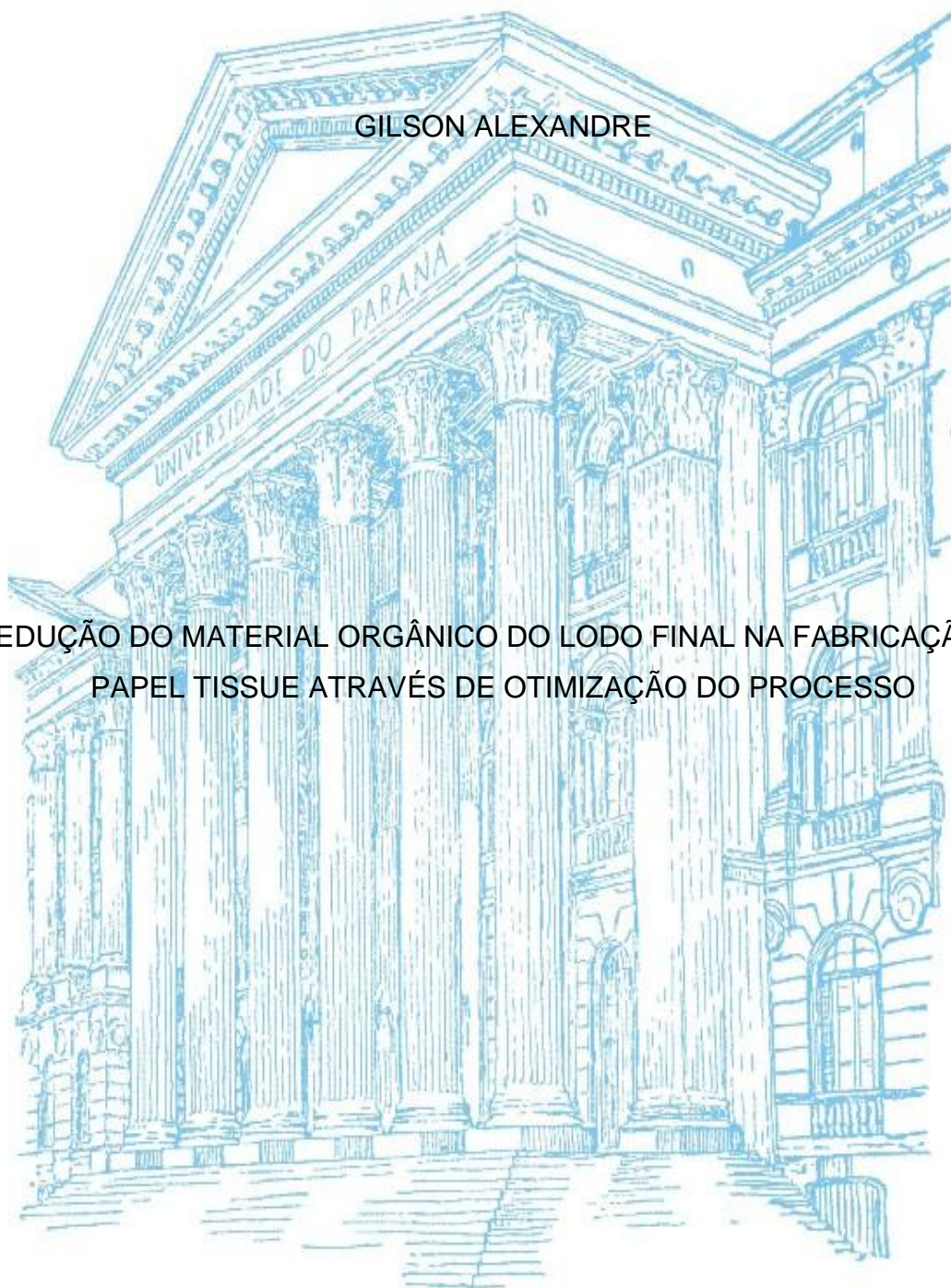


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GILSON ALEXANDRE

REDUÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO DO LODO FINAL NA FABRICAÇÃO DE
PAPEL TISSUE ATRAVÉS DE OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO



CURITIBA

2012

GILSON ALEXANDRE

REDUÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO DO LODO FINAL NA FABRICAÇÃO DE
PAPEL TISSUE ATRAVÉS DE OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com a Universität Stuttgart, Alemanha, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientadora: Prof^a Dr^a Regina Weinschutz
Coorientador: Prof. Dr. Álvaro Luiz Mathias

CURITIBA

2012

Alexandre, Gilson

Redução do material orgânico do lodo final na fabricação de papel tissue através de otimização do processo / Gilson Alexandre – Curitiba, 2012.

82 f. : il.; tab.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial

Orientadora: Regina Weinschutz

Coorientador: Álvaro Luiz Mathias

1. lodo. 2. Flotação. 3. Celulose - Indústria. 4. Efluente – Qualidade. 5. Resíduos sólidos. I. Weinschutz, Regina. II. Mathias, Álvaro Luiz. III. Título.

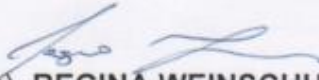
CDD 628.4


TERMO DE APROVAÇÃO


GILSON ALEXANDRE

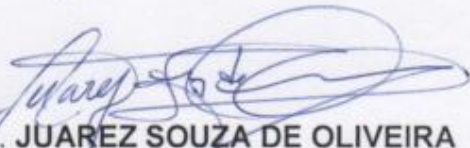
REDUÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO DO LODO FINAL NA FABRICAÇÃO DE PAPEL TISSUE ATRAVÉS DE OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO

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). **REGINA WEINSCHUTZ**
DEQ/UFPR

Coorientador(a): 
Prof(a). Dr(a). **ALVARO LUIZ MATHIAS**
DEQ/UFPR


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


Prof(a). Dr(a). **JUAREZ SOUZA DE OLIVEIRA**
DEQ/UFPR



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

Curitiba, 30 de março de 2012.

Dedico este trabalho a minha família, da qual tive que me ausentar por momentos, especialmente à minha mãe, minha esposa Luciana, pela sua compreensão e apoio, e a minha filha Maria Letícia que é razão da minha vida.

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Prof^a Dr^a. Regina Weinschutz pela colaboração, paciência, amizade e orientação

Ao Curso Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, na pessoa do seu coordenador e meu co-orientador Prof. Dr. Álvaro Luiz Mathias, pelo apoio e dedicação recebidos.

Aos Professores Dr. Juarez Souza de Oliveira, Dr^a. Regina M. Matos Jorge, Dr. Mario José Dallavalli pelas contribuições e sugestões no trabalho.

A todos os professores da UFPR e da Universidade de Stuttgart que com suas paciências e dedicações nos ajudaram nesta caminhada.

"Não foi de um salto que os grandes homens chegaram às culminâncias do êxito; mas, sim, trabalhando e velando enquanto os outros dormiam."

James Allen

RESUMO

As indústrias de papéis reciclados frequentemente trabalham abaixo do limite de recirculação de produtos químicos no processo. Isto pode ser atribuído a questões práticas e /ou falta de otimização de processo. Essa filosofia tem gerado perda de eficiência de produto, bem como de compostos inorgânicos; ambos capazes de poluir o meio ambiente. O objetivo deste trabalho foi reduzir o resíduo sólido orgânico de uma máquina de papel tissue através de otimização do processo. Esta ação possibilita a redução dos custos de produção e redução do impacto ambiental, atendendo à legislação ambiental cada vez mais rigorosa. O balanço de massa e de água foi realizado em alguns pontos específicos do processo de uma fábrica de papel tissue, aplicando princípio de tecnologia limpa para detectar os pontos de perdas de fibras. Assim, novos fluxogramas e estratégias de retenção de fibras na máquina de papel foram propostos para diminuir a perda das mesmas para o efluente. O balanço de massa e de água do fluxograma inicial revelou uma geração total de lodo de 20 a 25 ton/dia com uma perda de orgânicos de 3,7 ton seca/ dia , o que representa 10% da produção de papel da fábrica. A recuperação desta matéria orgânica, que é composta praticamente de material fibroso, possibilitará um aumento do faturamento bruto da fábrica em torno de 10%, com investimentos relativamente insignificantes. Após o estudo do processo e verificação da viabilidade de alterações no mesmo, modificações em algumas linhas de massa foram sugeridas de modo a diminuir o descarte de fibra, sem prejuízo à qualidade do produto final. A otimização do processo através da análise localizada do mesmo é altamente viável em fábricas onde se tem uma perda significativa de fibras no lodo. Tal estudo e alterações do processo deverão ser realizados com cuidado para que não haja perda da qualidade final do papel.

Palavras-chave: Lodo. Flotação. Depuração. Retenção.

ABSTRACT

The wasted paper mills have often worked below of their limit of chemical products recirculation into their process. That may be result of a practical issues and/or lack of process optimization. This philosophy has generated both product efficiency and even inorganic compounds losses; both able to cause environmental pollution. The goal of this work was to reduce the organic solid residue of a tissue paper machine, through of improvement of the process. This action do be able both the production costs reduction and the environmental impact reduction in accordance of ambient legislation each more rigorous time. So, It was proposed new flowchart and strategies of fiber retention on the paper machine having the goal the losses reduction to the effluent. The mass and water balance in the initial flowchart reveled a total sludge generation from 20 to 25 ton/day with 3,7 dry ton/day as organic losses, representing 10% of paper mill production. This organic material recuperation, which is made practically of fiber material, will permit an increasing mill gross profit around 10%, with investments practically insignificant. After the study of the process and verifications of changes feasibility , it was suggested changes in some lines of mass in order to decrease the fiber discharge, without decreasing the final product quality.

The process improvement by its located analysis is higher viable in plants where it has a significant fiber losses in the sludge. Such study and process changes should be have carried out through with care so that it does not have loss in final paper quality.

Key Words : Sludge. Flotation. Screening. Retention.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – FLUXOGRAMA BÁSICO DO PROCESSO KRAFT	23
FIGURA 2 – PROCESSOS DE OBTENÇÃO DE POLPAS DE ALTO RENDIMENTO..	26
FIGURA 3 – DESAGREGADOR DE PAPÉIS RECICLADOS	30
FIGURA 4 – AREIEIROS(A) E TURBOS SEPARADORES (B)	30
FIGURA 5 - CÉLULAS DE DESTINTAMENTO(A) E PENEIRA INCLINADA SIDE HILL (B) PARA PAPÉIS RECICLADOS	31
FIGURA 6 – FLUXOGRAMA BÁSICO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL A PARTIR DE RECICLADO	32
FIGURA 7 – APARAS PARA A FABRICAÇÃO DE PAPEL A PARTIR DE RECICLADO	33
FIGURA 8 – LODO PROVENIENTE DA FABRICAÇÃO DE PAPEL RECICLADO...36	
FIGURA 9 – DECANTADOR PRIMÁRIO SOBRECARRREGADO DE FIBRAS CELULÓSICAS	36
FIGURA 10 – EQUIPAMENTOS ONDE É POSSÍVEL OCORREREM PERDAS DE FIBRAS NA FABRICAÇÃO DE PAPEL.....	42
FIGURA 11 – FLUXOS DE ENTRADA E SAÍDAS DO CLEANER.....	44
FIGURA 12 - BATERIA DE CLEANERS DO ÚLTIMO ESTÁGIO DE DEPURAÇÃO	45
FIGURA 13 – CESTO E ROTOR DO DEPURADOR PRESSURIZADO	46
FIGURA14 – FLUXOS DE ENTRADA E SAÍDA DO DEPURADOR PRESSURIZADO	46
FIGURA 15 – SETORES PRINCIPAIS DA MÁQUINA DE PAPEL.....	47
FIGURA 16 – PERDA DE FIBRAS EM DERRAMES DE TANQUES.....	49
FIGURA 17 – TIPOS DE APARAS UTILIZADA PELA EMPRESA: A-BRANCA I, B- BRANCA II, C-BRANCA III, D-BRANCA IV, E-MISTA, F-REFILE	51
FIGURA 18 – FLUXOGRAMA DO PREPARO DE MASSA E RECEBIMENTO DE APARAS.....	54
FIGURA 19 – FLUXOGRAMA DA MÁQUINA DE PAPEL.....	56

FIGURA 20 – FLUXOGRAMA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES ..	57
.....
FIGURA 21 – PRESENÇA DE FIBRAS EM LODO PROVENIENTE DA FABRICAÇÃO DE PAPEL BRANCO EM 28/10/2011.	62
FIGURA 22 – PRESENÇA DE FIBRAS EM LODO PROVENIENTE DA FABRICAÇÃO DE PAPEL SEMI-BRANCO EM 29/10/2011.	62
FIGURA 23 – PRESENÇA DE FIBRAS EM LODO PROVENIENTE DA FABRICAÇÃO DE PAPEL NATURAL 27/11/2011.	63
FIGURA 24 – PERA DE LAVAGEM E DESAGREGADOR.....	70
FIGURA 25 – PONTOS DE PERDAS DE FIBRAS DIRECIONADO PARA O TANQUE SUREMA.....	71

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PRINCIPAIS ANÁLISES REALIZADAS DURANTE O TRABALHO	59
TABELA 2 - VAZÃO DE ORGÂNICOS NO LODO DURANTE A FABRICAÇÃO DOS TRÊS TIPOS DE PAPÉIS	64
TABELA 3 - VAZÃO NOS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS.....	65
TABELA 4 - QUANTIFICAÇÃO DAS LINHAS IMPACTANTES NO LODO E EFLUENTE DA PRODUÇÃO DE PAPEL HIGIÊNICO BRANCO.....	66
TABELA 5 - TIPO DE PAPEL: PAPEL HIGIÊNICO SEMI-BRANCO	68
TABELA 6 – TIPO DE PAPEL: PAPEL HIGIÊNICO NATURAL.....	69
TABELA 7 - PAPEL HIGIÊNICO NATURAL – AVALIAÇÃO SUPORTE	72
TABELA 8 - ANÁLISE DE RETENÇÃO DE FIBRAS NA MÁQUINA DE PAPEL – PAPEL SEMI- BRANQUEADO	73
TABELA 9 - ANÁLISE DE RETENÇÃO DE FIBRAS NA MÁQUINA DE PAPEL – PAPEL NATURAL.....	74

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CLV – Clarificador Vertical

CTMP - Chemithermomechanical Pulp

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

ECF - Elemental Chlorine Free

ETE - Estação de Tratamento de Efluente

HDC – High Density Cleaner

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

PAR – Pasta de Alto Rendimento

PCDDs – Polychlorinated Dibenzodioxins

PCDFs - Polychlorinated Dibenzo-furans

PGW - Pressure ground Wood

RMP - Refiner Mechanical Pulp

SGW - Stone ground Wood

SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente

SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

SS - Sólidos Suspensos

SUASA – Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária

TAPPI – Technical Association of Pulp and Paper Industry

TCF - Totally Chlorine Free

TGW - Temperature ground Wood

TMP - Thermomechanical Pulp

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
1.1 OBJETIVO GERAL.....	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	20
2.1 FABRICAÇÃO DE POLPA CELULÓSICA PARA FABRICAÇÃO DE PAPEL – VISÃO GERAL	20
2.1.1 Cozimento da Madeira - Polpação Kraft	21
2.1.2 Polpação mecânica.....	24
2.2 FABRICAÇÃO DE PAPEL – VISÃO GERAL.....	27
2.2.1 Fabricação de papel a partir de fibra virgem.....	27
2.2.2 Processo de fabricação de papéis – Foco papel reciclado	28
2.2.2.1 A importância do papel reciclado para a economia, ambiente e sociedade..	32
2.3 AS ORIGENS E DESTINOS DOS LODOS DA FABRICAÇÃO DE PAPEL	34
2.4 EQUIPAMENTOS ONDE PODEM OCORRER PERDAS DE FIBRAS DURANTE A FABRICAÇÃO DE PAPEL	42
2.4.1 Perdas de fibras no depurador centrífugo.....	43
2.4.2 Perdas de fibras nos depuradores pressurizados.....	45
2.4.3 Perdas de fibras na máquina de papel	47
2.4.4 Redução da perda de fibras na máquina de papel utilizando polímero	48
2.4.5 Perda de fibras por derrames e transbordos de tanques.	49
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	50
3.1 DESCRIÇÃO EMPRESA TRÓPICOS – LOCAL DE APLICAÇÃO DO TRABALHO	50
3.2 DESCRIÇÃO BÁSICA DOS FLUXOGRAMAS DE MASSA, ÁGUA E EFLUENTE E AS ORIGENS DO LODO NA EMPRESA ESTUDADA	52
3.2.1 Preparo de massa na empresa estudada - Descrição básica.....	52

3.2.2 Máquina de papel da empresa estudada - Descrição básica.....	55
3.2.3 Estação de tratamento de efluentes da empresa estudada – descrição básica	56
3.3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS	58
3.3.1 Análises realizadas antes e após a otimização.....	59
3.3.2 Procedimentos básicos das análises e normas.	60
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
4.1 ANÁLISE MICROSCÓPICA DO LODO	61
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO	64
4.2.1 Análise de orgânicos do lodo.....	64
4.2.2 Pontos de perdas de fibras no processo.....	65
4.2.3 Resultados das análises realizadas durante a fabricação de papel tissue branco	66
4.2.4 Resultados das análises realizadas durante a fabricação de papel tissue branco	67
4.2.5 Resultados de análises realizadas durante a fabricação de papel tissue natural	68
4.2.6 Avaliações suporte para otimização	69
4.2.7 Resultados das Análises laboratoriais de retenção de fibras na máquina de papel.....	73
5 CONCLUSÃO.....	76
6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	78
REFERÊNCIAS.....	79
ANEXOS	83

1 INTRODUÇÃO

É uma realidade mundial a preocupação com o desenvolvimento sustentável e com a escassez dos recursos advindos da natureza. Busca-se um desenvolvimento em harmonia com o ambiente, garantindo a qualidade de vida das gerações futuras. Neste contexto, no Brasil, são de suma importância algumas leis e decretos e entre elas estão: a lei nº 9.433, a qual institui a política nacional de recursos hídricos, a lei nº 6938, que estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente e a lei nº 12.305 que estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Com a finalidade de atender as duas primeiras leis citadas acima, as fábricas de papel tendem a reaproveitar grande parte da água, diminuindo a carga no efluente e também a quantidade de água fresca retirada do meio ambiente. Para reaproveitamento da água, esta deve passar por um sistema de retirada de parte dos sólidos contidos na mesma, devido aos problemas de incrustações e diminuição da qualidade do papel. A água reaproveitada é enviada para um sistema de flotação com polímeros e ar, gerando uma espécie de lodo (resíduo sólido) que passa por sistema de prensagem ou centrifugação e posteriormente é descartado, tornando-se um problema ambiental. Este lodo, na maioria das fábricas de papel, contém grande percentagem de fibras celulósicas, além de produtos inorgânicos como carbonato de cálcio e caulim.

Falando-se somente em fábrica de papel reciclado, a quantidade de lodo é muito abundante, sendo de 30 a 60 kg por tonelada (base seca) de papel produzido no caso de papéis para embalagem e de 200 a 400 kg por tonelada (base seca) no caso da produção de papel higiênico a partir de reciclados. Isto significa que temos uma fábrica oculta produzindo resíduos. (FOELKEL, 2009)

A análise física e química do lodo gerado, juntamente com um balanço de massa e água em pontos específicos na máquina de papel, possibilita a otimização do processo através da recirculação da parte fibrosa e redução da dosagem de produtos químicos, além de diminuir a quantidade de água enviada para o efluente, reduzindo consideravelmente o impacto ambiental e aumentando a sustentabilidade da empresa. Este processo permite à empresa atender, desta maneira, a nova e importante lei nº 12.305 que instituiu a Política Nacional de resíduos sólidos sancionada em 2 de agosto de 2010. Atendendo a esta última Lei,

as empresas fabricantes de papel buscam a redução e/ou destino para estes lodos, o que muitas vezes é dificultado pela presença de componentes químicos ou pelo custo da destinação final.

A fabricação de papel a partir de fibras virgens gera lodo com grande quantidade de orgânicos, sendo de fácil aproveitamento para a fabricação de outros papéis, recirculação no próprio processo ou como adubo orgânico. Já a fabricação de papel a partir de aparas gera um lodo com grande quantidade de materiais inorgânicos que acaba inviabilizando o seu retorno ao processo devido à grande quantidade de tinta de impressão presente. Quanto ao conteúdo de cargas minerais, esta pode ou não inviabilizar o retorno do lodo, dependendo do tipo de papel sendo produzido, por exemplo, papel da linha higiênico perde qualidade com o retorno do material inorgânico presente no lodo, porém papéis da linha de impressão podem aproveitar o lodo, pois estes requerem materiais inorgânicos na sua estrutura, como o carbonato de cálcio e o caulim, porém este reaproveitamento somente é possível se estiverem ausentes tintas de impressão. Outras áreas de aproveitamento, do lodo de uma fábrica de papel tissue que produz papel a partir de aparas de papel de impressão, são na fabricação de cerâmica, de blocos de cimento ou similares, com baixa densidade.

A Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010 vem de encontro a estas preocupações, sendo que estão sujeitas à observância desta lei as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, responsáveis, direta ou indiretamente, pela geração de resíduos sólidos e as que desenvolvam ações relacionadas à gestão integrada ou ao gerenciamento de resíduos sólidos. (BRASIL, 2010)

A destinação de resíduos incluindo a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações são admitidas pelos órgãos competentes do SISNAMA, do SNVS e do SUASA, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos. Baseado nesta lei a indústria de papel reciclado vem a executar duas ações contribuintes à produção sustentável que é a reciclagem do papel, diminuindo os resíduos urbanos e o estudo para a disposição final adequada do resíduo sólido gerado no processamento do reciclado. (BRASIL, 2010)

O estudo do destino do resíduo sólido gerado na indústria de papel reciclado ou outra indústria de papel vem a satisfazer a gestão integrada de

resíduos sólidos que trata do conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável na disposição final adequada do resíduo sólido gerado no processamento do reciclado. (BRASIL, 2010)

Ainda, a produção de papéis a partir de reciclados vem contribuir com a logística reversa que é um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos ou outra destinação final ambientalmente adequada. Neste parágrafo, proveniente da Política Nacional de Resíduos Sólidos, está evidente o que muitas fábricas de papel tissue realizam atualmente: Compram aparas provenientes de papéis de impressão usados ou não e os convertem em papel higiênicos, contribuindo assim com o desenvolvimento sustentável através do ciclo produtivo. Outro item importante a ressaltar é que muitas fábricas ao se preocuparem com a otimização do processo, de modo a evitar ou diminuir a produção de resíduos sólidos, estão inseridas na Política Nacional de Resíduos Sólidos, sendo que esta exige a seguinte ordem de prioridade: Não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final, ambientalmente adequada, do resíduo sólido gerado no processamento do reciclado. (BRASIL, 2010)

Baseado nesta premissa as fábricas de papel buscam recircular o máximo de suas perdas em equipamentos de modo que depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final, ambientalmente adequada, do resíduo sólido gerado no processamento do reciclado. Neste contexto, após redução do material fibroso o lodo torna-se um produto mais rentável podendo ser utilizado na fabricação de materiais secundários como a fabricação de blocos de cimento pré-moldados, cerâmicas, tijolos e outros que eram inviáveis com a presença de excesso de fibras no lodo. (BRASIL, 2010)

1.1 OBJETIVO GERAL

Reduzir o resíduo sólido orgânico de uma máquina de papel tissue, diminuindo o impacto ambiental direto e em potencial.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o lodo resultante da fabricação de papel quanto à presença de materiais orgânicos, verificando-se o percentual passível de reutilização no processo, sem comprometimento com a qualidade final do papel.
- Qualificar e quantificar os fluxos mais impactantes na geração do lodo e sugerir melhorias no fluxograma ou no processo, compatíveis com uma menor formação de lodo residual e menor perda de produtos químicos de processo.

2 REVISÃO DA LITERATURA

No Brasil, as empresas que fabricam celulose a partir de fibras virgens plantam as árvores para fazer o papel, preservando as florestas nativas e evitando o desmatamento. As árvores são cortadas e novas árvores são plantadas. As cascas e resíduos são utilizadas como fonte de energia para a própria fábrica e também servirão como adubo orgânico nas florestas. Na fabricação de celulose os produtos químicos são recuperados e reaproveitados principalmente no processo kraft.

A fabricação de papel a partir de reciclados toma ainda uma importância maior, pois oferece um destino nobre para um produto que não é lixo. Além disso, gera oportunidades de trabalho e renda para pessoas que de outra forma são excluídas do mercado. É o principal elo de sustentabilidade para o setor. (MAIOLINO, 2010)

2.1 FABRICAÇÃO DE POLPA CELULÓSICA PARA FABRICAÇÃO DE PAPEL – VISÃO GERAL

Papel é essencialmente uma folha de fibras de celulose com grande quantidade de insumos adicionados com a finalidade de fornecer certas qualidades específicas para o uso final, como resistências mecânicas e propriedades ópticas como branca, alvura.

A massa para fabricação de papel pode ser proveniente de fibras virgens extraídas por processos químicos ou mecânicos ou produzidas pelo reprocessamento de papéis recuperados denominado aparas. (ALESANDERSSON, 2003)

Nos processos de polpação, a matéria prima é transformada em fibras individuais. A madeira é a principal matéria-prima, mas, outras matérias-primas não lenhosas também podem ser utilizadas. (ALESANDERSSON, 2003)

A composição exata da matéria-prima virgem varia de acordo com o tipo e espécie, porém os constituintes mais importantes são: celulose, hemicelulose e lignina. A madeira contém aproximadamente 50% de água, os demais

constituintes apresentam a seguinte composição volumétrica: 40% a 45% de celulose, 20 a 35% de hemicelulose, 15 a 35% de lignina e aproximadamente 4% de outros materiais. (VENA, 2005)

O principal processo químico para extração de fibras virgens da madeira é o processo Kraft, onde a madeira é cozida em digestores sob pressão e temperaturas controladas. Neste processo é alcançado um rendimento entre 50 e 60%. (NAVARRO, 2004)

Nos processos mecânicos de obtenção de fibras no qual se obtém a chamada pasta de alto rendimento, forças de cisalhamento mecânico são usadas para arrancar as fibras da madeira, sendo que a maioria da lignina permanece com a fibra.

Na pasta proveniente do processo mecânico um percentual em torno de 85% a 96% dos componentes da madeira são retidos nos produtos finais, por esta razão são referidas como “pasta de alto rendimento” ou PAR. (VENA, 2005)

Polpas produzidas em diferentes formas possuem diferentes propriedades, o que as adapta para produtos específicos. A produção de papel através de reciclados requer maior limpeza da massa em relação à produção de papel a partir de fibras virgens.

Dependendo da qualidade que se deseja ao produto final, a massa de fibras proveniente de aparas coloridas poderá passar por sistemas avançados de destintamento como flotação e dispersão. Caso as aparas recebidas pela fábrica contenham baixo teor de papéis coloridos ou impressos, somente peneiras feitas com telas usadas da própria máquina de papel serão suficientes para a remoção da tinta. (ALESANDERSSON, 2003)

2.1.1 Cozimento da Madeira - Polpação Kraft

O processo Kraft é o processo mundialmente dominante na produção de polpas químicas e pode ser executado através de processo contínuo ou descontínuo. Nesse processo é possível utilizar a maioria das espécies de madeira, produzindo uma polpa de alta resistência. (WANE, 2009)

O processo Kraft, cujo fluxograma é apresentado na FIGURA 1, é também

conhecido como processo sulfato e engloba o tratamento dos cavacos com uma mistura de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio para quebrar a ligação entre lignina e celulose na madeira, individualizando as fibras. (SMOOK, 2002)

No processo Kraft, os cavacos de madeiras são alimentados em vasos de pressão chamados digestores. Em algumas indústrias os digestores operam de modo descontínuo e em outras, mais avançadas, operam de modo contínuo. (CARDOSO, 2006)

O mais famoso digestor contínuo é o Kamyr. Dentro do digestor, os cavacos são impregnados com o licor de cozimento ou licor branco sendo que este é uma mistura de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio produzido no sistema de recuperação da fábrica de celulose. (SMOOK, 2002)

Durante o cozimento, o licor branco dissolve parte da lignina da madeira e transforma-se no licor preto. Tipicamente o processo de deslignificação requer vários minutos na temperatura de 166°C a 177°C. Nestas condições a lignina e parte da hemicelulose degradam-se a fragmentos que são solúveis no líquido alcalino forte. Após o cozimento, o cavaco cozido é descarregado pelo fundo do digestor. (CARDOSO, 2006)

A maior parte do licor preto resultante do cozimento é concentrada, em evaporadores, para 60% de sólidos, podendo chegar até 80%, dependendo do processo e posteriormente queimado na caldeira de recuperação para recuperar e reutilizar químicos inorgânicos no processo de cozimento. (SMOOK, 2002)

A polpa marrom despressurizada é direcionada para os estágios de lavagem em contra corrente para remover totalmente o licor preto ainda presente entre as fibras. Após a lavagem, a polpa é direcionada para depuradores e pode seguir ou não para os estágios de branqueamento, conforme o tipo de papel que se deseja produzir. (SMOOK, 2002)

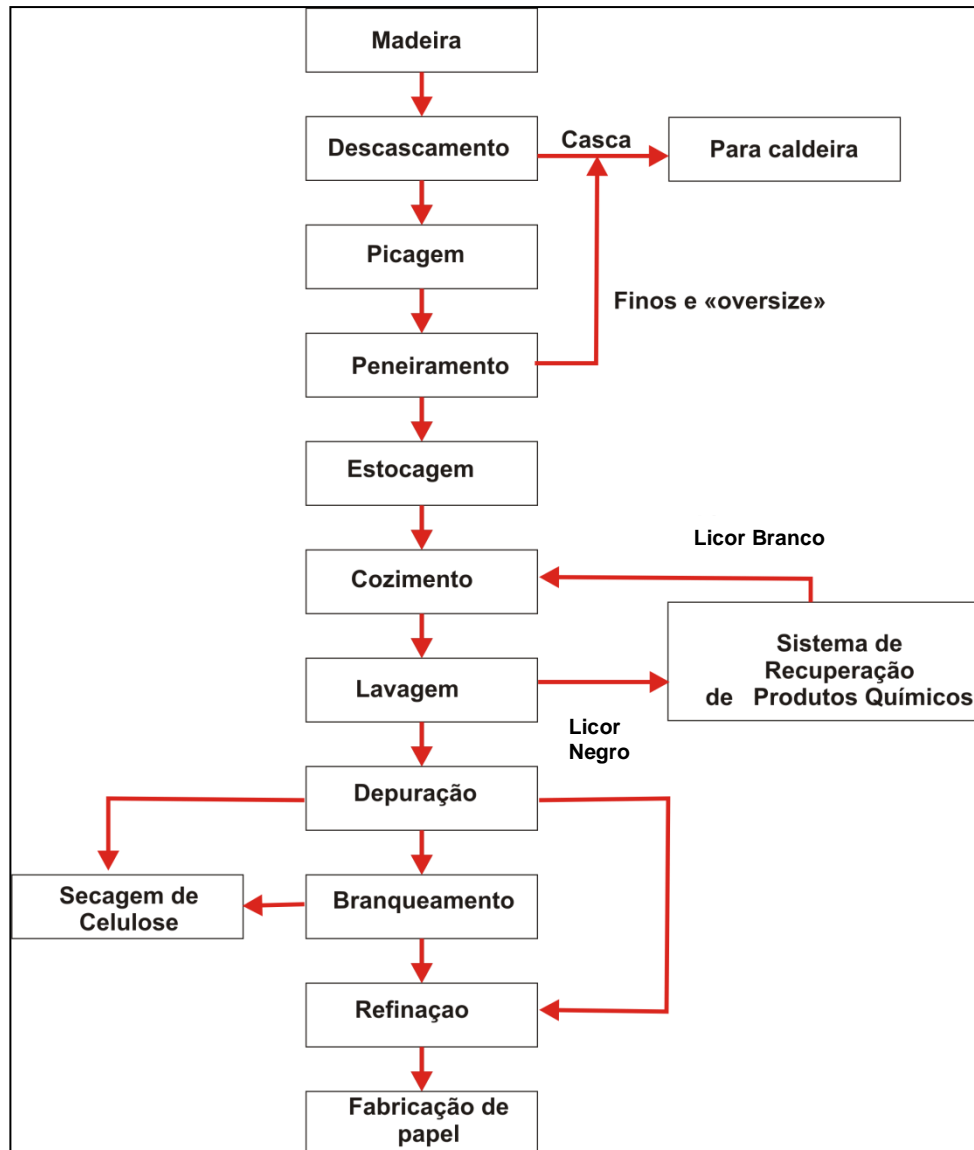


FIGURA 1 – FLUXOGRAMA BÁSICO DO PROCESSO KRAFT
 FONTE: O autor (2011)

No branqueamento da polpa celulósica podem ser utilizados diversos produtos químicos como: Dióxido de cloro, hidróxido de sódio, peróxido de hidrogênio, hipoclorito de sódio e outros. Normalmente o processo inicia com o dióxido de cloro, sendo seguido por um estágio com aplicação de hidróxido de sódio. Após estes estágios existem outros estágios com sequências que variam muito de fábrica para fábrica, alternando o dióxido de cloro, o hidróxido de sódio e o hipoclorito de sódio. Como o cloro é um agente poluidor de difícil tratamento, atualmente utiliza-se também o oxigênio para substituir parte do cloro, visando um menor impacto ambiental. (NAVARRO, 2004)

Quanto ao uso do cloro para branqueamento da polpa celulósica, é

possível ter-se dois tipos de branqueamento. O primeiro deles é denominado branqueamento ECF (*Elemental Chlorine Free*), neste caso utiliza-se compostos de cloro como o dióxido de cloro e hipoclorito de sódio, porém neste processo não há o uso do cloro elementar em forma de gás cloro. O segundo tipo de branqueamento é o branqueamento TCF (*Totally Chlorine Free*), onde não há espécie alguma de cloro. O branqueamento ECF é o mais utilizado atualmente, devido à qualidade da polpa celulósica. (WÄNE, 2009)

2.1.2 Polpação mecânica

Na polpação mecânica as fibras de madeira são separadas por energia mecânica aplicada diretamente à madeira formando uma pasta denominada pasta mecânica. (NAVARRO, 2004)

Popularmente se diz que a fibra é ralada ao invés de ser cozida como no processo químico de fabricação de celulose. O objetivo é manter parte da lignina a fim de alcançar alto rendimento com aceitável resistência mecânica e brancura.

Os principais processos são: Pasta mecânica convencional (MP), pasta termomecânica (TMP) e pasta quimotermomecânica (CTMP)

A polpa mecânica foi o primeiro sucesso industrial da utilização da madeira como matéria prima para a fabricação de papel. Este processo pode ser dividido em dois grupos principais. Um deles é a fabricação através de toras de madeiras raladas em pedras ou rebolos. Este grupo é subdividido em SGW (*Stone Ground Wood*), TGW (*Temperature Ground Wood*) and PGW (*Pressure Ground Wood*). (VENA, 2005)

O segundo grupo consiste das pastas de alto rendimento produzidas por refinador e entre elas temos RMP (*Refiner Mechanical Pulp*), TMP (*Thermomechanical Pulp*) e CTMP (*Chemithermomechanical Pulp*). O processo de RMP foi desenvolvido em 1960 através do qual cavacos crus de madeira são tratados nas facas de um refinador de disco, podendo ser utilizados outros tipos de matérias primas como por exemplo, o pó de serra.

Em meados dos anos 60 foi desenvolvido o processo de TMP, onde a madeira era tratada em dois estágios, primeiramente num refinador pressurizado a

alta temperatura (130 °C) e posteriormente num refinador trabalhando na pressão atmosférica, isto melhorou a resistência do papel em comparação com a RMP. Em 1968 para melhorar a resistência das fibras acrescentou-se um estágio de pré-aquecimento com vapor antes dos refinadores. A energia proveniente destes aquecimentos pode ser recuperada. Infelizmente as pastas de alto rendimento trazem danos às fibras e amarelecimento do papel devido à reação da lignina remanescente no papel com o calor e luz ultravioleta. (VENA 2005)

A pasta proveniente do processo termomecânico tem um rendimento inferior à pasta mecânica convencional, ficando num valor entre 92 a 95%. A resistência mecânica e a qualidade do papel produzido com a pasta TMP são maiores em relação ao papel produzido pela pasta mecânica convencional. (NAVARRO, 2004)

No processo CTMP (*Chemithermomechanical Pulp*) os cavacos são cozidos em meio a um tratamento químico alcalino com teor de sulfito de sódio que varia de 1 a 5% sobre a madeira seca. (ALESANDERSSON, 2003)

Esta presença de produtos químicos em baixas porcentagens facilitará a desfibragem em comparação com a pasta TMP, sem reduzir excessivamente o rendimento, o qual ficará entre (60 a 90%). (NAVARRO, 2004)

A pasta CTMP, utiliza um pré-tratamento químico, que embora seja em pequenas proporções confere ao processo um licor que é de difícil recuperação devido ao seu baixo teor de componentes inorgânicos, não podendo ser queimado em caldeira. Esta pasta acaba aumentando a carga dos efluentes. (VENA 2005)

Atualmente as pastas de alto rendimento só são adequadas para utilização em papel jornal e também para compor a parte central de cartões de três camadas, sendo inviáveis para papel tissue e similares. (VENA, 2005)

Na FIGURA 2 é mostrado um fluxograma de um processo de pasta de alto rendimento.

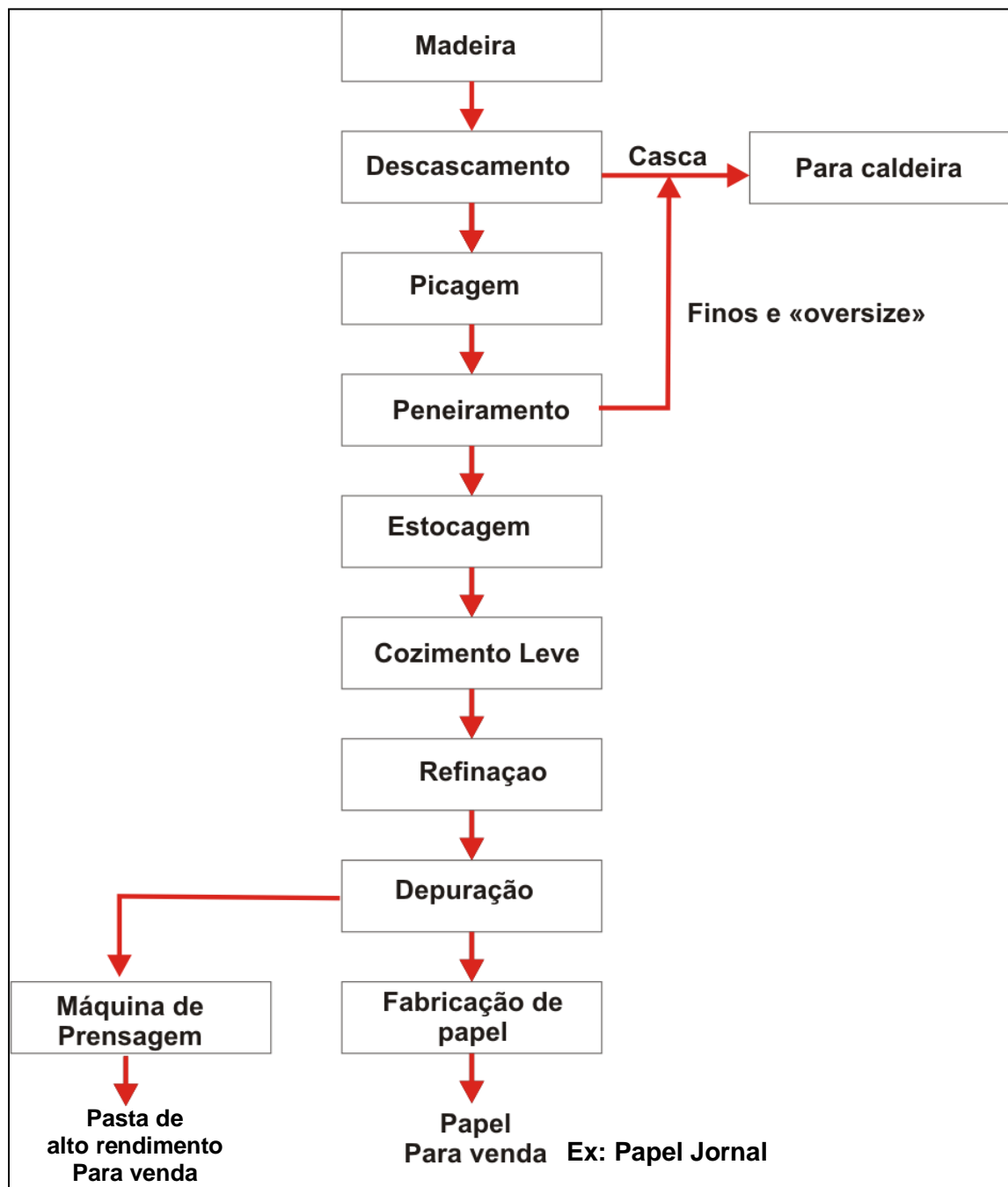


FIGURA 2 – PROCESSOS DE OBTENÇÃO DE POLPAS DE ALTO RENDIMENTO
 FONTE: O autor (2011)

2.2 FABRICAÇÃO DE PAPEL – VISÃO GERAL

A fabricação de papel pode ser realizada a partir de fibra virgem ou de reciclados. A fibra reciclada é definida como qualquer material fibroso que passou pelo processo de fabricação e está sendo reciclada como matéria prima para a produção de um novo papel. Obviamente a qualidade de um papel de fibras virgens é maior que o papel de fibras recicladas, porém com um tratamento adequado o papel de fibras recicladas pode se comparar ao de fibra virgem. (SMOOK, 2002)

2.2.1 Fabricação de papel a partir de fibra virgem

A fabricação do papel inicia-se no desagregador, onde a matéria-prima em fardos é desagregada transformando-se em uma suspensão diluída. O desagregador tem capacidade que varia de 0,5 a 20 m³. Após a desagregação a polpa celulósica é direcionada para a refinação na qual a fibra sofrerá um tratamento de fibrilação, aumentando sua área superficial. O refinador é composto de rotor e estator onde o aperto entre ambos irá definir o grau de refinação que depende do tipo de matéria prima utilizada e do produto final. (DRUMOND, 2004)

Após a refinação a suspensão de fibra é direcionada para o tanque de mistura, onde se inicia a adição de outros componentes químicos que irão constituir o papel. Do tanque de mistura a massa é direcionada para o sistema de depuração ou limpeza fina composta de limpadores centrífugos e depuradores pressurizados, os quais limpam a massa por força centrífuga e por peneiras, respectivamente. (DRUMOND, 2004)

Seguindo o sistema de depuração fina tem-se a máquina de papel propriamente dita, começando pela caixa de entrada a qual possui uma fenda que distribui a suspensão de fibras de forma homogênea sobre uma tela. A caixa de entrada também possui elementos no seu interior que ajudarão na desfloculação das fibras, melhorando a formação do papel. (DRUMOND, 2004)

Da caixa de entrada a massa é direcionada em forma de jato para a tela de formação que possui elementos para a drenagem da água da suspensão de fibras,

passando de uma concentração de cerca 0,5% para cerca de 20% na saída da tela. (ANDRIONI, 2006)

Após a tela de formação, a suspensão já em forma de folha úmida entra no setor de prensagem que pode conter 2, 3 ou 4 prensas dependendo do tipo de máquina de papel presente. (DRUMOND, 2004)

Existem diversas configurações de prensas, porém são compostas basicamente de rolo inferior, rolo superior e um feltro para absorção de grande parte da água que é extraída do papel. Na saída da última prensa, a umidade da folha estará entre 55 a 60 %, seguindo então para o sistema de secagem. (DRUMOND, 2004)

Na secagem final do papel utilizam-se cilindros secadores de aço, aquecidos a vapor com diferentes pressões que depende da velocidade da máquina e gramatura do papel. Os cilindros aquecem o papel e então a água evaporada é extraída por exaustores especiais acoplados em uma capota da secagem. A umidade do papel na saída da secagem varia de 3 a 8% dependendo do tipo do papel a ser fabricado. Algumas máquinas de papel, como por exemplo, a máquina de papel tissue, possui somente um cilindro secador denominado de secador Yankee. (DRUMOND, 2004). Finalmente o papel é enrolado em um eixo metálico denominado estanga e então é enviado para a rebobinadeira para ser cortado em bobinas de tamanhos especificados pelos clientes. (ANDRIONI, 2006)

2.2.2 Processo de fabricação de papéis – Foco papel reciclado

A indústria de celulose e papel é uma dos setores industriais mais amplos no mundo. O papel apresenta, entre outros, a grande vantagem de poder ser reciclado diversas vezes reduzindo perdas. A produção de papel a partir de reciclados envolve significativa economia de energia e água, comparado com o processo que utiliza somente fibras virgens. Cada tonelada de papel evita aproximadamente o corte de 15 a 20 árvores. Também a reciclagem do papel produz 74% menos de poluição atmosférica e ainda cria novos empregos. (BENÍTZ *et al.*, 2011)

A diferença entre a fabricação de papéis de fibras virgens e a fabricação de

papéis a partir de reciclados é que nesta última existe uma maior quantidade de equipamentos de limpeza antes do refinador. O restante dos equipamentos é similar.

Antes da primeira operação do processo de reciclagem é necessário realizar uma classificação do papel recuperado, que geralmente é realizada nas cooperativas de aparas das cidades. A importância desta separação está no fato de que se o papel usado for enviado para reciclagem com certos contaminantes, a sua reciclagem ficará dificultada.

Os principais papéis que não podem ser reciclados devido a fins sanitários e devido a problemas no processo são: Papel químico, etiquetas adesivas, autocolantes, papel térmico (para fax, por exemplo), envelopes com janela (embora se possa retirar a janela e reciclar o resto do envelope), toalhas, lenços e guardanapos de papel, pratos, copos de papel e papel impermeabilizado. (FED, 2000, *apud* ANTUNES, 2001)

A produção de papel a partir de fibras recicladas inicia quando estas são colocadas dentro do desagregador (FIGURA 3), juntamente com água fresca ou água recuperada do processo, sendo então desagregadas através da agitação hidráulica e mecânica, individualizando-as.

Normalmente a água utilizada na desagregação é uma água recirculada do processo e que é denominada de água branca da máquina de papel. Alguns produtos químicos como agentes de destintamento, hidróxido de sódio e matizantes ópticos são frequentemente adicionados como aditivos de desagregação.

Muitas das impurezas contidas nas aparas têm dimensões maiores que a chapa perfurada de saída do desagregador.

Estes contaminantes deverão ser retirados continuamente do interior do desagregador por duas razões: Primeiro é que se os mesmos permanecem no interior do equipamento por mais de um ciclo de desagregação, estarão diminuindo o volume do desagregador, reduzindo a capacidade deste.

A segunda razão é que se estes contaminantes permanecem por muito tempo dentro do desagregador, os mesmos terão uma maior tendência de se quebrarem, diminuindo a sua dimensão, o que os permite cruzar a placa perfurada do desagregador, contaminando então os processos posteriores.

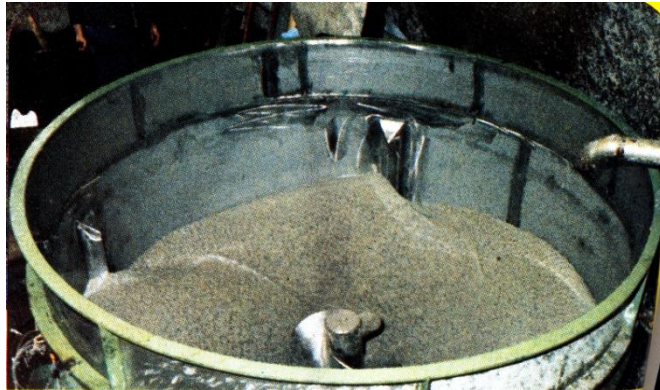


FIGURA 3 – DESAGREGADOR DE PAPÉIS RECICLADOS
FONTE: CATÁLOGO BELOIT

Os contaminantes grosseiros constam de plásticos e pedras, que na sua maioria, são removidos já no próprio desagregador ou em equipamentos auxiliares posteriores como os turbos e os areieiros. (FIGURA 4)

No tratamento de fibras recicladas há um grande número de equipamentos secundários posteriores ao desagregador que ajudam na desagregação, despastilhamento e limpeza, removendo impurezas de diversos tamanhos e diversas densidades como pedras e plásticos, entre outros. Como exemplo destes equipamentos de limpeza, podemos citar as peneiras vibratórias e as peneiras cilíndricas, em forma de tambor, são utilizadas no processo. (ANDRIONI, 2006)

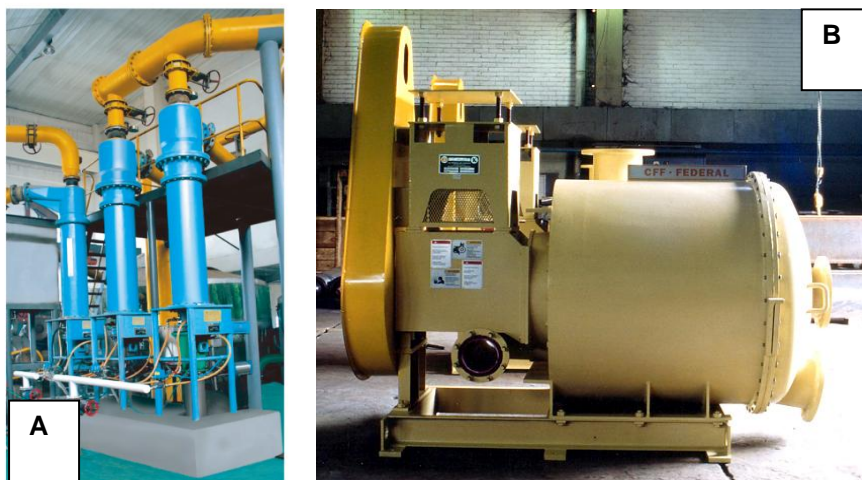


FIGURA 4 – AREIEIROS(A) E TURBOS SEPARADORES (B)
FONTE: CATÁLOGO BELOIT

Em algumas fábricas de papéis reciclados existe também a operação unitária de destintamento que consiste em um processo industrial de remoção de tintas de impressão do papel reciclado, sendo que este efeito é alcançado através da combinação entre ação mecânica e química, aumentando a brancura do papel produzido a partir de aparas impressas. (SMOOK, 2002)

Na Europa o processo mais comum para destintamento é a flotação (FIGURA 5A), no qual são adicionados polímeros tensoativos e ar na massa com o intuito de flotar a tinta de impressão presente, clareando as fibras, sendo esta operação realizada em equipamento denominado célula de flotação. No Brasil o destintamento da massa é realizado, principalmente, em equipamento denominado Side Hill (FIGURA 5B), que são peneiras inclinadas para onde a massa é direcionada, removendo a tinta do papel reciclado. Esta tinta, juntamente com pequenas partículas de fibras denominadas finos, irá compor o lodo. (SMOOK, 2002)

Antes de entrar na torre de estocagem a polpa, proveniente da desagregação e limpeza prévia do papel reciclado, poderá ser branqueada através da utilização de produtos químicos como peróxido de hidrogênio, hidrosulfito de sódio e outros. (SMOOK, 2002)

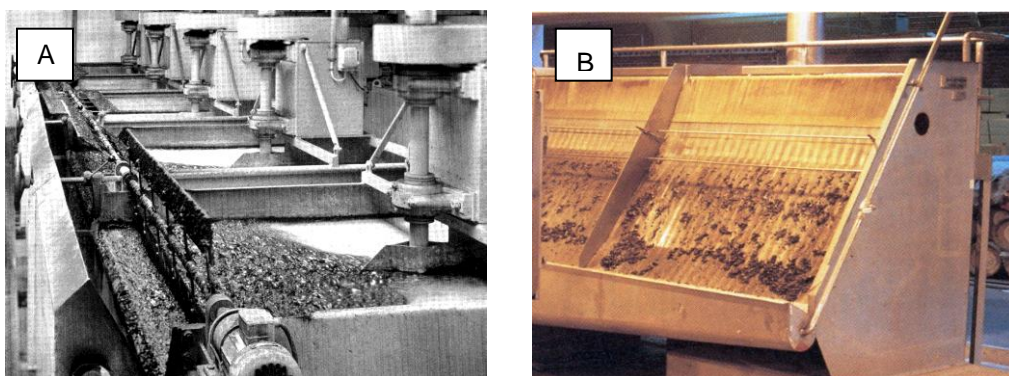


FIGURA 5 - CÉLULAS DE DESTINTAMENTO(A) E PENEIRA INCLINADA SIDE HILL (B) PARA PAPÉIS RECICLADOS

FONTE: CATÁLOGO HERGEN

Na FIGURA 6 está apresentado um fluxograma simplificado de um processo de fabricação de papel a partir de aparas.

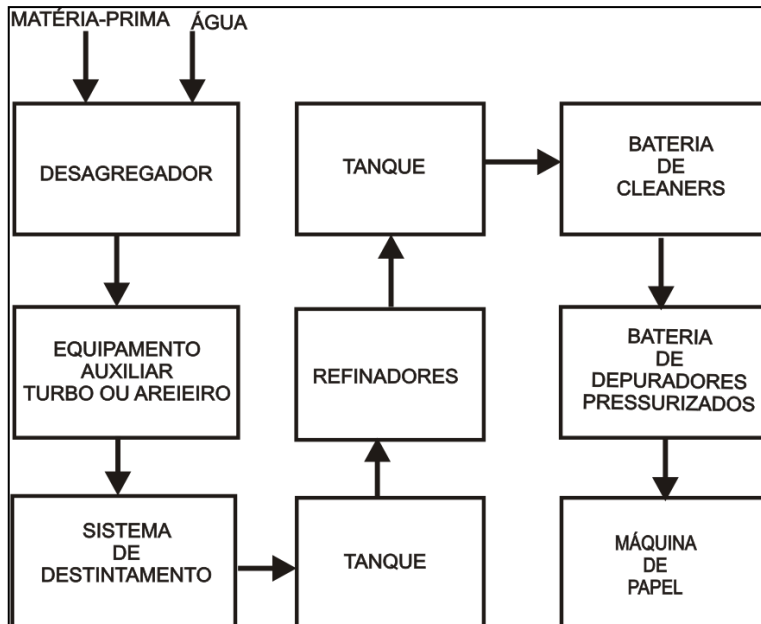


FIGURA 6 – FLUXOGRAMA BÁSICO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL A PARTIR DE RECICLADO
 FONTE: O AUTOR (2011)

2.2.2.1 A importância do papel reciclado para a economia, ambiente e sociedade

O aumento da conscientização ambiental está levando a uma maior demanda por papéis reciclados e a uma separação destes de forma mais efetiva por parte do consumidor, o que reflete na diminuição da carga dos aterros. A reciclagem traz tanto benefícios para as empresas como para a comunidade, isto é um aspecto da filosofia preservacionista. (GALLON, *et al.*, 2006)

Outro aspecto importante da reciclagem está no âmbito industrial devido à contribuição para a redução do consumo de energia na produção de papel e celulose, redução da poluição do ar e redução da poluição hídrica. (GALLON, *et al.*, 2006)

O fato de se utilizar fibras alternativas à madeira não inviabiliza a necessidade da reciclagem de papel. A fabricação contínua de papel,

independentemente do tipo de fibras utilizadas, sem à sua reciclagem provoca desperdício de recursos onde está incluso tanto o plantio de árvores para serem cortadas, como a necessidade crescente de áreas agrícolas para o cultivo de outras espécies vegetais. (KINSELLA, 1996)

Papel reciclado é todo papel fabricado a partir de fibras recuperadas de outros papéis e cartões usados, provenientes da coleta seletiva (FIGURA 7) e também dos rejeitados pela indústria transformadora de papel e cartão (refugos) e que nunca chegaram ao consumidor final (FED, 2000, *apud* ANTUNES, 2001)

As fibras não podem ser recicladas infinitamente, portanto mesmo que o fabrico de papel utilize como matéria-prima principal fibras secundárias é natural que seja incorporada uma parte de fibras virgens. Este papel será considerado papel virgem ou papel reciclado? Qual a percentagem de fibras secundárias que um tipo papel deve conter de forma a ser considerado reciclado? O termo papel reciclado ainda não foi concretamente definido. (ANTUNES, 2001)

Os diversos tipos de fibras que contém os papéis reciclados é a base para distingui-los no mundo da reciclagem. A distinção entre os vários tipos de papel reciclado está baseada no tipo de fibra que contém. Alguns produtos são ditos “100% reciclado”, no entanto, são produzidos apenas com resíduos do fabrico da pasta de papel e, da transformação do papel, sem nunca terem chegado ao consumidor. Outros são também rotulados como sendo “100% reciclado” e contém uma percentagem de papel proveniente da coleta seletiva (pós-consumo) e outra percentagem de aparas (pré-consumo) (KIMBALL, 1992, *apud* ANTUNES, 2001)



FIGURA 7 – APARAS PARA A FABRICAÇÃO DE PAPEL A PARTIR DE RECICLADO
FONTE: O AUTOR (2011)

Em Portugal, as fábricas de reciclagem de papel utilizam como matéria-prima papel e cartões usados, rejeitados (ou aparas) da indústria de transformação de papel e cartão e ainda lamas da indústria de pasta de papel. (ANTUNES, 2001)

Só o fato de reciclar o papel, retirando-o da natureza, não faz deste um papel ecológico. Para ser um papel ecológico, o processo de fabricação também deve ser isenta de poluição atmosférica, hídrica, sonora ou qualquer outro tipo de poluição. Ainda não basta possuir um tratamento de efluentes com preocupação no efluente hídrico, tem-se que pensar também nos destinos dos resíduos sólidos gerados (FED, 2000, *apud* ANTUNES, 2001)

A preocupação a respeito do papel reciclado é que as fibras vão sendo degradadas a cada reciclagem, principalmente depois da quarta reciclagem após a qual, as fibras se tornam tão curtas e fracas para serem úteis na fabricação de certos tipos de papel, como o papel de embalagem, por exemplo.

2.3 AS ORIGENS E DESTINOS DOS LODOS DA FABRICAÇÃO DE PAPEL

Nas últimas décadas, as discussões sobre questões ambientais têm alterado o panorama mundial, afetando diretamente as empresas, tendo em vista que o mercado consumidor começa a valorizar produtos ambientalmente corretos, tornando este mercado tão temido quanto os próprios órgãos ambientais. (MIELI, 2007)

As atividades produtivas sempre acarretarão algum impacto ambiental, seja ele positivo ou negativo. Tanto a redução dos impactos negativos ou a melhora dos impactos positivos incidem em custos para as empresas, custos estes gerados na prevenção, controle ou até correção (CAMPOS, 1996 *apud* MIELI, 2007)

As ações das empresas no sentido de prevenir, reduzir ou reutilizar resíduos internamente, visando diminuir o impacto ambiental, fazem parte do princípio da produção limpa. A prevenção se orienta em direção à tomada de decisão, selecionando entre todas as alternativas disponíveis aquelas que evitem a produção de resíduos através da otimização do processo. A minimização é aplicada em processos que tem emissões de resíduos, mas ainda tem margem para melhora, enquanto que a reutilização ou valorização interna trata-se da

reutilização das mesmas como matérias-primas alternativas dentro de própria empresa geradora. (URQUIJO *et al.*, 2000)

Ainda existe a opção de se vender o resíduo para outras empresas ou disponibilizá-lo em aterros sanitários.

Pode-se dizer que prevenir será muito mais rentável ambiental e economicamente que reduzir e por sua vez reduzir será mais eficaz que reutilizar o resíduo internamente após o mesmo ter se transformado em lodo no tratamento de efluentes (URQUIJO *et al.*, 2000). Isto porque quando perdemos algo por ineficiência, não estamos gastando mais dinheiro só para repor as perdas, há muitos outros custos que se somam, reduzindo nossas margens de lucros. Isso acontece de diversas formas, a saber:

- Maior necessidade de matérias-primas para repor as perdas;
- Maiores custos de tratamento de efluentes;
- Maior necessidade de capital para construção de estações de tratamento de efluentes e de aterros sanitários de maiores dimensões;
- Maiores custos para manuseio das perdas que se concentram na forma de resíduos a dispor;
- Custos de passivos ambientais a administrar para sempre;
- Custos de licenças, burocracia, etc. (FOELKEL, 2007)

Na produção de bens, os impactos são mais nítidos que nas atividades de geração de serviços, seja pela exploração de matérias-primas ou pelos descartes de resíduos e dentro deste contexto está o setor de celulose e papel que está sempre recebendo críticas. (MIELI, 2007)

Essas críticas devem-se, principalmente, a descartes de líquidos para os efluentes que muitas vezes são difíceis de tratar devido à alta quantidade de sólidos orgânicos e inorgânicos presentes. Grandes quantidades dos resíduos sólidos presentes na água irão compor o lodo (FIGURA 8) que na maioria das vezes tem destinos incertos, devido aos passivos ambientais e fibras presentes.

Na utilização na produção de cerâmica, por exemplo, a presença de fibra celulósica apesar de acarretar redução do gasto energético pode acarretar porosidade da cerâmica, diminuindo sua qualidade. (PINHEIRO, 2007)



FIGURA 8 – LODO PROVENIENTE DA FABRICAÇÃO DE PAPEL RECICLADO
FONTE: Catálogo HERGEN

Uma visão que prevalece nas fábricas de papéis é que os resíduos são inerentes ao processo e os operadores e gerentes se orgulham das suas grandes estações de tratamento de efluentes e de suas unidades de compostagem de resíduos sólidos. Este é um pensamento cegado pela lógica do passado de que poluição deve ser tratada ou reciclada. A poluição deve ser combatida no ponto do processo onde está se originando (FOELKEL, 2007). Muitas fábricas de papéis permitem o descarte de fibras boas e outros insumos que poderiam fazer parte da composição do papel e não serem descartadas juntamente com o lodo, que além das perdas já mencionadas, estarão sobrecarregando o tratamento de efluentes, conforme pode ser observado na FIGURA 9.



FIGURA 9 – DECANTADOR PRIMÁRIO SOBRECARREGADO DE FIBRAS CELULÓSICAS
FONTE – Catálogo BELOIT

Além do já citado os lodos das fábricas de papéis possuem algumas características mais marcantes que são: Umidade elevada, alto teor de cinzas, alta percentagem de fibras de celulose e fibrilas, baixo poder calorífico, granulometria variada, presença de íons cloretos, sulfetos, cálcio, magnésio, sódio, etc.

Outro item importante, principalmente, em fábricas que processam aparas de revistas ou outras aparas coloridas é a eventual presença de íons metálicos derivados dos pigmentos de tintas de impressão e/ou pigmentos orgânicos de corantes de papéis coloridos, que acaba inviabilizando este lodo como fertilizante ou correção do solo em agricultura. (FOELKEL, 2007)

Consideram-se metais pesados os elementos cujas densidades sejam iguais ou superiores a 5,0 g/cm³, onde se incluem elementos como o Pb, Hg, Zn, Cu, Ni, Cd, Cr, Ag, Mg e Fe. Dentre estes os mais preocupantes, por ocorrerem com frequência em concentrações tóxicas nos resíduos de papéis são: o chumbo, o zinco, o cobre, o níquel e o cádmio. (RUSSO, 2003)

No solo em concentrações muito pequenas, muitos destes elementos, tais como, boro, zinco, cobre e níquel, são essenciais para o crescimento das plantas, porém em altas concentrações são inibidores do seu crescimento. Outros elementos, tais como o arsênio, cádmio, chumbo e o mercúrio, são, especialmente, perigosos para microrganismos do solo, para animais e para o homem através da cadeia alimentar. Qualquer elemento, essencial ou útil às plantas, poderá tornar-se tóxico quando fornecido em concentrações excessivas (MALAVOLTA, 1980, *apud* RUSSO, 2003). Por outro lado, esses mesmos elementos potencialmente tóxicos para as plantas, em condições adequadas de baixas concentrações passam a elementos favoráveis ou estimulantes para as plantas. (RUSSO, 2003)

Outro destino para o lodo de fábricas de papéis que muitos fabricantes tentam é a queima do mesmo. Em geral, em função da presença de cloretos e outros resíduos da fabricação da celulose, esses lodos, quando queimados, podem gerar a formação de PCDDs e PCDFs (dioxinas e furanos)¹ nos gases de combustão, bem como nas cinzas das caldeiras. O monitoramento e controle são

¹ Furanos e Dioxinas - Compostos cíclicos saturado contendo um e dois átomos de oxigênio, respectivamente, formados em processos de combustão não controladas.

vitais, bem como a comparação dos resultados encontrados com limites impostos pelas legislações e recomendações internacionais para essas situações. (FOELKEL, 2007)

Discutindo-se sobre perda de fibras juntamente com o lodo no processo de fabricação de papel, estas perdas têm sido aceitas como normal por muito tempo em fábricas de papéis finos, devido às técnicas de limpeza da massa no sistema de preparação da mesma. Como um dos objetivos principais do sistema de preparação da massa é remoção de material estranho ou impurezas, é inevitável que uma pequena quantidade de fibras se perca juntamente com as impurezas para o efluente. (BARBER, 1998)

O que ocorre, na verdade, é falta de eficiência na operação, gerando grandes quantidades de perdas de fibras que muitas vezes não são detectadas. (BARBER, 1998)

Estes lodos que são compostos por orgânicos e inorgânicos são provenientes na maioria das vezes de rejeitos de depuradores pressurizados e de depuradores centrífugos que são encaminhados para o efluente sem controle, também são originários do sistema de limpeza e recuperação de fibras da água branca de processo. (URQUIJO *et al.*, 2000)

As perdas de fibras também podem ocorrer devido a transbordos de tanques e ainda devido a resíduos de papéis e fibras que caem ao chão da fábrica e são levados até ao efluente por lavagens feitas por operadores. Não importa a origem, as fibras perdidas são direcionadas para o efluente e irão sair deste com diversas impurezas compondo assim o lodo. Enfim, um material que era bom e nobre, acaba virando um resíduo sujo a descartar (FOELKEL, 2007). O teor de fibras e cargas minerais varia conforme a indústria de papel, sendo que em fábricas de papel reciclado o teor de inorgânicos presentes é maior que em fábricas de papéis a partir de fibras virgens.

Reduzindo as perdas de fibras no processo temos uma série de vantagens ambientais, sociais e econômicas, tais como:

- Redução dos custos unitários de fabricação (tanto custos fixos como variáveis),
- Melhor utilização das matérias primas,

- Menor impacto ambiental pela menor utilização de recursos naturais (madeira, polpa, água, caulim, carbonato de cálcio, energia elétrica, vapor, etc.),
- Menor poluição hídrica, menor geração de resíduos sólidos, redução de passivos ambientais, maiores facilidades para atingimento das exigências dos órgãos fiscalizadores de controle ambiental,
- Menores necessidades de áreas de aterro para dispor o lixo,
- Menor envolvimento do pessoal operacional em operações emergenciais,
- Maior beleza estética da fábrica, que estará sempre mais limpa e organizada (FOELKEL,2007)

Ainda, segundo Foelkel (2007), a solução ideal não está só em encontrar um uso para o lodo primário, como muitos fazem. A solução está também, em buscar maneiras de evitar que as fibras sejam direcionadas para o clarificador ou flotador primário da estação de efluentes.

As perdas de fibras variam fábrica a fábrica, máquina a máquina, operador a operador. Esta é a razão da necessidade de se ter uma avaliação individualizada, caso a caso, para melhor entendimento, posicionamento e plano de ações. Pode-se descobrir muita coisa como: necessidade de se colocar um filtro, treinar melhor algum operador, mudar o fornecedor de gaxetas, treinar melhor um mecânico, colocar um sistema de proteção contra derrames acidentais, alterar as condições dos depuradores de massa, corrigir a química da massa para fabricação de papel para que não haja tantas perdas na tela, etc.

Um dos problemas que se tem ao querer recuperar as fibras à partir do lodo primário da ETE (Estação de Tratamento de Efluente), é que as fibras já estão sujas e contaminadas. Serão imprestáveis para usos nobres. Elas estarão sujas com todos os tipos de contaminantes, quase impossíveis de serem limpas e purificadas. Porém, quando a recuperação é feita na área onde ocorre a sua perda, elas terão a mesma qualidade das que estão no processo. Logo, podem voltar para os pontos onde foram perdidas, sem problema algum. (FOELKEL,2007)

As perdas de fibras, embora possam, na maioria das vezes, serem provenientes de depuradores de massa ou transbordos de tanques, são direcionadas para canaletas passando a fazer parte então do fluxo de efluente.

Portanto, medições corretas de fluxos e de concentração de sólidos da massa são vitais. Depois de tudo planejado e avaliado, é muito importante calcular as perdas físicas e econômicas e posteriormente propor soluções para preveni-las. A primeira ação é medir as fibras nos efluentes e fluxos de canaletas e tubulações. Estas medições podem ser realizadas pela quantificação do lodo primário na ETE, pela quantificação do efluente bruto que chega à estação do tratamento de efluentes ou pela segregação de efluentes setoriais, onde é certa a perda significativa de fibras. Neste processo de medição deve-se sempre levar em conta a necessidade de se distinguir as fibras do conteúdo mineral presente, pois fibras celulósicas puras são pobres em íons e em cinzas (cerca de 0,2 a 0,4% base peso seco). Valores acima disso são contaminações como terra, cargas minerais, etc (FOELKEL,2007)

Considerando os testes de avaliação da perda de fibras, uma consideração importante é que medições de DQO (Demanda Química de Oxigênio) e de SS (Sólidos Suspensos) não mostram sozinhas os valores de fibras. Eles estão associados, mas não medem só fibras. A relação entre DQO e peso de fibras é de aproximadamente 1:1. Isso quer dizer que se tivermos uma suspensão só de água e de fibras com 1 miligrama absolutamente seca de fibras em um litro de água, a sua DQO será de cerca de 1 ppm. (FOEKLEL,2007)

Uma maneira é realizar ensaios no lodo que sai da estação de tratamento de efluente, antes e após a otimização do processo. Ensaios estes que contam com medição de vazões mássicas, concentração de sólidos, teor de compostos orgânicos e inorgânicos, análise microscópica para avaliação da perda de fibras, qualificação das fibras em aparelhos eletrônicos, utilização de espectroscopia para determinação de perdas de outros componentes químicos que foram acrescentados no processo de fabricação do papel.

Após realizada a quantificação e qualificação do lodo, dever-se-á realizar a otimização do processo e então refazer as análises no lodo para se saber a eficiência da otimização.

Dentro desta otimização existem outros métodos que ajudarão a evitar a perda de fibras e cargas são eles:

- A otimização do sistema de depuração da massa que vai para a máquina de papel, evitando que o rejeito desta depuração tenha muitas fibras boas indo para o efluente.

- A adequada adição de aditivos químicos e um bom sistema de controle para alcançar a melhor taxa de retenção de finos e cargas na tela da máquina de papel, isto é, os produtos químicos aplicados no papel devem ficar no papel e não atravessar a tela da máquina com possibilidade de ir para o efluente gerando lodos inúteis para a fabricação de papel.
- O correto dimensionamento e operação do sistema de quebras da máquina de papel, pois quando o papel se quebra na máquina muitas vezes acaba sendo diluído com água e parte desta água carregada de fibras irá para o efluente aumentando o lodo. (URQUIJO *et al.*, 2000)
- Melhorar a atenção nas telas de filtros engrossadores e nas cintas que prendem estas telas para evitar perdas de fibras que acabam se incorporando à água branca e finalmente são, em grande parte eliminadas como lodos no efluente.
- Fazer uma avaliação na tela da máquina de papel quanto a furos e limpeza para que se diminua a perda de fibras para o efluente. (FOELKEL,2007)

Em processo de otimização e redução de perdas de fibras a pior das soluções é enviar fibras para o aterro sanitário. (FOEKEL,2007)

Aumentando a eficiência de depuradores pressurizados e *cleaner* ter-se-á um melhor produto mas também economizará recursos e prevenirá poluição (BARBER, 1998).

2.4 EQUIPAMENTOS ONDE PODEM OCORRER PERDAS DE FIBRAS DURANTE A FABRICAÇÃO DE PAPEL

Os equipamentos onde podem ocorrer perdas de fibras, são principalmente os *cleaners*, depuradores pressurizados, telas da máquina de papel, tanques (transbordos), gaxetas de bombas.

A FIGURA 10 representa um fluxograma simplificado de uma fabricação de papel, onde os equipamentos em destaques são equipamentos onde é possível ocorrer perdas de fibras para o efluente.

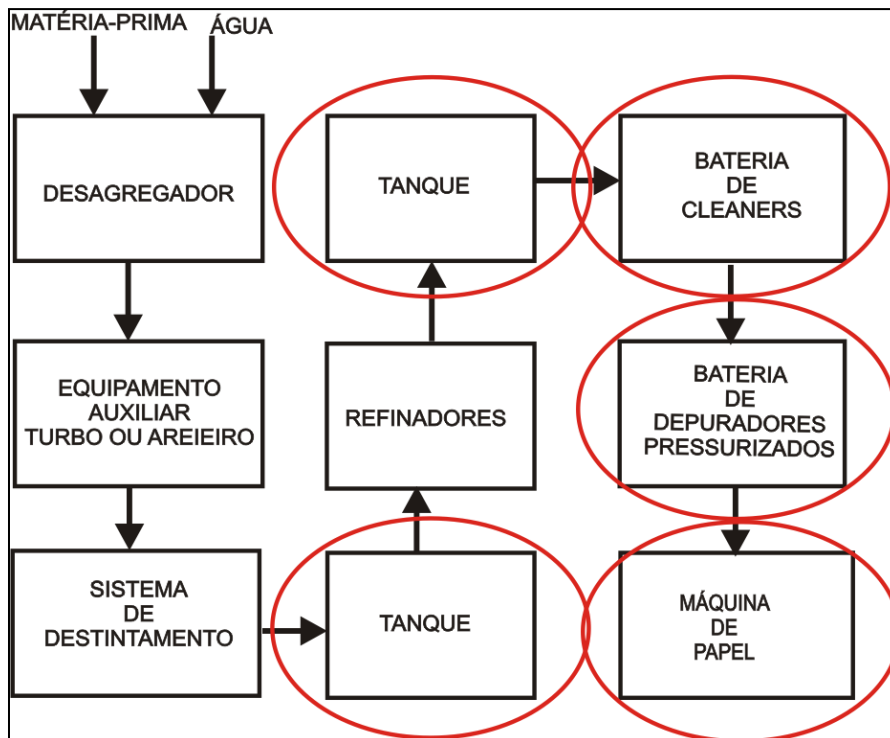


FIGURA 10 – EQUIPAMENTOS ONDE É POSSÍVEL OCORREREM PERDAS DE FIBRAS NA FABRICAÇÃO DE PAPEL

FONTE: O autor (2011)

Onde:

- **Desagregador:** Equipamento onde os fardos de aparas ou fardos de celulose serão desagregados, transformando-se em uma suspensão de fibras bombeáveis.

- **Turbo:** Equipamento destinado a complementar a desagregação iniciada no desagregador. Neste equipamento, o qual é utilizado somente em fábricas que fabricam papéis a partir de aparas, existe uma saída de plásticos e também uma saída de materiais pesados.
- **Areieiro:** Equipamento que separa areia da suspensão de fibras pela força centrífuga criada. Tem o mesmo princípio de funcionamento dos cleaners.
- **Refinadores:** Equipamento utilizado para dar tratamento mecânico às fibras, aumentando a resistência do papel.
- **Cleaners e depuradores pressurizados:** Equipamentos destinados à limpeza fina da suspensão de fibras
- **Máquina de papel:** Onde a suspensão de fibras é drenada, prensada e seca, transformando-se na folha de papel.

2.4.1 Perdas de fibras no depurador centrífugo

Bastante conhecido como *cleaners* ou hidrociclones, consiste de um equipamento cônico ou equipamento cilíndrico com a base cônica, onde a suspensão de fibras entra tangencialmente e com pressão na região de maior diâmetro do *cleaner*. Em uma das extremidades, na região de maior diâmetro está a saída de aceite, enquanto que na extremidade inferior, na região de menor diâmetro está a saída de rejeitos. (FIGURA 11)

O depurador centrífugo remove contaminantes com densidade superior a da fibra devido à força centrífuga, porém também remove partículas baseado no tamanho das mesmas. A força centrífuga é gerada devido à diferença de pressão entre o fluxo de alimentação do equipamento e o fluxo de aceite e também devido à entrada tangencial. A força centrífuga mantém o material pesado em fluxo espiral próximo da parede do equipamento saindo pela chamada saída de rejeito, enquanto que a fibra boa é mantida mais no centro, longe da parede. Esta fibra boa desce até uma certa altura e reverte seu fluxo saindo pela parte superior do equipamento. (SMOOK, 2002)

Neste equipamento deve-se garantir que haja um vórtice no seu interior,

caso contrário não haverá separação eficiente das fibras e materiais densos indesejáveis ao processo.

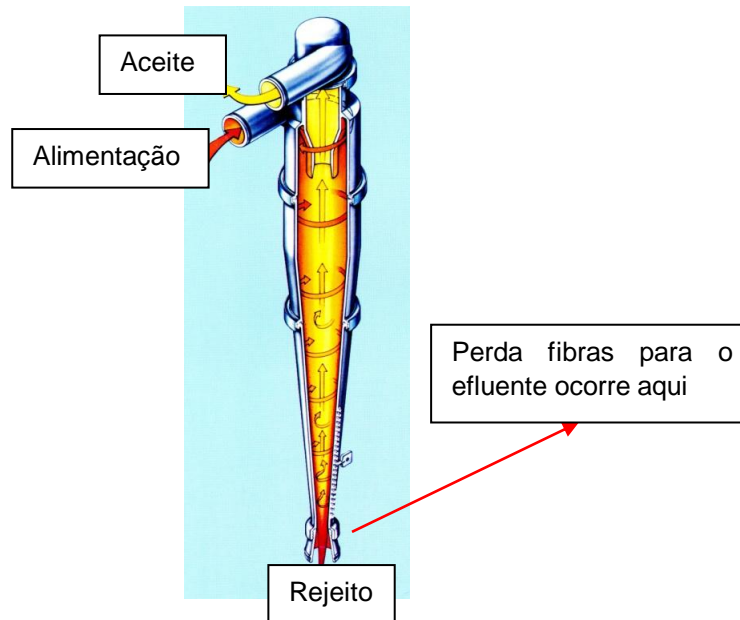


FIGURA 11 – FLUXOS DE ENTRADA E SAÍDAS DO CLEANER
 FONTE: CATÁLOGO HERGEN

O fluxo de rejeito deste equipamento é composto por impurezas como areia, pedras e também por grande quantidade de fibras, sendo necessário passar este fluxo de rejeito por um segundo estágio de cleaners para a recuperação dessas fibras.

Na maioria das fábricas são utilizados 3 estágios e raramente 4 ou 5 estágios. Existem fábricas com mais de 100 cleaners só no primeiro estágio. De um estágio para o outro o número de cleaners vai diminuindo.

O rejeito saindo do último estágio contem, na maioria das fábricas, grande quantidade de fibras que acaba sobrecarregando o efluente e sendo transformada em lodo. (FIGURA 12)

A diminuição desta perda de fibras deverá ser realizada através da otimização dos seguintes fatores: Diferencial de pressão entre a alimentação e aceite do equipamento, fluxo de rejeito e consistência da massa na entrada dos

estágios.

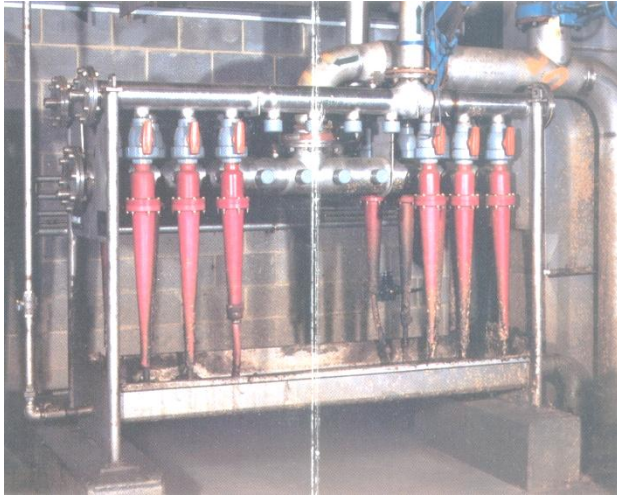


FIGURA 12 - BATERIA DE CLEANERS DO ÚLTIMO ESTÁGIO DE DEPURAÇÃO
FONTE: Catálogo BELOIT

2.4.2 Perdas de fibras nos depuradores pressurizados

Depuradores pressurizados utilizam um cilindro perfurado, contendo furos ou fendas onde a suspensão de fibras entrando tangencialmente na carcaça do equipamento é direcionada para dentro do cesto. Um rotor contendo *foils* ou régua verticais empurra a fibra para fora do cesto, sendo auxiliado pelo diferencial de pressão entre a alimentação e o aceite, veja FIGURA 13. Neste processo a fibra atravessa os furos ou ranhuras do cesto. Os rejeitos não conseguindo atravessar as ranhuras ou furos saem pela parte inferior do depurador. No processo de fabricação de papel geralmente este rejeito carrega consigo grande quantidade de fibras sendo direcionado para outro depurador igual ao primeiro cuja função é recuperar parte da fibra perdida. Nas indústrias de papéis podem ser encontrados até 4 equipamentos, um recebendo o rejeito do outro para recuperação de fibras. O rejeito do último equipamento, é enviado para o efluente na maioria das fábricas. (SMOOK, 2002)

Na FIGURA 14 pode-se observar um depurador pressurizado com suas correntes de alimentação, aceite e rejeito, sendo que esta última contém quase

sempre fibras presentes se perdendo para o efluente.

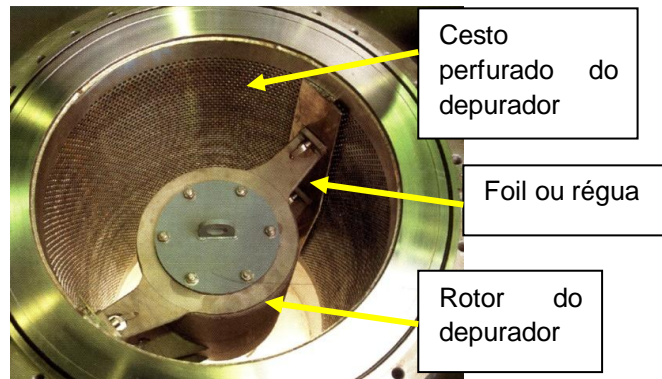


FIGURA 13 – CESTO E ROTOR DO DEPURADOR PRESSURIZADO
 FONTE: Catálogo BELOIT

Assim como nos depuradores centrífugos ou *cleaners*, no último estágio da bateria de depuradores pressurizados ocorre uma perda de fibras na maioria das máquinas de papel, que também deverá ser combatida, veja FIGURA 14. Esta perda de fibras nos depuradores poderá ser diminuída otimizando alguns fatores como: Diferença de pressão entre a alimentação e aceite do equipamento, fluxo de rejeito, concentração (consistência) da polpa na entrada do equipamento, rotação do rotor.

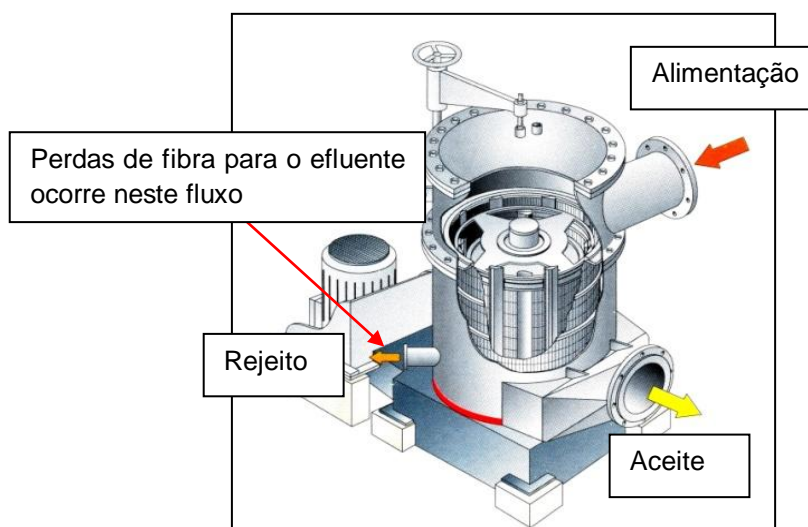


FIGURA14 – FLUXOS DE ENTRADA E SAÍDA DO DEPURADOR PRESSURIZADO
 FONTE: Catálogo BELOIT

2.4.3 Perdas de fibras na máquina de papel

Após passar pelo sistema de refinação e limpeza, a suspensão de fibras chega à máquina de papel pela caixa de entrada. Esta caixa tem uma fenda denominada de lábio que distribui a massa igualmente por toda largura de uma tela em movimento, na parte interna da tela, existe diversos elementos para drenagem da água contida na massa. Esta água, que atravessa a tela, é denominada de água branca devido ao fato de conter grande parte dos químicos que foram adicionado à fabricação de papel e eventualmente pequenos fragmentos de fibras orgânicas denominados de finos. Somente por drenagem é difícil retirar toda água, então a folha ainda úmida é direcionada para as prensas, onde outra quantidade de água é removida. Finalmente a água ainda remanescente é removida por cilindros aquecidos a vapor em uma seção denominada de secagem da máquina de papel, conforme FIGURA 15. Após a secagem a folha é enrolada, cortada em tamanho especificada pelos clientes, embalada e vendida. (SMOOK, 2002)

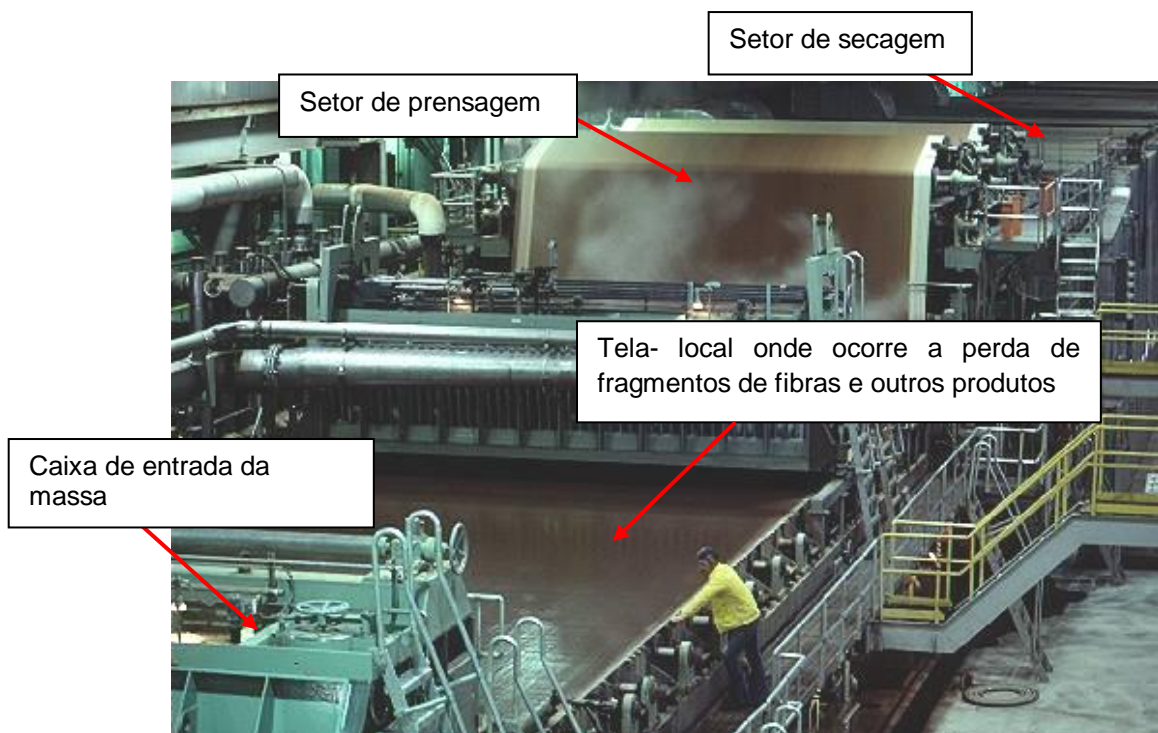


FIGURA 15 – SETORES PRINCIPAIS DA MÁQUIA DE PAPEL
 FONTE: Catálogo BELOIT

Na máquina de papel, o setor onde ocorre a maior perda de fibras com possibilidade de contaminação do meio ambiente é a tela de formação devido ao fato de muitas destas fibras atravessarem a tela da máquina em forma de fragmentos, juntamente com outros produtos químicos compondo a já citada água branca.

A água branca contendo esta grande quantidade de químicos retorna ao processo, diluindo a massa que está entrando na máquina, porém não poderá ser reutilizada na sua totalidade devido ao fato de que a mesma vai se saturando de produtos químicos e causando alguns problemas tais como: entupimentos das linhas devido à incrustações causadas pela água saturada, corrosão eletroquímica ou bacteriológica devido aos inúmeros produtos químicos presentes na água branca; odor desagradável devido ao crescimento bacteriológico propício na água branca em função de materiais orgânicos como fibras, amidos e outros (SPRINGER, 1999). Conseqüentemente parte desta água será direcionada para o efluente, onde ocorrerá a geração de lodo devido à grande quantidade de materiais presentes na mesma.

2.4.4 Redução da perda de fibras na máquina de papel utilizando polímero

Na fabricação de papel, a floculação química é fundamental para alcançar tanto uma alta retenção na tela da máquina como o aumento de drenagem. A retenção na tela da máquina trata-se da percentagem de sólidos que ficaram retidos na tela de formação em comparação ao que se está adicionando nesta mesma tela. Contudo a escolha do sistema de melhora de retenção com adição de algum polímero deve ser realizada com cautela devido ao fato da retenção, drenagem e formação da folha serem dependentes de diversos fatores, por exemplo das características e dosagens do floculante utilizado e do tempo de contato do produto desde a sua adição até a drenagem na máquina de papel. (ANTUNES, 2009)

Um dos principais produtos químicos utilizados são os polímeros de cadeia longa e alto peso molecular, mais especificamente as poliacrilamidas que são eficientes para reter a maior parte dos produtos sólidos. (POLVELARI *et al.*, 2008)

Existe também as poliácridamidas com baixa densidade de carga e que possui geralmente a cadeia linear, embora algumas versões com cadeias ramificadas podem ser utilizadas. (POLVELARI *et al.*, 2008)

Um sistema com baixa retenção, além das perdas de fibra irá perder também alguns aditivos que foram adicionados na fabricação de papel e irão acumular na água do processo e poderão causar problemas ambientais maiores que as perdas de fibras. (ANTUNES, 2009)

2.4.5 Perda de fibras por derrames e transbordos de tanques.

Em fábricas de papéis é comum encontrarmos tanques que transbordam pela parte superior ou derramam pela parte inferior como pode ser visto pela FIGURA 16. O derrame é um alívio realizado automaticamente ou manualmente na parte inferior de tanques que estão tendendo a transbordar. Tanto o transbordo ou o derrame são devido a desbalanceamentos no processo. Um simples balanço de massa ajudará a detectar as linhas que estão causando estes problemas, os quais se tornam graves devido ao fato de que na maioria das vezes este transbordo acaba caindo em canaletas sendo então direcionado para o efluente, sobrecarregando-o e aumentando a geração de resíduos sólidos. (FOELKEL, 2007)



FIGURA 16 – PERDA DE FIBRAS EM DERRAMES DE TANQUES
FONTE: FOELKEL,2007

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido dentro da empresa TRÓPICOS na cidade de Guarapuava e as análises foram executadas nos laboratórios do SENAI de Telêmaco Borba.

3.1 DESCRIÇÃO EMPRESA TRÓPICOS – LOCAL DE APLICAÇÃO DO TRABALHO

Tendo sua matriz em Guarapuava, a empresa TRÓPICOS atua em diversos estados brasileiros, entre eles, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Distrito Federal, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

A matriz da empresa está situada na rodovia BR 277- KM 330, Rio das Pedras Guarapuava-PR. Com início das atividades em 2003 no setor de papel e celulose, na conversão e comercialização de papel higiênico. A TRÓPICOS tem como missão contribuir para o desenvolvimento industrial e econômico da região, a partir de uma visão que reúne gestão profissional de alta performance em parceria com o mercado.

A trajetória da empresa TRÓPICOS tem sido marcada pela capacidade de inovar, de assumir riscos e ousar na proposta de novos modelos de negócio e produtos, na busca de soluções geradoras de valor para a organização e a sociedade, sendo isto confirmado em 2008 quando a TRÓPICOS assumiu as instalações da antiga Curi, triplicando a produção, passando a produzir seu próprio papel.

Para manter a competitividade aliada a esse perfil a TRÓPICOS difundiu práticas sustentáveis nos vários níveis da organização. Investe na construção de relacionamentos duradouros entre consumidores, clientes, fornecedores, comunidades e demais públicos do seu relacionamento, trabalhando sempre com a preocupação junto ao meio ambiente. Esta última preocupação fez com que a TRÓPICOS permitisse orgulhosamente o trabalho de redução de lodo junto ao curso de Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial da Universidade Federal

do Paraná e Universidade de Stuttgart, confiando plenamente nos discentes e docentes pertencentes a estas instituições. Hoje a fábrica conta com uma produção de papel de aproximadamente 35 ton/dia sendo a produção totalmente de papel reciclado, contando com aparas branca I, branca II, branca III, branca IV, mista e refiles, conforme FIGURA 17, contribuindo dessa forma efetivamente com o meio ambiente. Sendo que aparas branca I são provenientes de gráficas com insignificante quantidade de material impresso. Aparas branca II são aparas mistas contendo papéis com e sem impressão. Branca III são aparas mistas com qualidade inferior à branca II pela maior quantidade de papéis impressos, Aparas IV contêm quase 100% de aparas impressas sem revestimento. O tipo “aparas mista” contém 100% de revista, que é papel revestido e com impressão. Os refiles são recortes de papel branco impresso contendo também alguns papéis coloridos.



FIGURA 17 – TIPOS DE APARAS UTILIZADA PELA EMPRESA: A-BRANCA I, B- BRANCA II, C-BRANCA III, D-BRANCA IV, E-MISTA, F-REFILE
 FONTE: O autor, 2012

A TRÓPICOS, por motivos econômicos e ,principalmente, ambientais, tem a sua maior produção de papel a partir da aparas IV, correspondendo ao item D da FIGURA 17. O papel produzido a partir do processamento deste tipo de aparas é denominado de natural. Outros tipos de papéis produzidos pela empresa TRÓPICOS são o semi-branqueado e o branqueado, sendo este último produzido em menor escala.

O sistema de águas é parcialmente fechado, sendo que em alguns turnos é totalmente fechado, isto é, obtido recirculando-se toda a água do processo, contribuindo desta forma para a manutenção do sistema hídrico da região.

3.2 DESCRIÇÃO BÁSICA DOS FLUXOGRAMAS DE MASSA, ÁGUA E EFLUENTE E AS ORIGENS DO LODO NA EMPRESA ESTUDADA

A fábrica, basicamente, é composta por um setor de preparo de massa, pela máquina de papel e pelo setor de tratamento de efluente. No preparo de massa e máquina de papel, tem-se no fluxograma linhas de massa e água branca e no efluente tem-se as linhas de água branca e lodo.

3.2.1 Preparo de massa na empresa estudada - Descrição básica

A FIGURA 18 representa o fluxograma do preparo de massa. A linha marron representa o fluxo principal. As elipses vermelhas são os pontos passíveis de perda de orgânicos para o efluente.

Iniciando o processo, as aparas para a fabricação de papel e água de retorno do processo são alimentadas no desagregador, o qual é denominado de *Pulper*. Após 30 minutos de desagregação a massa contendo fibras e uma grande quantidade de plásticos é descarregada para um equipamento denominado de Pera, o qual permite a passagem da massa, enquanto que os plásticos são retidos dentro do mesmo.

Após descarregamento do desagregador, a válvula de saída de massa da pera é fechada e então é adicionado água no interior da mesma para a lavagem

dos plásticos, sendo esta água direcionada para a calha e desta para o efluente. Após lavagem da Pera, uma abertura inferior permite a retirada manual dos plásticos que serão posteriormente enfardados e vendidos.

A massa proveniente do desagregador é direcionada para os tanques 01, 02 e 03 sendo então alimentada num equipamento de limpeza por força centrífuga denominado de *HDC Cleaner*, cuja função é retirar areia e outras impurezas pesadas. Após o *HDC Cleaner* a massa passa por outros sistemas de limpeza contendo uma peneira de 1,6 mm de ranhura (depurador horizontal) e deste, a massa é direcionada para o sistema de *Cleaners* 1º, 2º e 3º estágios. Nestes *Cleaners* o 3º estágio envia rejeito para a estação de tratamento de efluentes. A massa proveniente do 1º estágio é bombeada para um depurador de fenda vertical e deste desagua em peneiras de tela denominadas *Side Hill*.

Das peneiras *Side Hill* a massa é estocada no tanque 05 e poderá então sofrer um engrossamento no engrossador REI 400, que atualmente ainda não está em operação, sendo posteriormente bombeada para a torre de estocagem que alimenta a torre de estocagem da máquina de papel. Todas as águas, em azul no fluxograma, aquelas que contém fibras são direcionadas para dois tanques. O primeiro é o tanque de água branca pulmão que recebe água branca da máquina e outros retornos. O segundo é o tanque que recebe principalmente água branca das primeiras peneiras *Side Hill* e do engrossador REI 400, enviando esta água para o clarificador de água CLV (Clarificador Vertical), cujo lodo é direcionado para a estação de tratamento de efluente. O tanque CLV recebe produtos químicos adicionais como o coagulante policloreto de alumínio, floculante poliacrilamida e ar na alimentação com finalidade de promover a flotação dos sólidos contidos na água.

As correntes que irão compor o lodo no tratamento de efluentes são, principalmente, dos transbordos de tanques, rejeito do 3º estágio de *Cleaners*, água da *Side Hill*, água da lavagem da pera e o lodo flotado do clarificador CLV.

Com exceção dos rejeitos do 3º estágio de *Cleaner* e o lodo flotador do clarificador CLV, todas as outras correntes caem na calha principal que alimenta o tanque de equalização (tanque Surema) da estação de tratamento de efluentes.

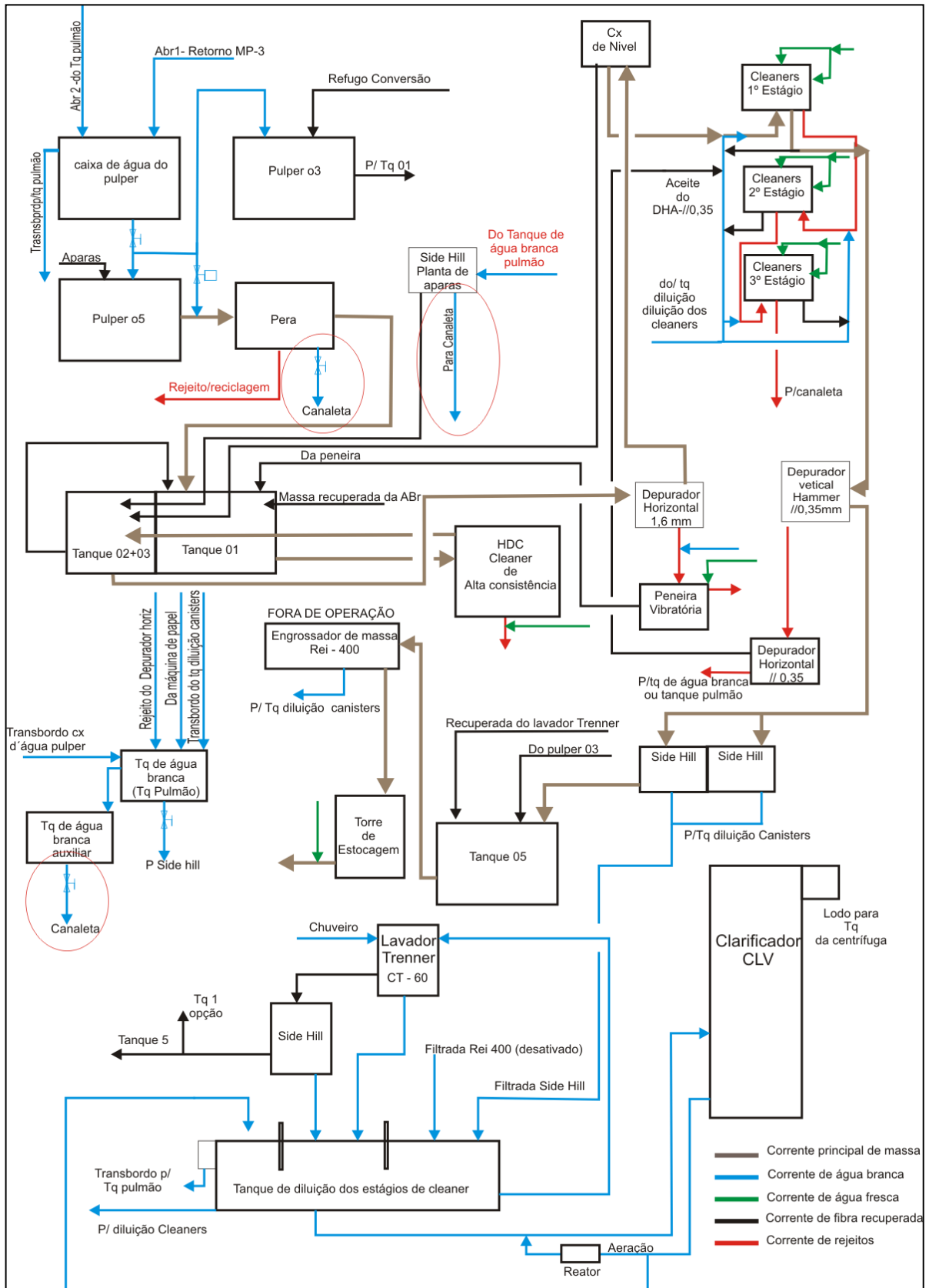


FIGURA 18 – FLUXOGRAMA DO PREPARO DE MASSA E RECEBIMENTO DE APARAS
 FONTE: Modificada pelo autor (2011)

3.2.2 Máquina de papel da empresa estudada - Descrição básica

O fluxograma da máquina de papel da empresa TRÓPICOS representado pela FIGURA 19, tem início na torre de estocagem de onde a massa é bombeada para os tanques 01, 02 e 03 da máquina de papel. Dos referidos tanques a massa fluida (suspensão) com concentração em torno de 4% é direcionada para o refinador, que tem por função o tratamento da fibra celulósica para melhorar a resistência no papel.

Do refinador a massa alimenta a caixa de nível que alimenta o depurador pressurizado da máquina. Este depurador é um cesto com fendas de 0,6 mm com finalidade de fornecer a última limpeza da massa antes desta ser alimentada na máquina de papel. A corrente de rejeito do depurador pressurizado alimenta a peneira vibratória que possui duas correntes de saída principais: uma corrente (em vermelho na figura) é o rejeito que é descartado para *container* e depois para aterro. A segunda corrente (em azul na figura) é o aceite da peneira que é bem diluído e será direcionado para o tanque de água branca pulmão.

Na máquina de papel o jato de fibras é atirado sobre a tela formadora, o que posteriormente é prensado e secado, transformando-se em folhas de gramatura em torno de 17 g/m² correspondendo ao papel higiênico. Na tela da máquina, atualmente, a perda de sólidos fica em torno de 50 a 70%, sendo considerado excessivo para a fabricação de papel. Parte destes sólidos retornam ao processo e parte acaba sendo direcionado para a ETE, sobrecarregando a mesma, além de compor o lodo e aumentar a carga de sólidos da água a ser direcionada para as lagoas de decantação.

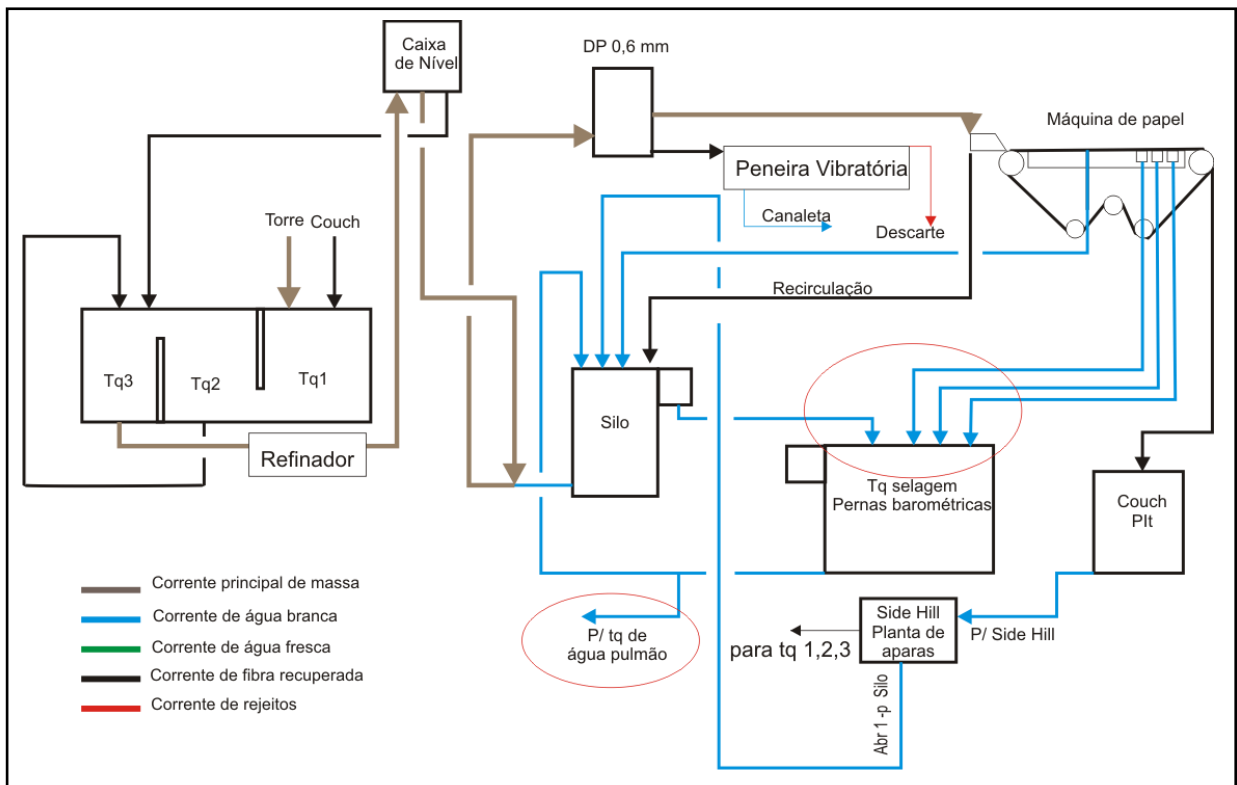


FIGURA 19 – FLUXOGRAMA DA MÁQUINA DE PAPEL

FONTE: Modificada pelo autor (2011)

3.2.3 Estação de tratamento de efluentes da empresa estudada – descrição básica

O sistema de tratamento de efluentes da empresa TRÓPICOS inicia-se no tanque de equalização denominado Surema que recebe toda a água das calhas da fábrica e também o transbordo do tanque de lodo diluído. A água contendo fibras é bombeada do tanque Surema para o tanque clarificador Sveen Pedersen. Antes da alimentação do Sveen Pedersen a água recebe o floculante policloreto de alumínio na sucção da bomba de saída do tanque Surema e recebe também o floculante poliacrilamida na entrada do tanque Sveen Pedersen, um compressor envia ar numa pressão de 2,5 atm para que, juntamente com os polímeros citados ajude na flotação do material sólido que irá compor o lodo. No flotador Sveen Pedersen existem dois conjuntos de palhetas girando a velocidades diferentes com finalidade de raspar o lodo.

O lodo proveniente do clarificador Sveen Pedersen é direcionado para o tanque de lodo, sendo que este tanque é alimentado com o lodo do flotador CLV,

que está localizado no preparo de massa, e também pelo retorno do 3º estágio de *Cleaners* também localizado no preparo de massa. Parte do lodo do tanque de lodo transborda para o tanque Surema. O lodo diluído do tanque de lodo é bombeado para a centrífuga, cuja água retorna para o tanque Surema e o lodo é descartado. Este lodo descartado contém aproximadamente 50% de fibras dependendo da composição do papel que está sendo fabricado e é o objeto de estudo deste trabalho. A água clarificada do Sveen Pedersen é enviada para um tanque de água clarificada que bombeia tanto para retorno do processo como para as lagoas de decantação. Na FIGURA 20 é mostrado o fluxograma da estação de tratamento de efluentes onde as linhas verdes representam as águas e lodos em diversas concentrações e a linha preta representa o lodo final. As elipses em vermelho representam as correntes que chegam à estação de tratamento de efluentes.

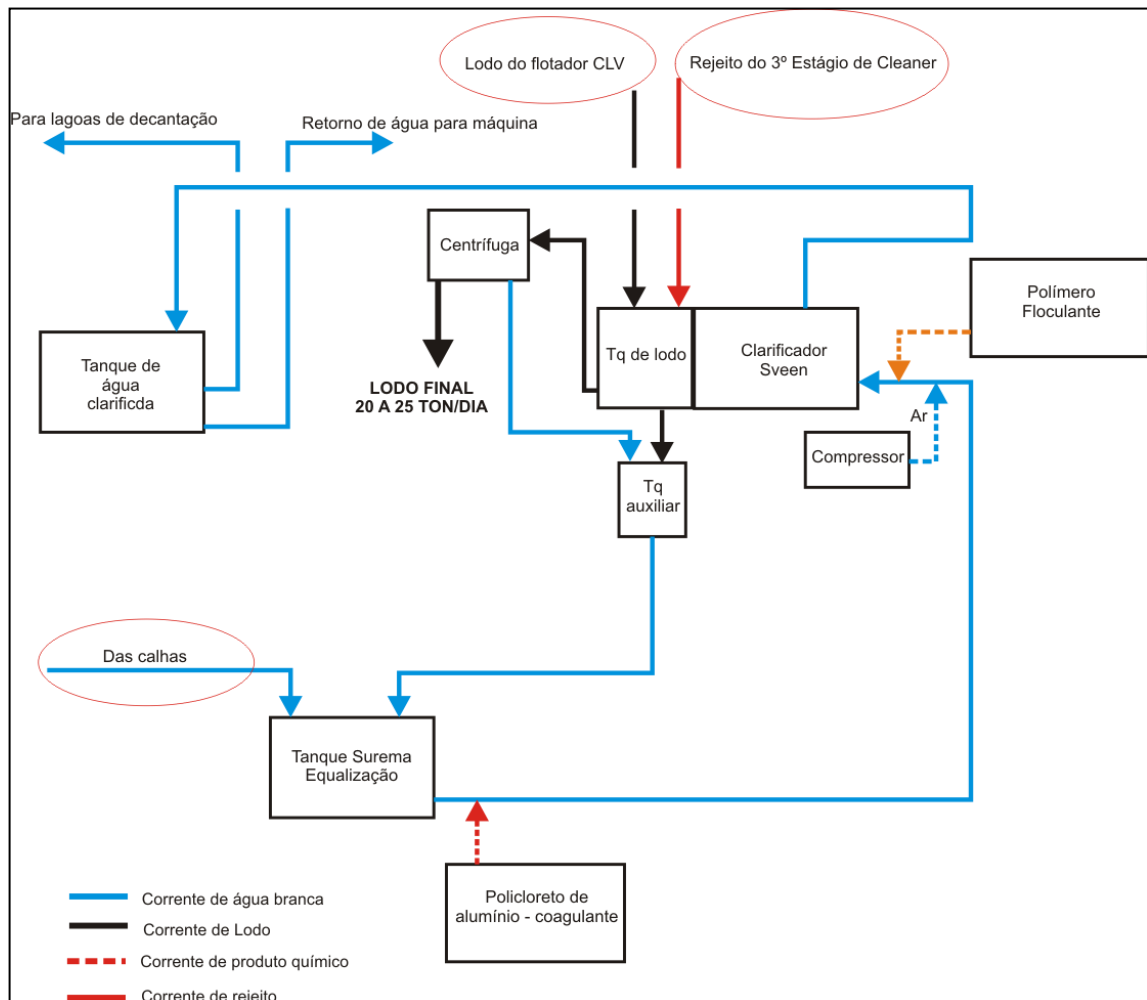


FIGURA 20 – FLUXOGRAMA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES
 FONTE: Modificada pelo autor (2011)

3.3 METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS

Inicialmente o trabalho constou de visita na fábrica com o intuito de definir pontos de tomada de amostras e testes a serem realizados a partir do fluxograma inicial.

Posteriormente houve a coleta de amostras em diversas correntes da fábrica para se estudar o impacto destas correntes na formação de lodo no efluente e possibilitar a otimização do processo com aplicação de produtos químicos e alteração de variáveis ou fluxograma com o intuito de diminuir a quantidade de lodo, mais particularmente o teor de orgânicos.

As amostras foram coletadas em visitas semanais antes da otimização e após otimização, sendo estas amostras coletadas nos seguintes pontos:

Pontos primários de tomada de amostras: Pontos de alimentação direta da estação de tratamento de efluente:

- Lodo final – coletada após centrífuga;
- Alimentação do Tanque de Equalização Surema;
- Rejeito do último estágio dos depuradores centrífugos (*Cleaners*);
- Lodo do clarificador CLV;

Pontos secundários: Ramificações dos pontos primários

- Lodo do clarificador Sveen Pedersen;
- Alimentação do clarificador Sveen Pedersen;
- Água clarificada do clarificador Sveen Pedersen;
- Saída da água clarificada do tanque clarificador de água localizado após o Sveen – fluxo direcionado para as lagoas de decantação e retorno para o processo;
- Alimentação do clarificador CLV;
- Água clarificada do clarificador CLV;

Pontos terciários: Pontos definidos após análise dos pontos primários

- Amostras de massa da calha que recebe água da Pera.
- Amostra da água da peneira inclinada *Side Hill*.

- Amostra do tanque que recebe a água de retorno da máquina
- Amostra dos transbordos de tanques detectados durante as visitas à fábrica.
- Amostras de água da parte inferior da máquina de papel

Pontos quaternários: Pontos suportes para eventuais investigações no decorrer do trabalho

- Massa do desagregador.
- Aparas branca I, branca II, branca III, branca IV, mista e refiles.
- Amostras de papel da máquina de papel
- Amostras de massa na entrada da máquina de papel, antes e após refinador

3.3.1 Análises realizadas antes e após a otimização

A TABELA 1 mostra as principais análises sugeridas nas amostras dos diversos pontos de coletas.

TABELA 1 - PRINCIPAIS ANÁLISES REALIZADAS DURANTE O TRABALHO

MATERIAL ANALIZADO	ANÁLISES REALIZADAS	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS
Amostras de lodo final	Teor de umidade Teor de orgânicos Micrografia	Estufa e balança semi-analítica. Mufla e balança semi-analítica Microscópio eletrônico
Amostras líquidas em suspensão	Concentração de sólidos Teor de orgânicos Determinação de teor de fibras	Estufa e balança semi-analítica Mufla e balança semi-analítica FIBERMASTER
Amostras de aparas	Teor de cinzas e umidade	Mufla, estufa e balança semi-analítica
Amostras de efluente entrada e saída da lagoa	DBO DQO	HACH – BodTrak Espectrofotômetro DR 5000
Amostras de água de drenagem de folhas laboratoriais	Retenção Turbidez	Estufa e balança semi-analítica. DM-TU DIGIMED

FONTE: O autor (2011)

3.3.2 Procedimentos básicos das análises e normas.

As amostras coletadas na TRÓPICOS, fabricante de papel tissue, foram analisadas nos laboratórios do SENAI de Telêmaco Borba, basendo-se principalmente na norma brasileira ABNT , norma americana TAPPI, normas do IPT e normas internas da instituição, basendo-se nos procedimentos indicados pelo fabricante dos aparelhos. As normas citadas estão relacionadas no anexo 1.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram analisados os resultados de análises quantitativas focando principalmente o lodo e as correntes que originam a formação deste lodo.

4.1 ANÁLISE MICROSCÓPICA DO LODO

O lodo é um material em suspensão, não fluido, com concentração em torno de 60% proveniente do tratamento da água residual do processo. Este material contém água, material orgânico e material inorgânico como caulim e carbonato de cálcio, entre outros componentes em menores proporções provenientes do processo de fabricação de papel.

As FIGURAS 21, 22 e 23 evidenciam a presença de fibras nos lodos coletados em dias diferentes, correspondente a diferentes tipos de papéis sendo fabricados. Nestes lodos observa-se a presença tanto de fibras longas de Pinus, fibras curtas de Eucalipto e também fibras provenientes de papéis contendo pasta de alto rendimento como fibras de papel jornal e similares.

As fibras provenientes de pasta de alto rendimento apresentam-se com coloração levemente laranja, que é devido à interação entre os polissacarídeos presente nestas pastas e o iodo presente no corante utilizado para a microscopia.

Na FIGURA 21 observa-se a micrografia de uma amostra de lodo final proveniente da fabricação de papel branco, onde a letra A corresponde a fibras longas, letra B fibras curtas e letra C corresponde à pasta de alto rendimento.

As fibras longas proveniente de Pinus apresentam-se com maior comprimento e largura que as fibras de Eucalipto, enquanto que a pasta de alto rendimento apresenta-se de forma aparentemente quebrada ou moída e com tom levemente laranja.

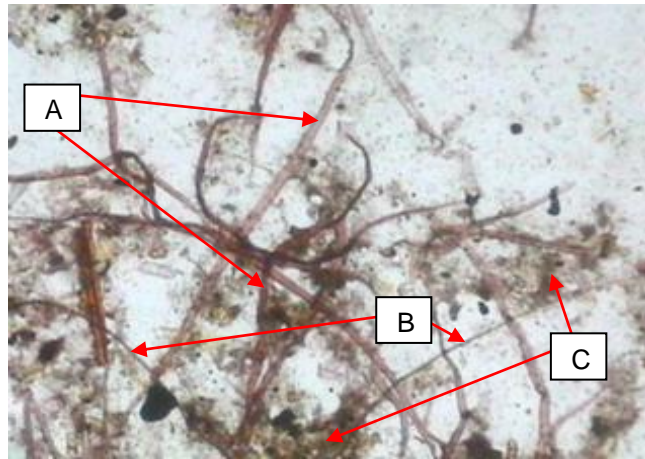


FIGURA 21 – PRESENÇA DE FIBRAS EM LODO PROVENIENTE DA FABRICAÇÃO DE PAPEL BRANCO EM 28/10/2011. ONDE: A: FIBRA LONGA, B: FIBRA CURTA, C: PASTA DE ALTO-RENDIMENTO
 FONTE: O autor (2011)

Na FIGURA 22 é mostrada a micrografia de uma amostra de lodo final proveniente da fabricação de papel semi-branco. Aqui também tem-se a presença de fibras longas (A), fibras curtas (B) e pastas de alto-rendimento (C).

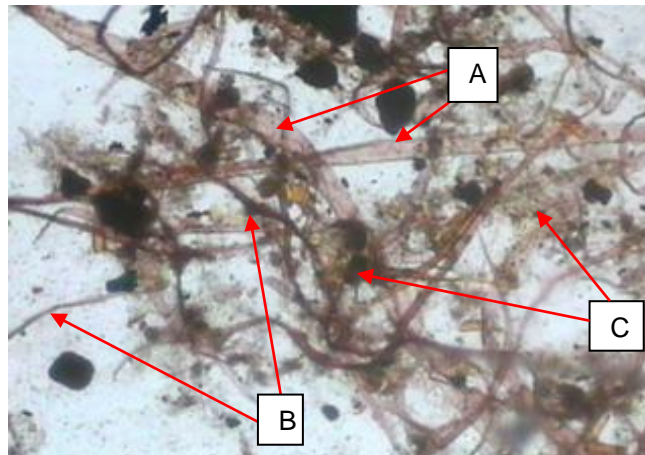


FIGURA 22 – PRESENÇA DE FIBRAS EM LODO PROVENIENTE DA FABRICAÇÃO DE PAPEL SEMI-BRANCO EM 29/10/2011. ONDE: A: FIBRA LONGA, B: FIBRA CURTA, C: PASTA DE ALTO-RENDIMENTO
 FONTE: O autor (2011)

Na FIGURA 23 é mostrada uma fotografia a nível microscópico de uma amostra de lodo final proveniente da fabricação de papel natural. Aqui também tem-se a presença de fibras longas (A), fibras curtas (B) e pastas de alto-rendimento (C).

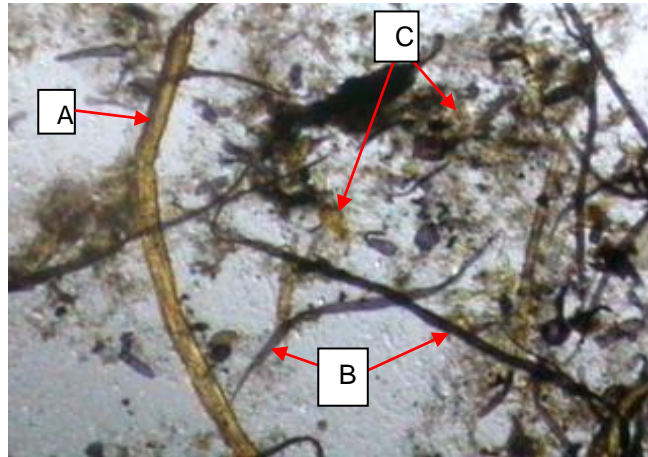


FIGURA 23 – PRESENÇA DE FIBRAS EM LODO PROVENIENTE DA FABRICAÇÃO DE PAPEL NATURAL 27/11/2011. ONDE: A: FIBRA LONGA, B: FIBRA CURTA, C: PASTA DE ALTO-RENDIMENTO
FONTE: O AUTOR (2011)

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO LODO

Dentre os resultados analisados foram focadas, principalmente, as correntes que contribuem para a presença de material orgânico no lodo.

4.2.1 Análise de orgânicos do lodo

A TABELA 2 apresenta a análise de lodos coletados em diversos dias de visita na área, para os três tipos de papéis produzidos pela empresa. Para todos os tipos de papéis a quantidade de orgânicos (finos e fibras) ficou em média em torno de 3700 kg/dia o que representa aproximadamente de 10% da produção, considerando esta 37 ton/dia.

Para a redução deste teor de orgânicos no lodo, certamente a melhora na retenção da máquina de papel seria uma saída. Lembrando que teor seco é todo o material (orgânico e orgânico) excluindo a água. O material orgânico refere-se principalmente a fibras de madeira.

TABELA 2 - VAZÃO DE ORGÂNICOS NO LODO DURANTE A FABRICAÇÃO DOS TRÊS TIPOS DE PAPÉIS

Tipo de papel	Teor seco	Inorgânico	Orgânico	Vazão úmida	Vazão seca	Vazão de Inorgânico	Vazão de Orgânico
	%	%	%	kg/dia	kg/dia	kg/dia	kg/dia
Branco	44,1	61,4	38,6	22510	9924,2	6092,5	3831,7
semi-branco	42,2	57,9	42,1	20642,5	8762,6	5107,4	3655,1
Natural	43,2	59,6	40,4	21576,3	9343,4	5599,9	3743,4

FONTE: O autor (2011)

4.2.2 Pontos de perdas de fibras no processo

Durante as investigações semanais, realizadas no processo foram, inicialmente, focados alguns pontos de coletas de amostras, sendo estes localizados principalmente no efluente ou no processo de fabricação de papel, tendo em vista o direcionamento de correntes para o efluente. Estes pontos correspondem: Rejeito do terceiro estágio de *Cleaners*, lodo do clarificador CLV, alimentação do Tanque Surema.

A tabela 3 mostra a vazão volumétrica total média e vazão média de sólidos suspensos das principais correntes que impactam na perda de fibras para o efluente. Esta tabela evidencia que a corrente mais impactante no lodo para todos os tipos de papéis foi a corrente de alimentação do tanque Surema, onde a quantidade de orgânico é de 0,505 t/h a 0,766t/h. Lembrando que a fábrica faz uma parada no processo das 7 as 21 h para economia de energia, além de algumas linhas trabalharem intermitentemente.

TABELA 3 - VAZÃO NOS PRINCIPAIS EQUIPAMENTOS

Equipamento	Tipo de papel	Vazão Volumétrica Total	Vazão de Sólidos Suspensos	Teor de Orgânicos	Vazão de Sólidos Orgânicos
		m ³ /h	t/h	%	t/h
Clarificador CLV - lodo	Papel branco	8	0,73	36,13	0,262
Clarificador CLV - lodo	Papel semi-branco	8,5	0,43	37,94	0,163
Clarificador CLV - lodo	Papel natural	8,3	0,87	58,11	0,506
Cleaner 3º estágio - rejeito	Papel branco	10	0,25	37,62	0,092
Cleaner 3º estágio - rejeito	Papel semi-branco	12	0,06	32,82	0,020
Cleaner 3º estágio - rejeito	Papel natural	11	0,18	56,22	0,101
Tanque Surema - alimentação	Papel branco	320	1,10	45,88	0,505
Tanque Surema - alimentação	Papel semi-branco	290	1,63	48,05	0,783
Tanque Surema - alimentação	Papel natural	295	0,88	87,04	0,766

FONTE: O autor (2011)

4.2.3 Resultados das análises realizadas durante a fabricação de papel tissue branco

Para o papel branco, além do que foi analisado na TABELA 3, mostrando que o fluido total que alimenta o tanque de equalização Surema tem um impacto mais significativo em relação aos outras correntes, a TABELA 4 também evidencia a importância de se trabalhar esta corrente de chegada ao efluente, pois mostra um teor de fibras de 47,6 %, o que dará uma vazão de fibras de 0,52 t/h, significando muitas fibras para o efluente, sobrecarregando tanto a água que é direcionada para as lagoas como também o lodo durante a fabricação do papel branco.

TABELA 4 - QUANTIFICAÇÃO DAS LINHAS IMPACTANTES NO LODO E EFLUENTE DA PRODUÇÃO DE PAPEL HIGIÊNICO BRANCO

Ponto de coleta da amostra	Concentração de Sólidos Suspensos	Vazão de Sólidos Suspensos	Teor de Fibras	Vazão de Fibras
	%	ton/h	%	t/h
Clarificador CLV - lodo	9,07	0,73	26,7	0,19
Cleaner 3º estágio - rejeito	2,45	0,25	76,1	0,19
Tanque Surema - alimentação	0,34	1,10	47,6	0,52
Clarificador Sveen Pedersen - saída	0,08	0,21	58,30	0,123

FONTE: O autor (2011)

Fazendo a mesma análise para o lodo do clarificador CLV e para o rejeito do 3º estágio de *Cleaners* ter-se-á 0,19 t/h de fibras, em cada corrente, sendo alimentadas na ETE. Lembrando que estas duas correntes alimentam a ETE sem passar pelo tanque de equalização SUREMA.

Esta análise prévia para o papel branco confirma que o fluxo de fibras que chega ao efluente através da alimentação do tanque Surema é de 57,8% do total de fibras alimentadas no efluente, tornando-se a corrente mais impactante e deve ser o principal ponto de otimização do processo.

Outra razão para a redução de fibras encaminhadas para o efluente é evitar a perda de fibras para o afluente das lagoas. Este efluente que alimenta as lagoas é proveniente do tanque de água clarificada do clarificador Sveen Pedersen. Este tanque tem vazão média de saída em torno de 264 m³/h, quando está em

operação. A maioria das vezes a água do tanque de água clarificada do Sveen Pedersen retorna ao processo no lugar de ser direcionado para as lagoas. Nesta corrente, que é direcionada para as lagoas, o teor de sólidos suspensos fica em torno de 0,08% totalizando uma vazão de sólidos totais de 0,21 t/h. Como esta tubulação permanece fechada aproximadamente 70% do dia a perda total de sólidos está em torno de 1,52 t por dia o que representa uma perda de fibras de 0,88 t de fibras por dia. Este afluente é proveniente do tanque que recebe água clarificada do clarificador Sveen Pedersen.

Este efluente apresenta DQO de 846 ppm alimentando uma lagoa de estabilização na saída da fábrica, a qual reduziu este valor para 16,4 ppm. Esta lagoa em questão é uma lagoa facultativa que recebe a água clarificada do Sveen Pedersen.

4.2.4 Resultados das análises realizadas durante a fabricação de papel tissue semi-branco

Assim como no papel branco, durante a fabricação do papel semi-branco a corrente de fluido mais impactante também foi a corrente que alimenta o tanque Surema. De acordo com a tabela 3 a vazão de sólidos orgânicos para esta corrente foi de 0,783 t/h contra 0,163t/h e 0,020t/h para as correntes do lodo do clarificador CLV e 3º estágio de *Cleaners*, respectivamente.

Para a análise da vazão fibras durante a produção de papel semi-branco, os dados analisados em laboratório constam na tabela 5 onde tem-se um teor de fibras no clarificador CLV de 0 % de fibras, 29,9 % de fibras no rejeito do 3º estágio de *Cleaner* e 41,1% de fibras na alimentação do tanque Surema. Com estes valores, juntamente com a vazão de sólidos suspensos, chega-se aos valores de vazão de fibras de 0,67 t/h; 0 ; 0,018 t/h para a alimentação do tanque Surema, lodo do clarificador CLV e rejeito do terceiro estágio de *Cleaners*, respectivamente. Nesta análise de processo, o tanque Surema recebeu 97,4 % do total de fibras proveniente de toda fábrica.

TABELA 5 - TIPO DE PAPEL: PAPEL HIGIÊNICO SEMI-BRANCO

Ponto de coleta da amostra	Concentração de Sólidos Suspensos	Vazão de Sólidos Suspensos	Teor de Fibras	Vazão de Fibras
	%	ton/h	%	t/h
Clarificador CLV - lodo	5,06	0,43	0,00	0
Cleaner 3º estágio - rejeito	0,49	0,06	29,90	0,018
Tanque Surema - alimentação	0,31	1,63	41,10	0,67
Tanque do clarificador SVEEN - saída	0,22	0,58	69,70	0,4

FONTE- O autor (2011)

Fica evidente, novamente, a necessidade da redução de fibras na corrente de alimentação do tanque Surema.

Com relação ao afluente das lagoas o qual é proveniente do tanque de água clarificada do Sveen Pedersen, este afluente apresenta concentração de 0,22 %. Considerando vazão média de 264 m³/h ter-se-á um teor de sólidos de 0,58 t/h o que fornecerá o valor de 4,18 t/dia de sólidos para a lagoa, considerando que 30 % desta água é direcionada para a lagoa e 70% retorna ao processo de fabricação de papel.

Este efluente resultou em uma DQO de 1132 ppm na alimentação das lagoas.

4.2.5 Resultados de análises realizadas durante a fabricação de papel tissue natural

O papel natural, produzido pela empresa estudada é o papel que tem maior produção devido ao seu maior valor agregado, pois é fabricado com aparas de menor custo, além de possuir um preço mais barato para o consumidor final. Durante a produção deste papel de acordo com a tabela 3 a vazão de sólidos orgânicos das três correntes principais que impactam na formação do lodo e geração de sólidos no efluente foram 0,506t/h ; 0,101t/h e 0,766t/h para o lodo do CLV, rejeito do 3º estágio de *Cleaner* e alimentação do tanque de equalização Surema, respectivamente. Novamente a alimentação no tanque Surema resultou

num valor considerável de 0,766 t/h o que corresponde a aproximadamente 55,8 % do total de orgânicos no efluente.

TABELA 6 – TIPO DE PAPEL: PAPEL HIGIÊNICO NATURAL

Ponto de coleta da amostra	Concentração de Sólidos Suspensos	Vazão de Sólidos Suspensos	Teor de Fibras	Vazão de Fibras
	%	ton/h	%	t/h
Clarificador CLV - lodo	10,48	0,87	22,60	0,20
Cleaner 3º estágio - rejeito	1,59	0,18	58,70	0,11
Tanque Surema - alimentação	0,30	0,88	34,10	0,30
Tanque do clarificador SVEEN - saída	1,37	3,62	39,20	1,42

FONTE: O autor (2011)

Com relação ao teor de fibras no efluente desta produção, de acordo com a TABELA 6 tem-se para o lodo do clarificador CLV, rejeito do 3º estágio de *Cleaners* e alimentação do tanque Surema os valores de 22,6%, 58,7% e 34,1% de fibras o que corresponde as vazões de fibra de 0,2 t/h, 0,11 t/h, 0,3 t/h, respectivamente. Novamente o tanque de equalização Surema apresentou-se com o maior valor representando 49,2 % do total de fibras que chega ao efluente.

Este efluente resultou em uma DQO de 1423 ppm na alimentação das lagoas.

4.2.6 Avaliações suporte para otimização

Após as análises prévias realizadas nas correntes que chegam ao efluente e constatado que a alimentação do tanque Surema é mais impactante na perda de fibras, realizou-se então um acompanhamento na área industrial para descobrir a procedência da corrente que alimenta o tanque Surema.

A análise visual realizada no processo indica que a corrente que alimenta o Surema é proveniente das calhas da máquina, sendo que estas recebem a

corrente da lavagem da Pera , da *Side Hill*, transbordo do tanque pulmão quando houver e transbordo de tanques gerais, quando houver.

a) Pera – A pera (FIGURA 24) é um equipamento que recebe a suspensão de fibras proveniente do desagregador. Após descarregar o desagregador passa pela pera através de uma placa perfurada que retém os plásticos. Após a descarga de toda a fibra do desagregador a Pera é lavada para que a fibra ainda contida na mesma seja separada do plástico. O plástico é coletado manualmente e então a água de lavagem contendo sólidos é direcionada para a calha.

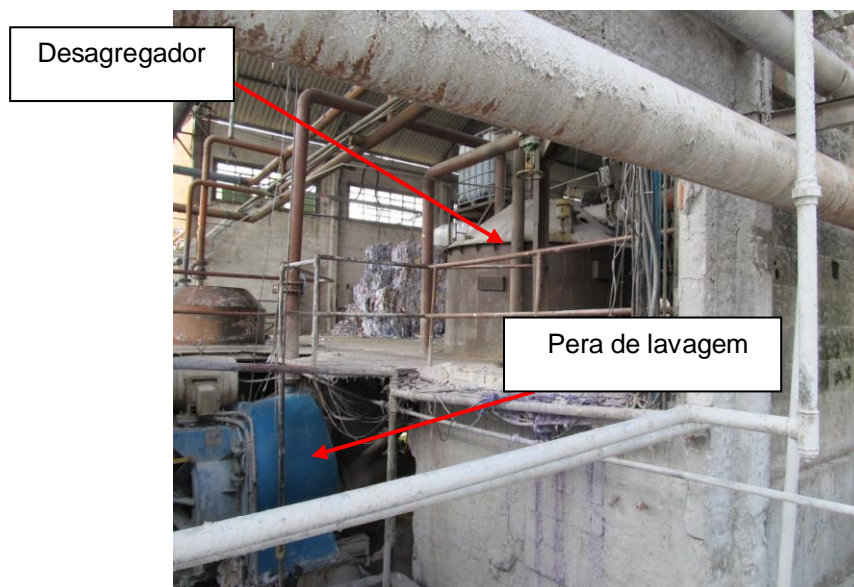


FIGURA 24 – PERA DE LAVAGEM E DESAGREGADOR
FONTE: O autor (2011)

A FIGURA 25 ilustra as perdas gerais de massa do processo, sendo direcionadas principalmente para a calha que irá compor o efluente que alimenta o tanque Surema.



FIGURA 25 – PONTOS DE PERDAS DE FIBRAS DIRECIONADO PARA O TANQUE SUREMA
FONTE: O AUTOR (2011)

De acordo com a TABELA 7 o teor de orgânicos da lavagem da Pera e da calha da *Side Hill* atinge valores de 74,57% e 81,03% respectivamente. Considerando que destes teores tem-se uma percentagem de fibras de 43,1% e 35% para a lavagem da Pera e para a calha da *Side Hill*, respectivamente, Considerando que a vazão da *Side Hill* é em torno de 97m³/h e da Pera em torno de 2m³/h, a perda de fibra da Pera é insignificante, com um fluxo mássico de fibras de 0,005 t/h contra 0,109 t/h proveniente da *Side Hill*. Considerar também que a densidade de uma suspensão de fibras diluída é em torno de 1.

Fluxo mássico de fibras (Vazão de fibras) = Vazão volumétrica x Concentração de sólidos suspensos x Densidade x Teor de fibras /10000

Para a *Side Hill*:

Fluxo mássico de fibras (Vazão de fibras) = 97 x 0,32 x 1 x 35 /10000 = 0,109 t/h

Para a Pera:

Fluxo mássico de fibras (Vazão de fibras) = 2 x 0,60 x 1 x 43,1 /10000 = 0,005t/h

Dois itens devem ser levados em consideração:

- As fibras da pêra são fibras mais nobres que as fibras provenientes da *Side Hill*, já que estas passaram pelo refinador uma vez a mais que as fibras da proveniente da Pera.

TABELA 7 - PAPEL HIGIÊNICO NATURAL – AVALIAÇÃO SUPORTE

Ponto de coleta da amostra	Concentração de Sólidos Suspensos	Teor de Orgânicos	Teor de Fibras	Vazão de Fibras
	%	%	%	t/h
Lavagem da pera	0,60	74,57	43,10	0,005
Calha da side hill	0,32	81,03	35,00	0,109
Tanque recebe retorno da MP	0,88	81,14	80,00	NA
Retorno da peneira (DP horizontal)	0,78	83,25	75,00	NA
Retorno da Máquina de Papel	0,51	79,37	82,70	NA

FONTE: O autor (2011)

Com referência ao tanque que recebe água de retorno da máquina, a percentagem de orgânicos ficou em 81,14% sendo que deste, 80% são fibras. Este tanque é um tanque que eventualmente transborda, com uma vazão visual considerável, sendo um ponto de sugestão para melhorias futuras. A contribuição destes 80% de fibras é proveniente do rejeito do depurador pressurizado horizontal que possui 83,25% de orgânicos e 75% de fibras, das águas de retorno da máquina de papel cujos valores de orgânicos estão na faixa de 80% com um total de fibras em torno de 82%.

4.2.7 Resultados das Análises laboratoriais de retenção de fibras na máquina de papel

A análise laboratorial de retenção refere-se à retenção de fibras na tela da máquina durante a fabricação de papel, isto é, após adicionar uma certa quantidade de fibras sobre a tela a percentagem que fica sobre a mesma e que irá compor o papel é o que é retido, enquanto que o que se perde irá compor a água branca, aumentando a sua concentração (Cs). A tabela 8 e tabela 9 mostram os resultados para a retenção e turbidez das água drenadas da máquina de papel.

TABELA 8 - ANÁLISE DE RETENÇÃO DE FIBRAS NA MÁQUINA DE PAPEL – PAPEL SEMI-BRANQUEADO

Amostra Papel Semi-branqueado:	Drenagem por gravidade		
	Turbidez água branca da água drenada	Concentração da água drenada	Retenção de fibras
Massa da caixa de entrada (Concentração 0,39 %)	NTU	%	%
Teste A - SEM POLÍMERO	1376,70	0,09	75,89
Teste com polímero HARIMA 0,05% (poliacrilamida)	487,63	0,04	91,01
Teste com polímero NALCO 0,05% (61733.76M)	487,77	0,03	91,78
Teste com polímero NALCO 0,05% (7607 PLUS)	1113,06	0,07	83,29
Teste com polímero NALCO 0,05% (61067)	526,34	0,03	92,01

FONTE: O autor (2011)

TABELA 9 - ANÁLISE DE RETENÇÃO DE FIBRAS NA MÁQUINA DE PAPEL – PAPEL NATURAL

Amostra Papel Natural:	Drenagem por gravidade		
	Turbidez água branca da água drenada	Concentração da água drenada	Retenção de fibras
	NTU	%	%
Massa da caixa de entrada (Concentração 0,47 %)			
Teste A - SEM POLÍMERO	2111,30	0,13	71,30
Teste B - SEM POLÍMERO	2214,22	0,15	67,73
Teste C - SEM POLÍMERO	1642,86	0,13	71,10
Teste com polímero HARIMA 0,1% (poliacrilamida)	834,02	0,06	86,72
Teste com polímero HARIMA 0,05% (poliacrilamida)	989,32	0,07	85,56
Teste com polímero NALCO 0,05% (61733.76M)	676,02	0,05	88,93
Teste com polímero NALCO 0,05% (7607 PLUS)	1680,94	0,13	72,01
Teste com polímero NALCO 0,05% (61067)	814,76	0,07	85,07

FONTE: O autor (2011)

As análises de retenção foram realizadas em formador de folhas de laboratório utilizando a massa coletada da caixa de entrada da máquina de papel.

No formador os cuidados foram tomados com o intuito de manter as condições da máquina como pH, consistência e gramatura do papel.

A tela utilizada no primeiro experimento foi um pouco mais fechada que a tela da máquina da fábrica de papel TRÓPICOS, resultando em uma retenção em torno de 70 a 75 % o que é uma melhora significativa em relação à retenção real da máquina que gira em torno de 30 a 50%.

Com a adição dos polímeros poliacrilamidas, conforme TABELA 8 , houve um acréscimo na retenção, quando comparado com os resultados sem adição de polímeros, em torno de 20%, isto é a retenção subiu de 75% (sem polímero) para aproximadamente 90% (com polímero), isto utilizando a massa para a produção de papel tissue semi-branqueado.

Realizando os testes com massa para produção de papel tissue natural o valor da retenção subiu de aproximadamente 71 % (sem polímero) para cerca de 85% (com polímero), conforme apresentado na TABELA 9. Somente o polímero poliamida 7607 PLUS não apresentou um aumento considerável em nenhum dos testes de retenção devido ao fato do mesmo ser um polímero de baixo peso molecular, funcionando somente como coagulante e não como floculante como os demais polímeros.

Com relação à turbidez da água drenada da máquina pode-se observar que todos os polímeros reduziram esta em mais de 50%, com exceção do polímero poliamida 7607 PLUS devido ao mesmo ser de baixo peso molecular. Esta queda na turbidez é devido a diminuição da perda de fibras na tela da máquina, que é o

principal objetivo da aplicação de polímeros de retenção. Esta menor perda de fibras na tela da máquina acabará contribuindo para a redução do teor de orgânicos no efluente.

5 CONCLUSÃO

O balanço de massa revelou que a perda de material fibroso no lodo é de aproximadamente 3,7 ton/dia considerando todos os tipos de papéis (branco, semi-branco e natural) produzidos pela empresa

Os resultados evidenciam a necessidade de alterações no processo visando a redução e um melhor destino para o lodo. Com esta redução, ter-se-á um aumento da arrecadação bruta da empresa em torno de 10% sobre o valor atual.

Outro aspecto a ser analisado e que justifica o trabalho de redução de lodo na fábrica é a possibilidade de diminuição de material fibroso para as lagoas que varia de 1 a 10 ton/dia, Isto diminuirá a carga de DBO lançada para o efluente e aumentará a produção de papel.

O valor de 10 ton/dia ocorre para as lagoas quando o Clarificado Sveen Pedersen não está trabalhando adequadamente. Frente a estes dados, o trabalho de ajuste não deve ser somente no tanque clarificador Sveen Pedersen, mas sim no processo fabril antes do efluente.

A redução do lodo só pode ser realizada com retorno do material orgânico para o processo, o que é benéfico para o processo e para o produto final.

O material inorgânico pode retornar para o processo desde que cuidados mínimos sejam tomados para prevenir uma possível diminuição de algumas propriedades imprescindíveis ao papel higiênico como a maciez e a absorção. Deve-se estar atento à formação de pó no produto final que é uma proibição dos órgãos ambientais e vigilância sanitária.

A redução de orgânicos com a otimização do processo vem acompanhada pela redução da carga de orgânicos para o efluente diminuindo a possibilidade de arraste para as lagoas de decantação.

Para a redução do teor de orgânicos do lodo, que muitas vezes ultrapassa os 50%, uma das possibilidades é fazer modificações no processo com mudanças nas calhas. Estas mudanças minimizam a perda de fibras nobres, mesmo que em pequenas quantidades.

As calhas contendo água com excesso de inorgânicos devem seguir para o efluente, porém o clarificador Sveen Pedersen deve ser otimizado em termos de rotação das palhetas e dosagem de produtos químicos para não sobrecarregar as lagoas com materiais sólidos.

O fluxo de rejeitos dos Cleaners embora contenha alguma quantidade de fibras, não poderá ser zerado, com isso, este fluxo de rejeito deverá ser direcionado para a ETE devido a grande presença de areia, fazendo com que os Cleaners cumpram o seu papel de limpeza da massa. Este rejeito impacta pouco no lodo e pode ser rejeitado sem maiores problemas.

Outra modificação que beneficiará tanto o processo quanto o lodo é a aplicação de polímeros na máquina de papel, com a finalidade de diminuir a perda de materiais orgânicos na tela da máquina.

Outra maneira de aumentar a retenção, como foi realizado no experimento, é a utilização de uma tela mais fechada, desde que este procedimento não provoque perda de drenagem e produção que são preocupações dos fabricantes.

É aconselhável a reciclagem com acompanhamento do teor de matéria-orgânica no produto final. O excesso dele provoca perda na qualidade do mesmo.

A esse material inorgânico removido, que é composto principalmente de carbonato de cálcio e caulim, deverá ser dado um destino lucrativo para o mesmo, de modo a não comprometer o meio ambiente.

6 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Aplicação do lodo na fabricação de blocos de concreto. Existem tentativas a respeito de trabalhos similares, porém sem muito sucesso devido a não otimização da aplicação.
- Utilização do lodo na fabricação de cerâmica após secagem e queima do mesmo na caldeira.
- Realização de testes de retenção na máquina de papel com a utilização de uma tela mais aberta em relação a que foi utilizada no trabalho em questão, de preferência a mesma tela utilizada na máquina de papel e com dosagens de polímeros diferentes em aplicação de somente um polímero e com aplicações de dois polímeros em séries.

REFERÊNCIAS

ALEXANDERSSON, T.; **Water Reuse in Paper Mills, Measurements and Control Problems in Biological Treatment**, Lund University, Department of industrial electrical engineering, Licentiate Thesis, 2003, p. 8 - 11.

ANDRIONI, J. L. L.; **Fabricação de Papel, Formação da Folha**, volume II, Curitiba, 2006, cap 6 .

ANDRIONI, J. L. L.; **Fabricação de Papel, Preparo de massa**, volume II, Curitiba, 2006, p. 42, 269 - 271.

ANTUNES, A. R.; **Papel reciclado para um desenvolvimento sustentável, Universidade de Lisboa, Faculdade de tecnologia**, Centro de informação de resíduos, 2001, p. 35 - 45.

ANTUNES. E. S. **Flocculation studies in papermaking**. PhD Thesis (Doctor of Philosophy), University of Coimbra. Faculty of Sciences and Technology. Chemical Engineering Department, Coimbra, Portugal, 2009. p. 66, 125, 137.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABTCP E8: Determinação da demanda bioquímica de oxigênio Brasil, 2003, p. 01 a 08.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABTCP E9: Determinação da demanda química de oxigênio, Brasil, 2003, p. 01 a 08.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABTCPE14: Determinação da turbidez pelo método neflométrico, Brasil, 2003, p. 01 a 03.

BARBER, S. D. **Analysis and Prevention of Usable Fiber Loss From a Fine Paper Mill**, thesis, USA: Virginia Polytechnic Institute and State University, 1998.

BENÍTEZ, J. A. et al. **Office Paper Recyclability: First Recycling**. Maestria en Ciencias de Madera, Celulosa y papel, Universidad Nacional de Misiones, Misiones, Argentina, 2008, p. 01.

BRASIL, CASA CIVIL, Decreto-lei nº 123050, de 2 de agosto de 2012, **Política nacional de resíduos sólidos**, Título I, capítulo I, artigo 1º parágrafo 1º, em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acesso em: 21/02/ 2012.

BRASIL, CASA CIVIL, Decreto-lei nº 123050, de 2 de agosto de 2012, **Política nacional de resíduos sólidos**, Título I, capítulo II, artigo 3º, parágrafos III, XI, XII e XV, em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acesso em: 21/02/ 2012.

CARDOSO, G.S., **Fabricação de Celulose**, volume I, Curitiba, 2006, p. 116 -118.

DRUMMOND, D. M. D.; **Otimização do setor de prensagem por meio de planejamento de produção em uma indústria de papel**, UNICAMP, Faculdade de Engenharia Química, Tese de Doutorado, Campinas, 2008, p.15 - 18.

DRUMMONT, D. M. D.; **Otimização para o posicionamento dos equipamentos do circuito de massa na fabricação de papel Tissue**, UNICAMP, Faculdade de Engenharia Química, Dissertação de Mestrado, Campinas, 2004, p. 31 - 32.

FOELKEL, C. **Ecoeficiência na gestão da perda de fibras de celulose e do refugo gerado na fabricação de papel**, Eucalytpus Online Books & Newsletter, 2007.

FOELKEL, C. **Oportunidades para ecoeficácia, ecoeficiência e produção mais limpa na produção de celulose Kraft de Eucalipto**, Eucalytpus Online Books & Newsletter, 2008.

FOELKEL, C. **Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de Eucalipto. Parte 03: Lodos & Lodos**, Eucalytpus Online Books & Newsletter, 2007.

GALLON, A. V.; SALAMONI, F. L.; BEUREN, I. M. **Tratamento dos resíduos no processo de fabricação de papel reciclado em indústria de Santa Catarina**, XXVI ENEGEP - Fortaleza, CE, Brasil, 9 a 11 de Outubro de 2006.

KINSELLA, S. (1996). **Making Paper**: Content. *in* "Environmentally Sound Paper Overview: The Essential Issues". Conservatree. www.conservatree.html

MAIOLINO, S. Boas idéias começam no papel. **Folha da BRACELPA**, São Paulo, jan/abril. 2010. Associação Brasileira de Celulose e Papel.. 2012. 4p. acesso em 27/02/2012

MIELI, J. C. A. **Sistema de avaliação ambiental na indústria de celulose e papel**, tese, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2007.

NAVARRO, R. M. S.; **Estudo dos diferentes tipos de processos de branqueamento de celulose objetivando a comparação entre seus métodos e a geração do potencial de poluentes em seus respectivos efluentes**, UNICAMP, Faculdade de Engenharia Química, Dissertação, Campinas, 2004, p. 6,7.

PINHEIRO, R. M.; VIEIRA, C. M. F.; SÁNCHEZ, R.; MONTEIRO, S. N.; **Caracterização de resíduos de papel**, 51º Congresso Brasileiro de Cerâmica, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, junho 2007, p.10.

POLVELARI, M.; LEWIS, C.; **Novas tecnologias de micropolímero para aumento de drenagem e retenção de massas de papel com e sem pasta de madeira**, Revista o papel, 41º Congresso e Exposição Internacional de Celulose e Papel, São Paulo, Nov. 2008, p. 98.

RUSSO, M. A. T. **Tratamento de resíduos sólidos**, Universidade de Coimbra, Faculdade de ciências e tecnologia, 2003, p. 62 - 64.

SMOOK, G. A. **Handbook for Pulp & Paper Technologists**. 3rd edition. USA: Angus Wilde Publications Inc. 2002, p. 74 - 90, 101 - 134.

SPRINGER, A. M. **Control Ambiental para la Industria de la Pulpa e el Papel**, 2ª edición. USA: TAPPI PRESS, 1999.

TAPPI TEST METHODS, Ed: TAPPI PRESS. TAPPI – T 240 om – 93: Consistency (concentration of pulp suspensions) Atlanta, Georgia, USA, 1996, p. 01 – 02.

TAPPI TEST METHODS, Ed: TAPPI PRESS. TAPPI – T 412 om – 93: Moisture in pulp, paper an paperboard. Atlanta, Georgia, USA, 1996, p. 01 – 02.

TAPPI TEST METHODS, Ed: TAPPI PRESS. TAPPI – T 211 om – 93: Ash in wood, pulp, paper and paperboard: Combustion at 525 °C. Atlanta, Georgia, USA, 1996, p. 01 – 03.

TAPPI TEST METHODS, Ed: TAPPI PRESS. TAPPI – T 401 om – 93: Fiber analysis of paper and paperboard. Atlanta, Georgia, USA, 1996, p. 01 – 13.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Orientação para Normalização de Trabalhos Acadêmicos**. Sistema de bibliotecas, UFPR. Disponível em: <<http://www.portal.ufpr.br/normalizacao.html>> Acesso em: 27/02/2012.

URQUIJO, J. L. A. *et al.* **LIBRO BLANCO PARA LA MINIMIZACION DE RESIDUOS Y EMISIONES, Pasta y papel**, IHOBE, Socied Publica Gestion Ambiental, Gobierno Vasco, 2000.

VENA. P. F.; **Thermomechanical pulping (TMP), chemithermomechanical pulping (CTMP) and Bio thermomechanical pulping (MTMP) of Bugweed (Solanum Mauritianum) and Pinus Patula**, University of Stellenbosch, Thesis, Master of wood Sience, 2005, chapter 1 and 2.

WÄNE, G.; **Fibre surface properties of kraft pulp - The influence of wood raw material, bleaching and storage**, Karlstad University Studies, Faculty of Technology and Science, Chemical Engineering, Licentiate thesis, 2009, p.10 -13.

BELOIT, **Catálogo BELOIT**, 1996, 4 pgs

HERGEN, **Catálogo Hergen**, 2009, 4 pgs

ANEXOS

ANEXO 1 – NORMAS DAS ANÁLISES REALIZADAS

NOME	NORMA	EQUAÇÃO
Determinação da consistência	TAPPI – T 240 om - 93	$Consist\ência\ em\ \% = \frac{(W1 - W2) \times 100}{W1}$
Teor de umidade.	TAPPI - T 412 om-94	$Teor\ de\ umidade = \frac{(W1 - W2) \times 100}{W1}$
Teor de orgânicos no lodo.	TAPPI - T 211 om-93	$Teor\ de\ org\~{a}nicos = \frac{(A - B) \times 100}{A}$
Micrografia de fibras	TAPPI - T 401 om-93	-
Determinação de teor de fibras	-	-
DBO	ABTCP E8 -1994	-
DQO	ABTCP E9 -1994	-
Retenção	-	$Reten\~{c}\~{a}\~{o}\ de\ fibras = \frac{(CA - CB) \times 100}{CA}$
Turbidez	ABTCP E14-1994	-