

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE

JOÃO ARTUR DE CAMARGO SANTOS

**SISTEMAS DE DEPURAÇÃO DE POLPA VIRGEM E RECICLADA EM FÁBRICAS
DE PAPEL E CARTÃO, COM ÊNFASE NO CONCEITO DE DISPERSÃO Á QUENTE.**

São Paulo

2012

JOÃO ARTUR DE CAMARGO SANTOS

SISTEMAS DE DEPURAÇÃO DE POLPA VIRGEM E RECICLADA EM FÁBRICAS DE PAPEL E CARTÃO, COM ÊNFASE NO CONCEITO DE DISPERSÃO Á QUENTE.

Monografia de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-graduação Lato Sensu da Universidade Presbiteriana Mackenzie, como requisito para obtenção do Título de Especialista em Tecnologia em celulose e papel.

São Paulo

2012

Aos meus e pais pela compreensão e apoio e a
minha esposa pela paciência e entendimento das
horas ausentes da árdua rotina ao longo de toda esta
jornada.

AGRADECIMENTOS

Á Papyrus Indústria de Papel S/A pela oportunidade dada de expansão de meus conhecimentos e, sobretudo prover integralmente todas as despesas referentes á ela.

Aos meus superiores diretos da Papyrus Ind. Papel SA, que me escolheram para cursar esta especialização e acreditaram no meu potencial para concluí-la.

Aos meus familiares pelo incentivo aos estudos, pela provisão de recursos em meio á todas as dificuldades e principalmente por todos os valores éticos e ensinados ao longo de minha vida.

Á minha esposa que também me incentivou á voltar aos estudos mesmo quando necessários fins de semana longe de casa.

Á todos os professores que ministraram ótimas aulas, demonstrando total empenho na disseminação de seus conhecimentos mesmo junto ao cansaço das viagens e toda a carga horária dos módulos.

Á todos os colegas de classe pela amizade conquistada, conversas informais, risadas descontraídas, troca de experiências profissionais e, principalmente pelo companheirismo demonstrado ao longo destes doze meses juntos.

Á ABTCP pela disponibilização deste curso, incentivo á graduação e especialização e por toda a complexa organização do conteúdo programático.

Á DEUS que pela sua imensa grandeza, têm me dado saúde, proteção, sapiência, paciência e, sobretudo, têm colocado desafios em vida, que possam me fazer aprender, crescer e prosperar.

O senhor é a minha luz e minha salvação; De quem terei medo? O senhor é quem defende a minha vida; A quem temerei? (Salmos 27.1)

RESUMO

O Presente trabalho tem como objetivo, abordar o ambiente do preparo de massa, com o enfoque na depuração de fibras oriundas de aparas de papéis usados. O intuito principal foi de discutir equipamentos de depuração pesada e principalmente discutir sobre a utilização de sistemas de dispersão de contaminantes, especialmente os que recorrem á elevação de temperatura durante o tratamento – denominados dispersão á quente. Este sistema por suas características de consumo de energia elevado e alto valor de investimento é bastante discutido em novas aplicações, sobretudo quando comparado á novas tecnologias. O trabalho quer demonstrar a sua eficiência positiva sobre a depuração final e a sua real necessidade de aplicação quando o nível de contaminantes na polpa fibrosa é elevado e composto por produtos químicos resinados (parafina, *hot-melt*, barreira água etc.) inseridos ao longo do processo de fabricação em função de alguma necessidade de aplicação. Estes tipos de contaminantes quando processados em um processo de reciclagem e depuração convencional, geram resíduos, comumente chamados de *Stickies*, que são incompatíveis á qualidade visual do papel. Além disso, inevitavelmente afetam o andamento de máquina gerando quebras da folha e deposição. Outro fator importante é para certos tipos de aparas oriundas de papéis com cobertura e impressos, a grande variação de pigmentos utilizada na formulação das tintas impressoras, incorrem em pintas e manchas ao papel, que em muitos casos só podem ser minimizadas ou até eliminados através de dispersão. A pesquisa teórica e bibliográfica foi baseada em livros acadêmico-científicos, apostilas de treinamento, publicações de artigos do gênero e manuais de equipamentos, voltados para as áreas de engenharia, mecânica e processo de fabricação de papel. Pretende-se também, comparar de forma exploratória e não experimental o material teórico com alguns dados de fábrica.

Palavras-chave: Depuração, *Stickies*, dispersão de contaminantes, dispersão á quente, pintas.

ABSTRACT

The present work is focused in discuss about the stock preparation environment, with the focus on depuration of fibers derived from parings of paper used. The main purpose was to discuss heavy equipment depuration and mainly discuss the use of dispersion of contaminants systems, especially those uses high temperature during the treatment - called hot dispersion. These systems due to its characteristics of high energy consumption and high investment value are much discussed in new applications, especially when new technologies will be compared. The work either demonstrate their positive effectiveness on final depuration and the real need for the application when the contaminants level in the fiber pulp are pretty higher and compound by chemical resin (paraffin wax, hot melt, water barrier etc.) inserted along the manufacturing process according to some application need. These types of contaminants when processed in a recycle process and conventional depuration, creates residual waste, commonly called stickies, which are incompatible visual quality of the paper. Furthermore, inevitably affects the machine *runability* and generating web breaks and deposition. Another important factor is for certain types of parings derived from printed and coated papers, the wide variation of pigments used in ink formulations printers incur spots and stains the paper, which in many cases may be minimized or even eliminated through dispersion devices. Theoretical research and literature was based on academic and scientific books, training handouts, publications of articles and books of the genre equipment, focused on the areas of engineering, mechanical and process of papermaking. It is also intended to compare in an exploratory way and not experimental, the theoretical material with some manufacturing data.

Keywords: Depuration, Stickies, dispersion of contaminants, hot dispersion, spots.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Dimensões dos contaminantes	27
Figura 02	<i>Hydrapulper</i> vertical	29
Figura 03	Rotores de baixa consistência	30
Figura 04	Rotores de alta consistência	31
Figura 05	Peneira perfurada “ <i>pulper</i> ”	32
Figura 06	Tira-tranças	33
Figura 07	Purga- <i>pulper</i>	34
Figura 08	Tubo separador.....	35
Figura 09	Rotor e peneira de Turbo separadores.....	35
Figura 10	Despastilhador.....	36
Figura 11	Peneira vibratória	38
Figura 12	Depurador rotativo	38
Figura 13	Depurador pressurizado	39
Figura 14	Arranjo em cascata.....	42
Figura 15	Arranjo <i>Feed Foward</i>	43
Figura 16	Desenho esquemático – Separador centrífugo	46
Figura 17	Bateria de “ <i>Cleaners</i> ”	46
Figura 18	Desenho esquemático – Separador de massa grossa.....	47
Figura 19	Desenho esquemático – Depurador e componentes internos.....	50
Figura 20	Desenho esquemático – Depurador tipo <i>Out Flow</i>	51
Figura 21	Desenho esquemático – Depurador tipo <i>In Flow</i>	52
Figura 22	Desenho esquemático – tipos de rotores	53
Figura 23	Desenho esquemático – tipos de alimentação de Depuradores.....	53
Figura 24	Desenho esquemático – turbulência gerada pelos rotores.....	54

Figura 25 Peneiras com fendas	56
Figura 26 Desenho esquemático – Peneiras com fendas e orifícios.....	57
Figura 27 Desenho esquemático – área aberta fendas	58
Figura 28 Desenho esquemático – área aberta orifícios	59
Figura 29 Fluxograma de preparo de massa.....	61
Figura 30 Esquema de fracionamento de fibras	62
Figura 31 Desenho esquemático – Fracionador de fibras	63
Figura 32 Triturador / Amassador	81
Figura 33 Dispensor de alta velocidade	83
Figura 34 Dispensor de baixa velocidade	84
Figura 35 Dispensor á quente.....	86
Figura 36 Rosca transportadora.....	94
Figura 37 Projeto – Rosca alimentadora.....	95
Figura 38 Rosca alimentadora	95
Figura 39 Projeto – Rosca aquecimento	96
Figura 40 Rosca aquecimento.....	96
Figura 41 Projeto Triturador.....	97
Figura 42 Triturador	98
Figura 43 Projeto Câmara de descarga	98
Figura 44 Câmara de descarga.....	99
Figura 45 <i>Hydraulic disc disperser</i>	101
Figura 46 Compact Dispersion System	102
Figura 47 KRD <i>Ecodirect</i>	102
Figura 48 Krima <i>Disperser</i>	103
Figura 49 <i>Compa Disc Disperser</i>	103

Figura 50 *OptiFizer*104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Taxa de recuperação de papéis para reciclagem	20
Tabela 2 Carga microbiológica tolerável.....	78
Tabela 3 Alterações das propriedades das fibras	92
Tabela 4 Dados de operação	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 Classificação dos contaminantes	27
Quadro 02 Características dos Pulpers	32
Quadro 03 Posicionamento de peneiras na planta de depuração	61
Quadro 04 Posicionamento de peneiras na planta de depuração	68
Quadro 05 Composição dos adesivos	70
Quadro 06 Eficiência da dispersão	73
Quadro 07 Comparativo Dispersão em alta e baixa velocidades	85

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 Fontes de fibras para produção de papel 1970-2015.....	18
Gráfico 02 Recuperação de aparas no mercado doméstico	19
Gráfico 03 Eficiência da dispersão	74
Gráfico 04 Dispersão de Stickies	76
Gráfico 05 Influência da temperatura na dispersão de pintas e manchas.....	77
Gráfico 06 Influencia da temperatura na dispersão de Stickies	77
Gráfico 07 Estabilidade dos micro-organismos sob temperatura.....	79
Gráfico 08 Eficiência na redução de pintas	81
Gráfico 09 Eficiência da dispersão mecânica	87
Gráfico 10 Efeitos da dispersão nas propriedades das fibras.....	89
Gráfico 11 Viscosidade das fibras x Resistência.....	90
Gráfico 12 Resistência á tração x Aumento da temperatura.....	91
Gráfico 13 Quebras de papel	106
Gráfico 14 Perdas por pintas	107

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 OBJETIVOS	21
2 PRESSUPOSTOS TEÓRICOS	22
2.1 Matéria Prima reciclável	22
2.2 Terminologia e classificação de aparas	23
3 DEPURAÇÃO – CONCEITO	26
3.1 Objetivo	26
3.2 Contaminantes	26
3.2.1 Tipo de Contaminantes	27
3.2.2 Dimensões dos Contaminantes	27
3.3 Desagregadores Verticais (<i>Hidrapulpers</i>)	28
3.3.1 Rotores de <i>Hidrapulpers</i>	30
3.3.2 Peneiras de <i>Hidrapulpers</i>	31
3.4 Equipamentos para limpeza e extração de contaminantes dos <i>Hidrapulpers</i>	33
3.4.1 Turbo Separador	34
3.4.2 Despastilhadores (<i>Deflakes</i>)	36
3.5 Peneiramento	37
3.5.1 Tipos de peneiras	37
3.5.2 Fatores que afetam a operação de peneiramento	39
3.5.3 Premissas do peneiramento	40
3.5.4 Arranjos em cascata	41
3.5.5 Arranjos <i>Feed Foward</i>	42
3.6 Limpadores centrífugos (<i>Cleaners</i>)	43
3.6.1 Variáveis que podem afetar a eficiência de operação dos separadores centrífugos	44

3.6.2 Separador de massa grossa	47
3.7 Depuração pressurizada – história	48
3.7.1 Princípios da depuração pressurizada	49
3.7.2 Componentes principais de um depurador pressurizado	49
3.7.3 Fluxos da polpa dentro de um depurador – aceite e rejeito	49
3.7.4 Raspadores (rotores)	52
3.7.5 Tipos de Rotores	52
3.7.6 Ação de forças internas com relação ao posicionamento do rotor e a alimentação de massa	53
3.7.7 O efeito gerado pela pulsação dos rotores	54
3.7.8 Velocidade do rotor	55
3.7.9 Velocidade do fluxo em suspensão	55
3.7.10 Cesto peneira	56
3.7.11 Tipos de aberturas	57
3.7.12 Cálculo da área aberta de cestos peneiras	58
3.7.13 Efeito da velocidade de passagem da polpa fibrosa pela peneira	59
3.7.14 Cálculo da velocidade de passagem pelas fendas.....	59
3.7.15 Cálculo da eficiência de limpeza da polpa	589
3.7.16 Cálculo da taxa de rejeito	59
3.7.17 Depuradores e peneiras pressurizadas: características e utilização	59
3.7.18 Furações recomendadas	601
3.8 Sequência de depuração	62
3.9 Fracionamento de fibras	63
3.10 Depuração X consistência	65
4 SISTEMAS DE DISPERSÃO DE CONTAMINANTES	67

4.1 Stickies: conceito	68
4.1.2 Dimensões do <i>stickies</i>	69
4.1.3 Problemas causados pelos <i>stickies</i>	69
4.1.4 Origem e natureza dos <i>stickies</i>	69
4.1.5 Características do <i>stickies</i>	70
4.2 Pintas e manchas, caracterização	71
4.2.1 Classificação das pintas e manchas	71
4.2.2 Problemas relacionados às pintas e manchas	72
4.3 O advento da tecnologia da dispersão de contaminantes	72
4.3.1 Objetivos de utilização	74
4.3.1.1 Objetivo principal	74
4.3.1.2 Objetivo secundário	78
4.4 Dispersão por ação mecânica	80
4.4.1 Dispersão em alta velocidade	81
4.4.2 Dispersão em baixa velocidade	83
4.5 Dispersão á quente	85
4.5.1 Principais variáveis do processo termomecânico (dispersão á quente)	87
4.6 Teorias sobre a utilização do equipamento	88
4.7 Efeitos indesejáveis da dispersão	90
4.8 Comparativo dos efeitos causados as propriedade das fibras após dispersão – dispersores de alta e baixa velocidade	91
4.9 Indicadores de eficiência	92
4.10 Componentes principais dos equipamentos de dispersão de contaminantes	93
4.10.1 Rosca transportadora	92
4.10.2 Rosca alimentadora	94

4.10.3 Rosca de aquecimento	95
4.10.4 Desfibrador/triturador de eixo único (<i>kneader</i>).....	97
4.10.5 Câmara de descarga	98
4.11 Requisitos e equipamentos necessários á operação	99
4.12 Novas tecnologias de dispersão	100
4.12.1 Exemplos de equipamentos existentes	101
5 Ganhos de processo	104
5.1 Dados de serviço do equipamento Papyrus	107
6 Conclusão	108
REFERÊNCIAS	110

1. INTRODUÇÃO

O cenário mundial de produção de papeis / cartões tem sido forçado permanentemente a aproveitar ao máximo as matérias primas extraídas do meio-ambiente, já que as teorias de sustentabilidade e preservação ambiental vêm diretamente ao encontro do uso de tecnologias de processamento de polpas de papeis/cartões já utilizados, tornando a polpa reciclada pré e pós consumo um grande filão de mercado.

A indústria do papel, na verdade tem origem na reciclagem, os primeiros materiais produzidos com esta finalidade, foram confeccionados a partir de produtos reutilizados (BRACELPA 2012).

A utilização de polpas recicladas é grande dentro da história das fábricas de papel, pois tem demonstrado viabilidade comprovada em diversos segmentos do setor: papeis cartão, *kraft*, papel miolo, ondulado, papeis de imprimir e escrever, entre outros. Apesar disso, ainda é uma tecnologia complexa e onerosa, embora já seja bastante difundida em alguns países.

Segundo RAZZOLINI (1994) o número de fábricas no mundo que utilizavam papeis usados e aparas como parte do fornecimento de matérias-primas, atingiam quase 50% do total, já na década de 1990.

Entretanto esta fonte de fibras vem caindo ao longo das últimas décadas, principalmente em função da maior disponibilidade de fibras virgens no mercado. A possível explicação para isto pode estar ligada ao grande “*pull*” de investimentos em novas fábricas de celulose, principalmente na América do Sul e América do Norte. Este cenário de grandes construções e disponibilidade de capital, pode ser justificado por influência do mercado Asiático e Europeu, que teve grande aumento produção de produtos derivados de papel e por consequência, de consumo de fibras celulósicas, importando esta matéria-prima de outros países, devido à escassez de território para plantações de Eucalipto / Pinus. Segundo dados da BRACELPA (2012), em 2011 somente os mercados da China e Europa juntos, corresponderam a 71% das exportações de celulose do Brasil.

Abaixo, um gráfico elaborado na década de 2000, mostrando as principais fontes de fibras para produção de papeis em geral e a prospecção para o futuro próximo (dados equivalentes aos anos de 1970 a 2015):

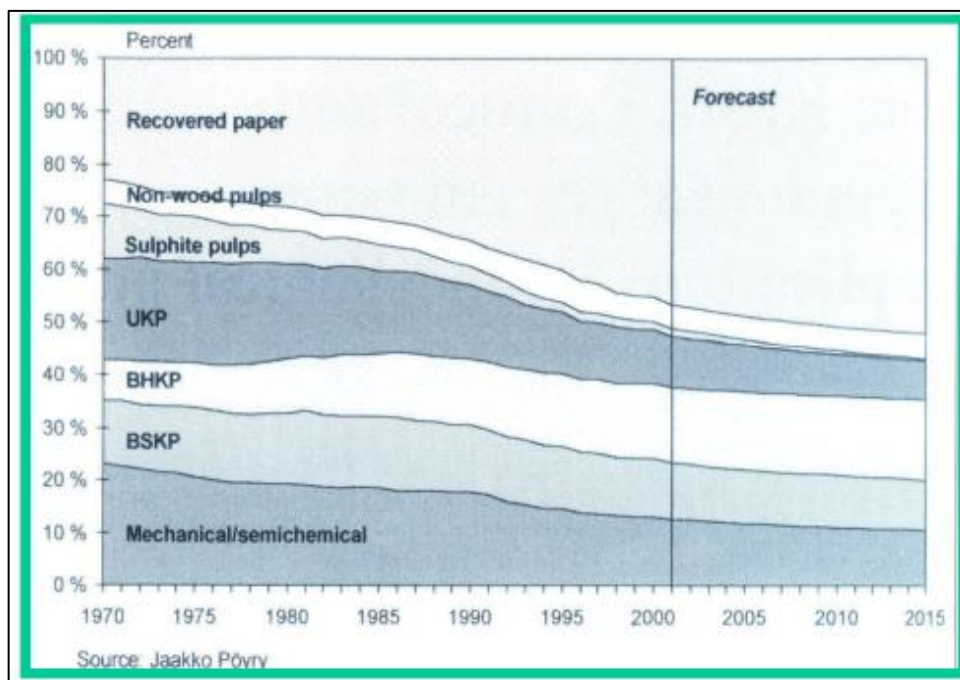


Gráfico 1: Fontes de fibras para produção de papel 1970-2015

Fonte: Química da madeira - MAGATON, 2011.

Sendo: *Recovered papers* = fibras recicladas; *Non wood pulps* = fibra não madeira; *Sulphite* = polpas sulfito; UKP= polpa *kraft* não branqueada; BHKP = polpa *kraft* branqueada de fibras curta; BSKP= polpa branqueada de fibras longas; *Mechanical / semimechanical pulp*= polpas mecânicas e semi-mecânicas.

Segundo dados da BRACELPA (2012) o Brasil reciclou no ano de 2009, cerca de 3,9 milhões de toneladas, o que corresponde a 46% do consumo geral do mercado interno para produtos de papel e em 2010, em números exatos, 1,35 milhões de toneladas somente no estado de São Paulo, que é o maior produtor de papeis oriundos de fontes de fibras recicladas no mercado nacional. Este panorama atual indica que o Brasil, esta caminhando no sentido contrario do mercado mundial, e vem utilizando mais materiais reciclados/ reaproveitados que em décadas passadas. Os dados comprovam que a utilização de fontes de fibras recicladas (aparas) aumentou, juntamente com o consumo de papeis no mercado doméstico, ou seja o consumo aumentou e as fontes de fibras recicladas também.

O gráfico abaixo pode auxiliar no entendimento da citação acima, e ratificar esta tendência de aumento de recuperação de fibras recicladas, comparadas ao aumento de consumo dentro do segmento de produtos de papel:

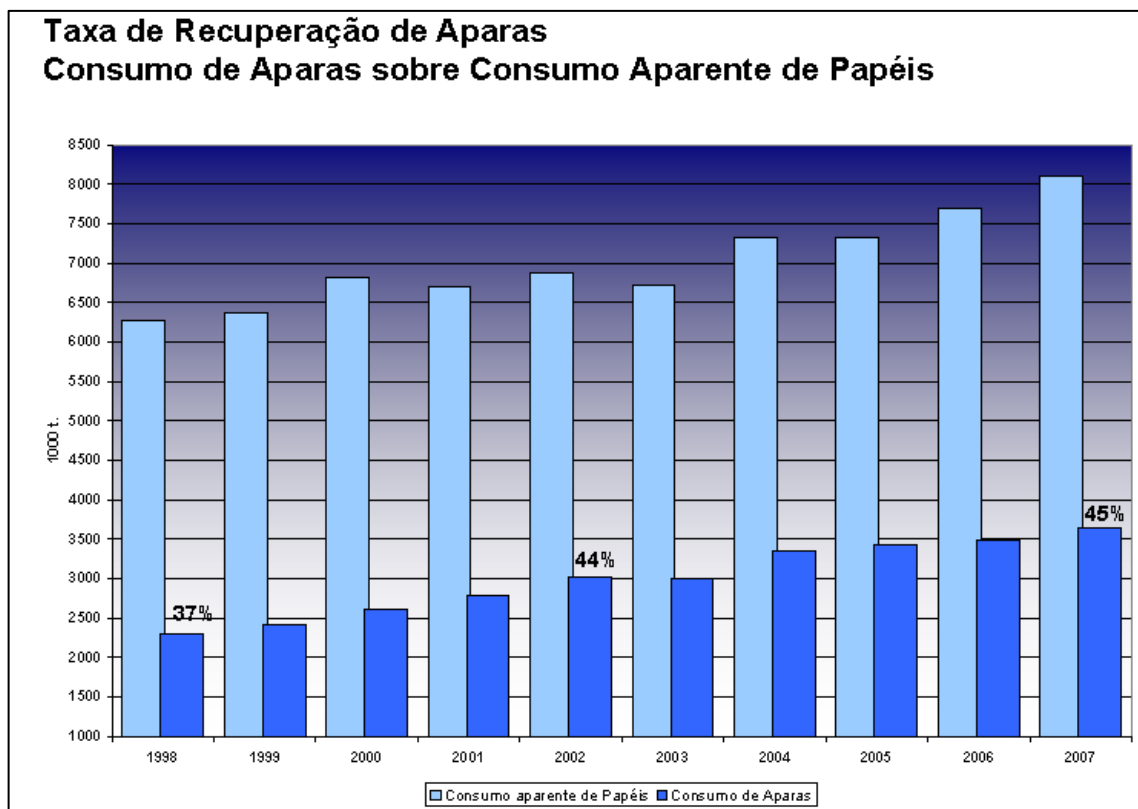


Gráfico 2: Recuperação de aparas no mercado doméstico

Fonte: Relatório Estatístico 2007/2008 - BRACELPA 2008

No entanto, apesar deste mercado aparentar ser predominante, atualmente uma pequena porção das fábricas nacionais, produtoras de papéis e cartões tem como **fonte única** ou **fonte principal** de matérias-primas, as polpas recicladas.

Esta pequena utilização no Brasil pode ser atribuída a diversos fatores, alguns de caráter econômicos, como a mudança no portfólio de produtos e conseqüentemente uma queda na demanda de vendas, outros, devido a uma necessária readequação de processos e equipamentos que devem ser elaborados, adquiridos e instalados nestas fábricas para receber e processar polpas com algum teor de sujidade, como as polpas recicladas. Aliado a isto, as considerações sobre as diferentes propriedades do papel/cartão produzidos através de polpas recicladas e a falta de conhecimento sobre as características do processamento deste segmento torna este assunto de total relevância ao nosso presente, como produtores de papéis e cartões.

A tecnologia de produção de derivados de papel com fibras recicladas não é recente, algumas empresas já se utilizam destas fontes a mais de quarenta anos com garantia de produtividade e qualidade final do produto, compatíveis a papéis processados com fibras virgens. (ABTCP,s,d). Porém como já mencionado anteriormente um sistema de preparo de massa e depuração de polpa devem essencialmente estar preparados para este tipo de fibra

com equipamentos e controles diferenciados dos utilizados em processamento convencional de polpas de fibras virgens. (SPIELBAUER, 2000)

O conceito de depuração de fibras se baseia fundamentalmente, na separação de fibras celulósicas, consideradas “boas” e reutilizáveis, de sujidades ou impurezas (material não fibroso) que ao longo do ciclo de vida do produto acabam sendo agregadas ao material. (MOKFIENSKI, 2011).

Segundo o site, WEB-DICIONÁRIO (2012), **depuração** significa: Remoção de impurezas ou de partes heterogêneas de um corpo ou substância.

Estes sistemas de depuração, usualmente chamado de “depuração pesada” no jargão papaleiro, exploram em termos de equipamentos alguns dos projetos mais robustos, tanto da forma construtiva quanto funcional, daí, portanto o interesse e a pauta desta pesquisa. Aliado á isto, pretende-se demonstrar em detalhes, alguns equipamentos específicos de depuração, com enfoque em aplicações, eficiência e particularidades.

A tabela, abaixo demonstra a taxa de recuperação de papeis usados para reciclagem ao redor do mundo e o grande potencial á ser explorado pela indústria brasileira neste segmento (valores de 2010):

Países Selecionados	Taxa de Recuperação*
Coréia do Sul	91,6%
Alemanha	84,8%
Japão	79,3%
Reino Unido	78,7%
Espanha	73,8%
Estados Unidos	63,6%
Itália	62,8%
Indonésia	53,4%
Finlândia	48,9%
México	48,8%
Brasil (1)	46,0%
Argentina	45,8%
China	40,0%
Rússia	36,4%
Índia	25,9%

* Volume de aparas recuperadas no país dividido pelo consumo aparente de papel

Tabela 1: Taxa de recuperação de papeis para reciclagem

Fonte: Depuração da polpa marrom – Mokfienski / ABTCP 2011

1.1. OBJETIVO GERAL

O enfoque geral desta pesquisa é explorar o universo de sistemas de depuração de polpa em fábricas de papel, com enfoque em fibras recicladas. Entretanto, pretende-se com isto, não apenas detalhar uma sequencia teórica de processos ou equipamentos simplesmente, mas sim discutir sobre equipamentos específicos por aplicação, sua funcionalidade e range de trabalho; Discutir teorias sobre o assunto e principalmente, aprofundar no universo de depuração através de dispersão de contaminantes e tratamento á quente, geralmente utilizada em fábricas que utilizam polpa reciclada como fonte principal de matéria-prima. Assim sendo pode-se subdividir o objetivo principal e discutir sobre:

- Sistemas e equipamentos de preparo de massa, depuração e principais características.
- Sistemas de dispersão de contaminantes das aparas
- Equipamentos de dispersão mecânica (*kneaders*) e dispersão á quente.
- Novas tendências e equipamentos.

O trabalho de pesquisa teórica a seguir, foi baseado em livros acadêmico-científicos, apostilas de treinamento, publicações de artigos do gênero e manuais de equipamentos, voltados para as áreas de Engenharia, Mecânica e processo de fabricação de papel. O levantamento bibliográfico da pesquisa buscou fontes com respaldo científico que possam ser interpretadas e analisadas de forma a contribuir com o objetivo da monografia.

A metodologia da pesquisa foi estruturada em 05 (cinco) capítulos: Introdução, Pressupostos teóricos, Depuração, Sistemas de Dispersão, Ganhos de Processo. Os principais autores citados foram: ABTCP, MANFREDI, ARAÚJO, RODRIGUES, BUGAJER, ALMEIDA e CAHEN, KUMAR e FABRI, SERRES , LASCAR e THOMAS.

Pretende-se também, comparar de forma exploratória, informal e não experimental o material teórico com alguns dados de fábrica.

2. PRESSUPOSTOS TEÓRICOS

2.1. Matéria Prima reciclável: Aparas

O conceito de reciclagem de papéis consiste basicamente no reaproveitamento de fibras celulósicas de papéis já utilizados ou processados, tendo em vista que teoricamente qualquer tipo de papel pode ser reciclado, reaproveitado e transformado em matéria prima novamente (DE PIN, 2009).

É importante ressaltar que tecnicamente, existem necessidades especiais para o processamento destas fibras e, sobretudo na obtenção de características específicas determinadas pelo tipo de produto a ser fabricado. Inegavelmente uma planta de depuração e processamento de aparas tem de ter um *staff* de equipamentos mais “parrudos” em comparação á plantas que utilizam fibras virgens.

O primeiro passo no processamento destas fibras é uma seleção apurada dos papéis velhos e aparas a serem utilizadas, dependendo do tipo de impureza ou contaminantes, as instalações fabris devem estar adequadas e preparadas para isto. Após esta pré-seleção pode-se compilar uma “receita” padrão para fabricação e também determinar referências quantitativas de consumo e qualitativas em relação as propriedade físicas atingíveis com este produto. Como exemplo, podemos identificar matérias-primas oriundas de aparas com diversos tipos de fibras na sua composição, tais como fibras longas (*Soft Woods*) de Pinus e espécies Coníferas, fibras curtas (*Hard Woods*) de Eucalipto e espécies Folhosas pastas de alto rendimento, químicas e semi-químicas oriundas de ambas, além de todos os outros elementos que foram incluídos durante o processo de fabricação original: cola, amido, sílica, polímeros, etc. (ARAUJO, 2012).

Outro fator interessante sobre as fibras recicladas é que estas já contem um nível de refinação razoável e, portanto podem economizar em consumo de energia (que são altíssimos) ou até mesmo dispensarem esta etapa do processo.

Além da diversidade de fibras do papel a ser reciclado, existem invariavelmente uma carga de contaminantes que foram adquiridos e carregados juntamente com o processo de fabricação, descarte, coleta e até logístico do sistema e são estes componentes que por se tratarem de impurezas propriamente ditas, precisam ser separados radicalmente da matéria-prima fibrosa. Em linhas gerais o nível de impurezas em aparas não classificadas é alto e em se tratando de composição, bastante diferentes entre si, pode-se esperar componentes nada

peculiares ao que se deseja como fonte de fibras, como: metais, vidros, madeiras, pedras etc. (FOELKEL s.d.).

Não existe limite especificado em normas para as quantidades de reciclagem que uma fibra pode ser reprocessada mantendo originalmente suas propriedades principais (rigidez, capacidade de ligação etc.), porém existem estudos teóricos que de forma empírica sugerem que o limite máximo de reciclagem de uma fibra ficaria em torno de 05 a 07 (sete) fabricações, podendo variar de acordo com o nível de degradação imposto pelo maquinário e aditivos químicos (METAFORE, 2006; KLABIN, 2012)

Por definição, alguns termos são frequentes no universo dos recicladores e fabricantes de papel. Para o entendimento imediato, abaixo a citação literal da autora (BUGAJER, 1988, p.798):

- Aparas: é o nome comercial dado a resíduos ou produtos de papel, cartão e papelão coletados antes e após sua utilização, escolhidos, selecionados, enfardados e vendidos como matérias-primas para fábricas de papel.
- Impurezas: são considerados todos os papeis, cartões e papelões, inadequados a uma determinada finalidade e ainda: metais, cordas, vidros, madeiras, têxteis, pedras, areia, cliques, elásticos etc.
- Materiais Proibitivos: são aqueles cuja presença, em quantidade maior que a permitida segundo a especificação, tornam as aparas inadequadas para um tipo específico de papel. Dentre os materiais proibitivos, podem-se citar: papel vegetal ou glassine, papel e papelão encerados, parafinados, betuminados, papel-carbono, papel e papelão revestidos ou impregnados com substâncias impermeáveis à umidade, papel laminado, resinados, com camadas metálicas ou plásticas, adesivadas.

OBS: atualmente existem processos especiais podem retirar/transformar quimicamente boa parte destes componentes acima classificados como proibitivos, porém com certas limitações.

2.2. Terminologia e classificação de aparas

Comercialmente a discrepância entre os diversos tipos de aparas é definida e classificada por alguns atributos próprios, uns relacionados à matéria-prima contida (fibras brancas, marrons, pasta mecânica etc.), outras ao tipo de produto final (cartões, cartolinas, ondulado etc.), e finalmente algumas que destacam características relacionadas à coleta e acondicionamento, como teor de impurezas, teor de umidade, teor de materiais proibitivos (papeis resinados, parafinados etc.), portanto para gerar

exatidão no esclarecimento, segue abaixo citação de autora, tal qual publicada na época (BUGAJER, 1988.p.799):

- Branco I: aparas de papeis brancos sem impressão e revestimento. Teor de umidade max. 10%, teor de impurezas max. 0%, teor de materiais proibitivos max. 0%
- Branco II: aparas de formulários contínuos de papel branco, sem carbono entre folhas e sem revestimento. Teor de umidade max.10%, teor de impurezas max.: 2%, Teor de materiais proibitivos: 0%
- Branco III: aparas de papel de imprensa e jornal ainda sem impressão. Teor de umidade max.10%, teor de impurezas max.: 0%, Teor de materiais proibitivos: 0%
- Branco IV: aparas de papeis brancos de escritório, manuscritos, impressos ou datilografados, cadernos usados sem capa e impressos em preto. Teor de umidade max.10%, teor de impurezas max.:5%, Teor de materiais proibitivos: 0%
- Branco V: aparas de papeis brancos, com porcentagem mínima de impressão ou revestimento. Teor de umidade max.12%, teor de impurezas max.: 25%, Teor de materiais proibitivos: 0%
- Kraft I: aparas de papel Kraft usado na fabricação de sacos multifoliados, sacos de papel Kraft refugados por defeitos de fabricação ou não utilizados. Teor de umidade max.10%, teor de impurezas max.: 1%, Teor de materiais proibitivos: 0%
- Kraft II: aparas de sacos multifoliados já utilizados, de papel tipo Kraft.com fibras e cores diversas, sem escolha ou seleção. Teor de umidade max.15%, teor de impurezas max.: 5%, Teor de materiais proibitivos: 0%
- Kraft III: aparas de alguns tipos de multifoliados de papel Kraft, principalmente de cimento, misturados, sem batimento, escolha ou seleção. Teor de umidade max.15%, teor de impurezas max.: 17%, Teor de materiais proibitivos: 3%
- Cartões de pasta mecânica (aparas Paraná) são aparas de artefatos de papel, produzidos somente com pasta mecânica. Teor de umidade max.12%, teor de impurezas max.: 0%, Teor de materiais proibitivos: 0%
- Jornais: são aparas de jornal velho, limpo e encalhes de redação. Teor de umidade max.12%, teor de impurezas max.: 1%, Teor de materiais proibitivos: 0%.
- Cartolina I: são aparas de cartolinas e cartões, com ou sem revestimento, sem impressão, provenientes de cartolinas e cartões fabricados exclusivamente com pasta celulósica. Teor de umidade max.10%, teor de impurezas max.: 0%, Teor de materiais proibitivos: 0%.
- Cartolina II: aparas e cartolinas e cartões com ou sem revestimento, com impressões e cores variadas. Teor de umidade max.12%, teor de impurezas max.: 00%, Teor de materiais proibitivos: 0%.
- Cartolina III: aparas de cartolina e cartões brancos plastificados, com ou sem impressão. Teor de umidade max.12%, teor de impurezas max.: 3%, Teor de materiais proibitivos: 7%.
- Ondulado I: aparas obtidas de caixas de papelão ondulado, fabricado com capas de alta resistência. Teor de umidade max.15%, teor de impurezas max.: 3%, Teor de materiais proibitivos: 0%.
- Ondulado II: aparas obtidas e caixas, chapas ou refugos de papelão ondulado, fabricado com capas de resistência menor que o ondulado I Teor de umidade max.15%, teor de impurezas max.: 5%, Teor de materiais proibitivos: 0% .
- Ondulado III: aparas obtidas de caixas ou refugos de papelão ondulado, fabricado com capas de baixa resistência e pontas de tubetes, podendo contar com até 20% de outros tipos de papel, que não sejam papelão ondulado. Teor de umidade max.20%, teor de impurezas max.: 5%, Teor de materiais proibitivos: 3%.
- Revistas: aparas de revistas velhas, encalhadas ou com defeitos de impressão, impressas em papeis com ou sem revestimento. Teor de umidade max.10%, teor de impurezas max.: 0%, Teor de materiais proibitivos: 0%
- Misto I: aparas de papeis mistos usados, provenientes em sua maior parte de escritórios, gráficas, aparas coloridas, resíduos de papeis cartões diversos, misturados e provenientes de artefatos de papel. Teor de umidade max.12%, teor de impurezas max.: 5%, Teor de materiais proibitivos: 1%.

- Misto II: aparas de papeis mistos provenientes de escritórios, lojas comerciais e casas residenciais. Teor de umidade max.15%, teor de impurezas max.: 10%, Teor de materiais proibitivos: 3%.
- Misto III: aparas de papeis mistos usados, de todas as procedências. Teor de umidade max.20%, teor de impurezas max.: 15%, Teor de materiais proibitivos: 5%.
- Tipografia: aparas de recortes coloridos provenientes de gráficas e tipografias. Teor de umidade max.10%, teor de impurezas max.: 1%, Teor de materiais proibitivos: 0%.

3. DEPURAÇÃO – CONCEITO

3.1. Objetivo

Segundo MANFREDI (2011), o conceito de depuração é basicamente a remoção de contaminantes (*debris*) de massa fibrosa, responsáveis por defeitos no papel e quebras da folha em máquina (*machine runability*). Devem remover de forma seletiva, através de peneiramento, os constituintes indesejáveis, rejeitando o mínimo possível de fibras “boas”. (MOKFIENSKI, 2011).

3.2. Contaminantes (*debris*)

De acordo com MANFREDI (2011), são partículas dos mais variados tipos e origens, maiores quês as fibras de celulose em pelo menos uma de suas dimensões.

3.2.1 Tipos de contaminantes

Contaminantes e impurezas, variam quanto ao tamanho, peso específico e forma física, exigindo diferentes ações no efeito da depuração, a fim de conseguir sua separação das fibras e respectiva eliminação do processo. (MANFREDI, 2011)

- Cúbica grande (*large cubical*): maiores que as fibras nas três dimensões
- Placa: (*flake*): maiores quês as fibras em duas dimensões
- Palitos: (*shives*): maiores que as fibras em uma dimensão
- Cúbica pequena (*small cubical*): nenhuma dimensão maior que as fibras

Abaixo, na figura 2, o desenho esquemático dos contaminantes acima mencionados e termo utilizado para a sua denominação:

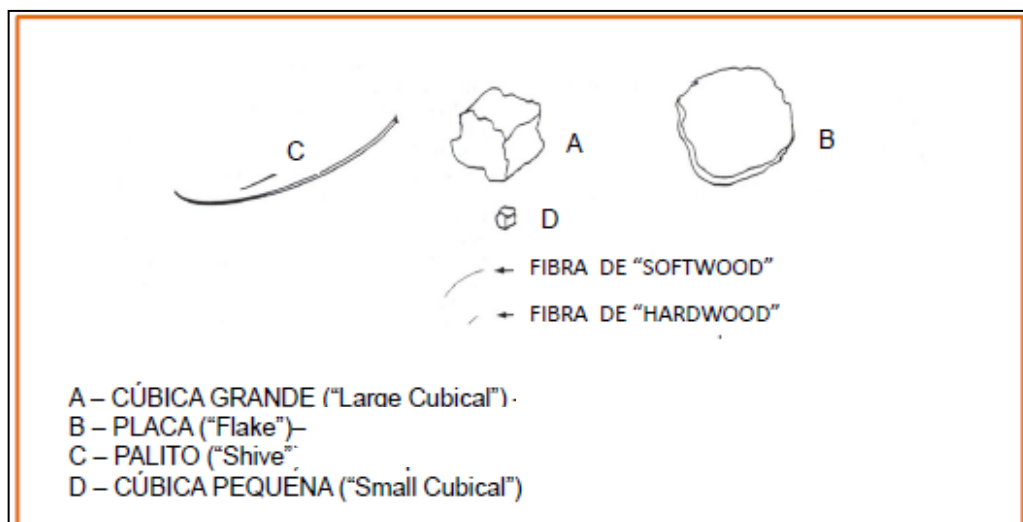


Figura 1: Dimensões dos contaminantes

Fonte: MANFREDI, 2011

3.2.2. Dimensões dos contaminantes

As dimensões dos contaminantes, assim como o sua densidade (peso específico) são fatores fundamentais na escolha de equipamentos adequados para a depuração tratamento, portanto a análise de suas características pode determinar a eficiência de sua extração. Dentro das varias formas e dimensões de contaminantes que adentram no sistema de depuração, comumente, podem-se encontrar dimensões bastante dispares, algo entre, 10 cm á 1 mícron (SFERRAZZA, 1996); Como referência a menor partícula visível a olho nu, esta em torno de 50 micra (SFERRAZZA, 1996).

Abaixo um quadro que classifica os tipos de contaminantes, separados pelo material constituinte pelo peso específico:

Classificação de contaminantes por peso específico			
	Contaminantes Pesados	Contaminantes Leves	
Contaminante	Areia, pedras pequenas, fragmentos de vidros, pequenos metais.	Tipo I: Plásticos, <i>Stickies</i> , borracha, madeiras.	Tipo II: Espumas, poliestireno
Peso Específico (g/cm ³)	>2,0	1,0 a 2,0	>1,0

Quadro 1: Classificação dos contaminantes

A qualidade dos papeis fabricados com fibras recicladas em fábricas do gênero, depende de vários elementos, um deles, o grau de limpeza da polpa, neste caso, condição diretamente ligada ao tipo de depuração a qual esta foi submetida. (RODRIGUES, 2001)

Tais impurezas ou sujidades podem ser adquiridas á polpa de diferentes modos, sejam durante o próprio processo de produção de celulose (ex. partículas de fibras mal cozinhadas em um processo Kraft), durante o processo produtivo da máquina de papel, originadas pela má qualidade da água (ex.: areia) ou em dosagens de aditivos/químicos, ou mesmo carregadas durante o transporte e manuseio (fortemente encontradas em processos de utilizam matérias primas recicladas). (ABTCP, s.d.)

As impurezas podem ser comumente classificadas em: pesadas e volumosas, pesadas e finas e leves. (ARAUJO, 2012)

Também poder ser classificadas quanto á área quadrada: as grandes têm dimensões superiores á 20 mm², as médias de 5 a 20 mm², pequenas de 1,5 a 5 mm² e finalmente as denominas, partículas, com dimensões inferiores á 1,5mm². (RODRIGUES, 2001).

Os processos de depuração podem ser divididos em: métodos químicos, como o cozimento, (utilizados em fibras com colagem interna e superficial ou para branqueamento de aparas) e os métodos físicos, que utilizam de peneiramento para segregação de impurezas indesejáveis no processo. Este segundo será discutido e detalhado mais fortemente a seguir.

3.3. Desagregadores verticais (*Hidrapulpers*)

O *Hidrapulper* é considerado o primeiro equipamento de depuração dentro de uma fábrica de papel, o seu objetivo é “quebrar” a estrutura construtiva das aparas e transformá-la em polpa fibrosa. Também tem a função de separar os principais contaminantes das fibras (SFERRAZZA, 1996). Nele todos os contaminantes pesados, como pedras, peças metálicas, madeira entre outros, provenientes de uma matéria-prima contaminada são retirados do sistema. Tubulações localizadas na bacia do tanque e controladas através do acionamento de válvulas guilhotinas pneumáticas acionadas de tempos em tempos realizam a descarga.

O *Hidrapulper* recebe a matéria-prima na forma bruta (fardos de aparas ou blocos de celulose e pasta) e tem a função principal de homogeneizar e desagregar as fibras em solução aquosa, transformando toda a mistura, na efetiva matéria-prima para de fabricação de papeis e cartões. (ARAUJO, 2004).

Também são utilizados no processo de descontaminação de aparas, pois no fundo do seu corpo (tanque) existe dispositivo tipo chapa peneira e rotor, responsáveis pela segregação de aceite e rejeito através de uma relação entre a barreira física (furos da peneira) e o tamanho dos contaminantes (ARAUJO, 2012).

Seu principio fundamental são os elementos rotativos (rotor) que tem a finalidade de criar circulação e turbulência na solução (os rotores e elementos rotativos seccionam a polpa pelo centro e expulsam pelas extremidades). Outra característica invariável é que devem abertos na parte superior para receber a alimentação e evitar emperramentos (ARAUJO, 2012).

Os hidrapulpers podem ser divididos em dois tipos de construção e dois tipos de operação:

- A- Construção: hidrapulpers de baixa consistência (variam de 3% a 6% C) e de alta consistência (variam de 8% a 18% C). (VENDITTI, 2008.)
- B- Operação: sistema contínuo e batelada (*batch*) (VENDITTI, 2008.)

Exemplo de *hidrapulper* vertical, com rotor para desagregação em baixa consistência e capacidade de 20m³ :

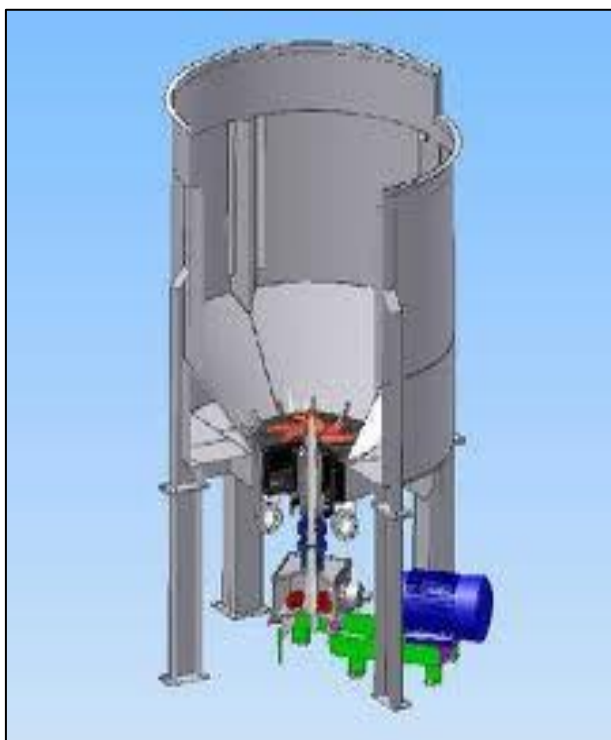


Figura 2: *Hidrapulper* vertical

Fonte: <http://celulosapapel.blogspot.com>.

3.3.1 Rotores de *hidrapulpers*

As configurações de rotores podem variar em função da consistência de desagregação e tipo de aparas, entretanto em fábricas que trabalham com baixas e médias consistências em 90% dos casos são rotores com um diâmetro médio em relação ao diâmetro do corpo do *hidrapulper* e grandes aletas. (ARAÚJO, 2004). A altura das aletas é fundamental no seu funcionamento e influenciam diretamente na desagregação e no consumo de energia do equipamento. Importante ressaltar também que as bordas de ataque devem estar com ângulo de corte e perfeitas condições.

A velocidade imposta pelo rotor também é um fator muito importante sobre a eficiência e tempo de desagregação, segundo RODRIGUES (2001), o tempo de desagregação cai drasticamente em relação ao aumento de rotação do rotor, como exemplo experimental, foi aumentado a velocidade do rotor de 15 m/s para 25 m/s o tempo de desagregação caiu de 37 min. para 12 min. O impacto das aletas sobre as fibras é três vezes maior em velocidades de 15 m/s do que a 10 m/s, seis vezes mais a 25 m/s e vinte e cinco vezes mais a 50 m/s.

Outra configuração a ser considerada é a relação entre a distância do rotor e chapa peneira, que deve permanecer entre 1 a 4 mm (RODRIGUES, 2001).

Abaixo exemplo de rotores de hidrapulpers em configurações bastante utilizadas: para desagregação em baixa consistência e alta consistência.



Figura 3: Rotores de baixa consistência - 3,5 a 7% C

Fonte: Papyrus Ind. de Papel S/A



Figura 4: Rotores de alta consistência- 20 a 25% C

Fonte: <http://www.kartha-br.com/>

3.3.2 Peneiras de hidrapulpers

As peneiras utilizadas em hidrapulpers tem furação de orifícios, distribuídos uniformemente em função da aberta requerida (vazão do aceite), quanto maior o numero de furos, maior a área aberta (geralmente estes valores são relacionas em % porcentagem de área aberta) maior o aceite. (ARAUJO, 2012)

Outra configuração importante é o diâmetro dos furos, que ficam diretamente responsáveis na retenção de contaminantes pesados e podem variar de \varnothing 6,0 mm até \varnothing 25, 0 mm dependendo do tipo de matéria-prima e contaminantes (PIRES e SU SUAN KUAN, 1988, et al.)

Furos com dimensões muito pequenas segregam muitos contaminantes, porem afetam na produção e são muito suscetíveis a entupimentos.

Exemplo de peneira plana em aço inox, utilizada na segregação de contaminantes dentro dos *hidrapulpers*:



Figura 5: Peneira perfurada de “pulper”

Fonte: Papyrus Ind. de Papel S/A

No caso específico de *hidrapulpers* utilizados para desagregação de aparas, outros equipamentos devem ser agregados a ele, como tira-tranças, *dtrashers* entre outros que recebem as impurezas rejeitadas que não transpassam na área aberta das peneiras e retrabalham as mesmas em um processo de limpeza e separação de flocos mal desagregados (pastilhas).(ARAUJO,2012)

A tabela abaixo resume algumas características e aplicações de hidrapulpers dentro da indústria papeleira:

CARACTERÍSTICAS	CLASSIFICAÇÃO
Construtivas	Verticais
	Horizontais
	Especiais
Aplicação	P. Química e Pasta mec.
	Aparas/p. velho
	Refugo
Ação do rotor	Com atrito
	Sem atrito
Operação	Contínuo
	Descontínuo

Fonte: Livro P. de massa – CETCEP – SENAI PR

Quadro 2: Características de “pulpers”

Fonte: Desagregação – parte 2 – ARAUJO,2012

3.4 Equipamentos para limpeza e extração de contaminantes anexos aos hidrapulpers

Como dito acima, o hidrapulper além da função principal de desagregação, também tem uma importante tarefa: depurar a massa fibrosa de contaminantes indesejados. Pelo seu posicionamento, dentro da planta, ou seja, o primeiro equipamento a receber as matérias-primas tais quais foram adquiridas e recebidas, o nível e dimensões de contaminantes encontrados é normalmente bastante representativo (para o caso de aparas) o que invariavelmente incorre em um arraste de fibras na porção rejeitada. (VENDITTI,2008).

Outro fator importante, é que dentro da suspensão fibrosa durante a desagregação, muitos contaminantes “pesados”, como plásticos, fitas em material sintético, arames entre outros, que foram adquiridos juntamente ao processo de coleta ou foram usados como elementos de amarração, são succionados pelo rotor e se aglomeram na sua base , causando entupimentos e decremento na eficiência do equipamento. (ARAUJO, 2012)

Por estas e outras razões existem equipamentos que auxiliam na operação de depuração junto ao pulper, sejam na extração de contaminantes extremamente pesados, como exemplo os equipamentos tira-trança (figura 6 abaixo), seja no tratamento secundário do volume descartado pelos hidrapulpers , como exemplo os equipamentos denominados *purga-pulpers* (figura 7 abaixo). Existem outros equipamentos com esta mesma função, como os tambores classificadores (*Tromell*), peneiras vibratória, lavadores rotativos, descontaminadores centrífugos etc.(BUGAGER, 1988).



Figura 6: Tira-tranças

Fonte: Modulo Desagregação ABTCP 2003



Figura 7: Purga-pulper

Fonte: Modulo Desagregação ABTCP 2003

3.4.1 Turbo separador

São equipamentos concebidos para a fase de desagregação e que complementam a depuração grossa, que se iniciou nos desagregadores verticais / horizontais. São instalados comumente para receber e tratar o aceite dos hidrapulpers e realizar a separação através de turbilhonamento agressivo do rotor contra as peneiras perfuradas. (ARAUJO, 2012)

O princípio de funcionamento é simples: a alimentação da polpa entra na câmara pressurizada de forma tangencial e se choca com um rotor de alta rotação que gera turbulência e força centrífuga suficiente para expulsar as partículas mais densas e contaminantes pesados para as extremidades do corpo de equipamento. Em contra partida o *Vortex* gerado internamente conduz as partículas menores e mais leves ao centro do equipamento. As peneiras (sempre de orifícios) por sua vez, fazem o papel da retenção das partículas indesejáveis e flocos da massa fibrosa não completamente desagregados. (BUGAGER, 1988)

Segundo o fabricante VOITH (2012), as bitolas dos orifícios devem ficar entre 1/8" e 1/4" (valores próximos á 3 e 6 mm) e sempre serem inferiores as bitolas de furos aplicadas nas peneiras do hidrapulpers. Esta proporção deverá garantir a eficiência de desagregação e limpeza necessárias. É valido salientar que o tipo de matéria prima, as vazões requeridas e aplicação final no papel, podem demandar bitolas de orifícios especiais e diferentes dos indicados acima.

Os contaminantes pesados e leves que permanecem em suspensão ou dentro da zona de turbilhonamento, são retirados lateralmente através de descargas controladas e intermitentes.

Na ilustração abaixo, exemplo de turbos separadores, e seus rotores e peneiras:



Figura 08: Turbo Separador

Fonte: Modulo Desagregação ABTCP 2003



Figura 09: Rotor e Peneira

Fonte: Modulo Desagregação ABTCP 2003

3.4.2 Despastilhadores (*Deflakes*)

É comum em plantas de desagregação e depuração a existência de aglomerados de fibras que não foram desintegradas nos equipamentos desagregadores (hidrapulpers, turbo-separadores, misturadores etc.). Estas porções de fibras se formam, principalmente quando a matéria-prima vem de papeis usados ou aparas, que pela sua necessidade de fabricação carregam inúmeros aditivos que tem a intenção de ajudar na formação da folha a por consequência fazer as ligações fibra a fibra. (PIRES e SU SUN KUAN, 1988, et al.)

Normalmente estas porções aglomeradas contem grande quantidade de material nobre, ou seja, fibras de celulose que devem permanecer no processo e seguir adiante na condição suspensa e fluidizada. Estas partículas para serem desformadas, necessitam de forças mecânicas de atrito e fricção, corretamente compostas em um equipamento de elementos estáticos e rotativos. (FURSEY, 2000)

Para esta aplicação são indicados os despastilhadores (esta denominação vem do termo **pastilhas**, que no jargão papeleiro é utilizado para caracterizar estes flocos de fibras não desagregadas) que com discos similares aos discos de refinação realizam o rompimento dos flocos ou pastilhas sem comprometer a integridade individual delas.

O princípio é, o fluxo de massa é introduzido pelo centro dos discos e pela propulsão gerada pelo elemento de rotação, são forçadas a passar pelas ranhuras dos discos em alta velocidade. Esta ação mecânica rompe a união entre as fibras e desagrega efetivamente os flocos. (ARAUJO, 2012)

Abaixo ilustração de um *deflake* aberto e seus discos despastilhadores:

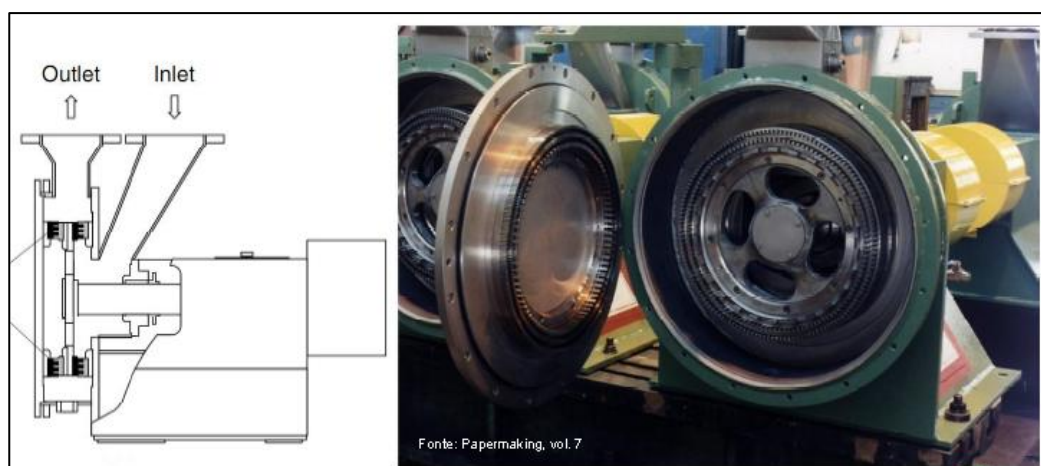


Figura 10: Despastilhador

Fonte: Modulo Desagregação ABTCP 2003

3.5 Peneiramento (*Screaning*)

Este processo destina-se a remoção de partículas leves e faz a separação por características relacionadas ao tamanho das impurezas. Podem ser instaladas já no início do processo, na preparação de massa ou no final do circuito de aproximação, pouco antes da polpa chegar á máquina de papel – “peneiramento na cabeça de máquina” (MANFREDI, 2011).

O conceito de depuração na remoção de contaminantes (debris) por peneiramento é um conceito simples e bastante difundido nas fábricas de papel, no entanto a presença de fibras de celulose dificulta o processo como um todo, pois estas tendem a se depositar nas aberturas das peneiras, interrompendo o fluxo ao aceite do equipamento. (MANFREDI, 2011).

A eficiência do peneiramento depende de alguns fatores, como: tipos de aberturas das peneiras, dimensões das aberturas, tipos de contaminantes, dimensões dos contaminantes, etc.; Entretanto duas variáveis importantes devem ser ressaltadas: a frequência com os contaminantes tocam nas peneiras e a orientação* da partícula durante este contato. É sabido que uma alta frequência é prejudicial á eficiência de remoção de contaminantes, assim como uma orientação que favoreça a passagem pelos orifícios. (SCHABEL, 2000)

*orientação: tipo de fluxo, velocidade do rotor, velocidade de passagem, distância entre rotor e peneira. (MANFREDI, 2011)

3.5.1 Tipos de peneiras

As peneiras são classificadas em três tipos: planas, rotativas e pressurizadas, conforme, PIRES e SU SUN KUAN, (1982), et.al..

- Peneiras planas: estrutura aberta (pressão atmosférica) em forma de caixa, com placa peneira ranhurada (ou de orifícios) instalada horizontalmente e com movimento vibratório transmitido por dispositivos acoplados a eixos excêntricos. A polpa é despejada sobre a peneira e o movimento vibratório realiza a separação do rejeito, partículas grandes que não passam pelas ranhuras / orifícios, ficam retidas sobre a peneira e o aceite, partículas pequenas e fibras que escoam pelas ranhuras ou orifícios.

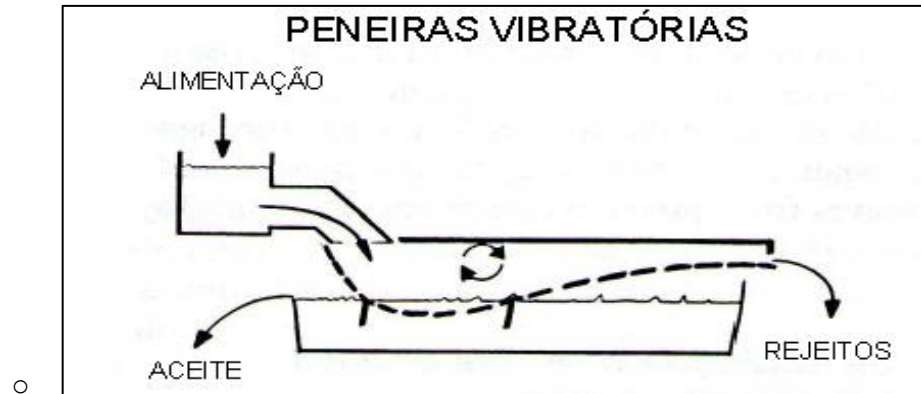


Figura 11: Peneira Vibratória

Fonte: Preparação de Massa – Manfredi 2010

- Peneiras rotativas: estrutura aberta (pressão atmosférica) cilíndrica, vazada, apoiada sobre mancais e eixo, com movimento rotativo. A polpa é inserida internamente ou externamente (dependem do tipo equipamento, fluxo para dentro do cilindro ou para fora) e forçada através da força centrífuga a passar pela peneira. Os rejeitos ficam retidos sobre a peneira e o aceite é escoado através dela.

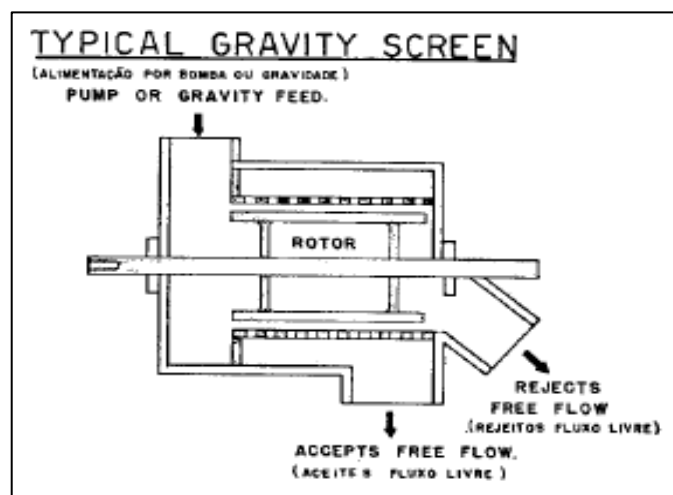


Figura 12: Depurador Rotativo - Atmosférico

Fonte: Modernas aplicações de depuradores pressurizados – Banks 1975

- Peneiras Pressurizadas: estrutura fechada (pressurizada) montada preferencialmente na vertical com peneiras cilíndricas perfuradas. O fluxo de massa / polpa é forçado contra a peneira, a fração que consegue passar pelas aberturas é considerada o aceite. Um mecanismo interno (foils ou pás) com movimento rotativo tem a função de raspar o

colchão de massa sobre a peneira, evitando entupimentos e auxiliando na passagem e transporte da polpa através dela.

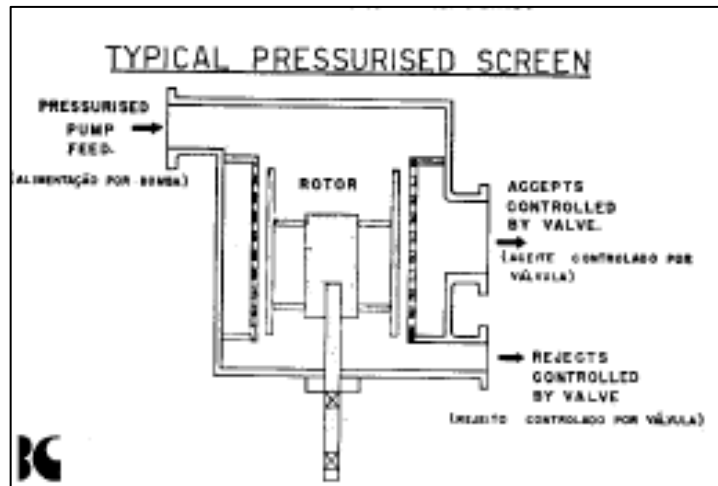


Figura 13: Depurador Pressurizado

Fonte: Modernas aplicações de depuradores pressurizados – Banks 1975

3.5.2 Fatores que afetam a operação do peneiramento

Alguns fatores são imprescindíveis ao bom funcionamento dos sistemas de peneiramento e podem influenciar na determinação e dimensionamento dos equipamentos de uma planta de depuração. São eles: (PIRES, SU SUN KUAN, 1988, et.al.).

- Dimensão e forma das aberturas da placa perfurada: o tipo de partícula que se deseja remover é fator preponderante para o tipo de abertura da placa (fendas, ranhuras ou orifícios) e as dimensões das aberturas em milímetros.
- Taxa de remoção de rejeitos da placa: relação entre a quantidade de massa/polpa introduzida no equipamento e o percentual retido ou rejeitado de impurezas retidas da massa/polpa.
- Tempo de retenção da massa na placa: controlada pela taxa de rejeito ou fluxo de entrada. Um tempo de retenção alto, pode favorecer a passagem indesejada de uma partícula retida na peneira.

- Consistência da massa: fator relacionado á eficiência de peneiramento, geralmente indicado pelo fabricante do equipamento, como condição ideal de operação.
- Teor de rejeitos existente na massa: a sujidade presente na massa pode afetar do teor de sujidade que indesejavelmente acompanha o aceite e a eficiência do peneiramento
- Diferença de pressão entre as duas faces da placa: influenciado pelo fluxo de massa e dimensão de abertura do aceite, um eventual aumento de pressão entre entrada e saída podem influenciar na eficiência do peneiramento e até incorrer em um possível entupimento da peneira.
- Grau de refinação das fibras: massa com diferentes graus de refino, podem influenciar diretamente na eficiência de peneiramento. Fibra mais refinadas geralmente tem maior facilidade em transpor a peneira.
- Taxa de diluição da placa: em alguns equipamentos deve-se utilizar diluição nas saídas dos rejeitos, evitando acúmulos de massa e entupimentos, porém este processo pode influenciar no descarte de fibras “boas” ou aceite de impurezas.
- Temperatura da massa: este fator deve ser considerado quando á elevações de temperatura significativas e assim mudança nas viscosidades do fluido água/massa, nestes casos a maior drenagem da água pode arrastar rejeitos ao aceite.

3.5.3 Premissas do peneiramento

De acordo com MANFREDI (2011), baseado em teorias empíricas, alguns princípios devem ser respeitados em operações de peneiramento, sobretudo quando podem beneficiar a qualidade do processo e consequentemente do produto final. São elas:

- Peneiras em série: utilizar primeiramente peneiras de orifícios e posteriormente de fendas
- Bitolas para fendas: utilizar primeiramente fendas de maior área aberta e posteriormente a de menor área aberta
- Rejeitos: tratar o rejeito “pesado” e o rejeito leve, separadamente.
- Controles: medições sobre diferencial de pressão, manutenção e supervisão são imprescindíveis.

- Consistência: estabilidade na consistência de entrada é fundamental na eficiência de peneiramento.

3.5.4 Arranjos em cascata

Arranjos de dois e três estágios são comuns em sistemas de depuração e peneiramento, cobrindo a maioria dos casos atuais em nível de capacidade. Estes tipos de aplicação em depuração com vários estágios de limpeza, são indicados quando a matéria-prima a ser tratada, tem alto teor de contaminantes e a porção rejeitada pelos equipamentos primários, também carrega boa porção de material nobre, ou seja fibras celulósicas (ROMERO, 1995).

A principal característica deste arranjo é que somente o aceite do primeiro estágio deve ser direcionado à frente do processo. O aceite dos estágios subsequentes é direcionado para a alimentação dos estágios anteriores (ROMERO, 1995).

Os rejeitos também podem ser direcionados para os estágios seguintes e tratamento subsequente, desde que estes tenham consistência compatível com a alimentação e que efetivamente existam partículas / sujidades a serem removidas.

Como regra, as furações ou fendas de operações de peneiramento com múltiplos estágios (ex.: secundários ou terciários), tem dimensões inferiores ao equipamento primário, garantindo assim que as sujidades remanescentes sejam realmente extraídas com mínimas perdas de fibras possíveis¹. Recomenda-se que o rejeito do último estágio seja efetivamente descartado para linhas de recuperação posteriores e canaletas de efluentes. O fechamento de circuito com 100% de retrocesso podem causar prejuízos ao andamento de máquina e consequentemente qualidade do produto final².

Seque ilustração que exemplifica um sistema de duplo estágio de peneiramento com retroalimentação no estágio anterior (sistema cascata):

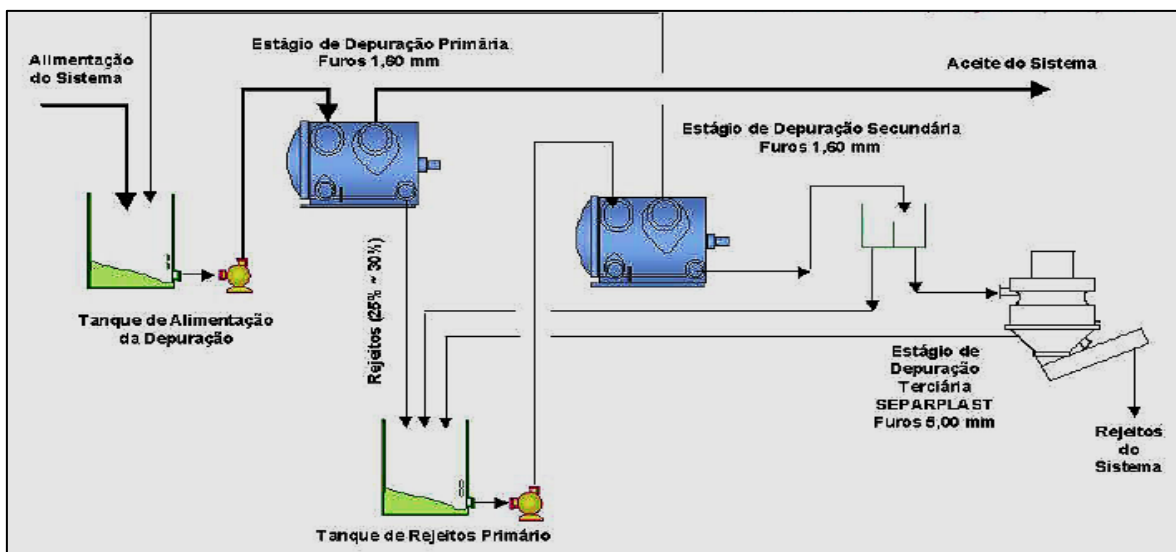


Figura 14: Arranjo em cascata

Fonte: Curso Internacional de Reciclagem USP / GLV – Abril 2004

Notas ^{1,2}: As referências do texto acima foram embasadas na experiência em campo do próprio autor da Monografia.

3.5.5 Arranjos *Feed Forward*

Arranjos com alimentação de estágios posteriores se juntando ao aceite do estágio primário, são denominados – *feed forward*, ou seja, seguindo o fluxo principal do processo.

Neste sistema o aceite do segundo estágio é direcionado para frente junto ao aceite do primeiro estágio e o terceiro estágio (se houver) direcionado na alimentação do segundo estágio (ROMERO, 1995). A vantagem neste caso é que a vazão do aceite é aumentada, porém em contrapartida a qualidade do peneiramento pode ser menor que em um sistema com alimentação em cascata.

As escolhas de sistemas com multe-estágios e com alimentação á frente ou retornando ao estágio anterior, depende muito da necessidade de limpeza requerida, posicionamento dentro da planta (preparação de massa, *aprouch flow*) e principalmente taxa de rejeito efetiva admitida. (FONTOURA, 2004)

Abaixo, a figura exemplifica uma aplicação de peneiramento com triplo estágio de depuração e alimentação, tipo *feed forward*:

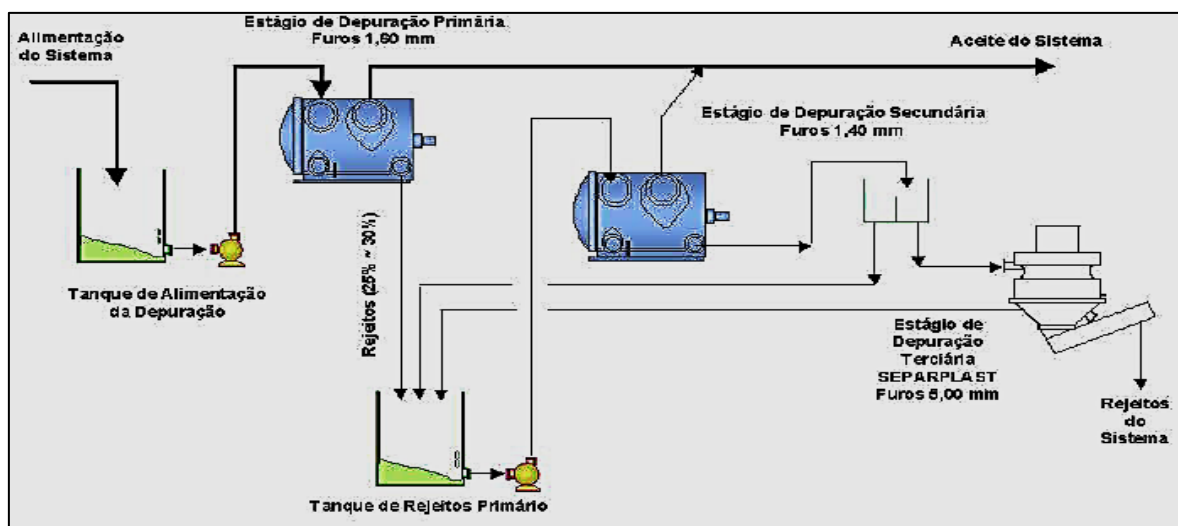


Figura 15: Arranjo *Feed-Forward*

Fonte: Curso Internacional de Reciclagem USP / GLV – Abril 2004

3.6 Limpadores Centrífugos

Este tipo de equipamento é utilizado para a retirada de impurezas leves, com densidades maiores que as fibras, utilizando o princípio da separação através da diferença de massa específica (FONTOURA, 2004).

As partículas mais pesadas, (ex.; areia) descem através do corpo do equipamento e são coletadas em calhas de rejeito. As partículas mais leves (ex.: fibras) sobem através do corpo e são assim consideradas como o aceite do processo.

A massa é introduzida tangencialmente e sobre pressão, em um corpo cilíndrico que pela forma construtiva favorece o movimento circular da massa. Através da ação da força centrífuga as partículas mais pesadas são lançadas contra a parede interna do corpo cilíndrico, deixando em suspensão as partículas mais leves, formando assim o movimento chamado de “ciclone” ou vórtice. O material em suspensão ascende em forma espiral e é retirado na parte superior como aceite do sistema. O material pesado segue ao entorno do corpo cônico do aparelho e em um fluxo descendente atinge o vértice e é segregado como o rejeito do sistema. (PIRES, SU SUN KUAN, 1988, et.al.).

Algumas características do equipamento podem afetar o desempenho do ciclone, são elas: (MANFREDI, 2011)

- Diâmetro interno do tubo de entrada de massa: menores diâmetros normalmente tem a maior eficiência em contrapartida podem ocasionar entupimentos e menor produção
- Rugosidade da parede interna: superfícies irregulares tendem a reduzir a eficiência de remoção de impurezas, porem podem reduzir a probabilidade de entupimentos. Recomendam-se rugosidades de até 0,5 μ RA.
- Diâmetro do corpo do ciclone: para impurezas de até 0,25 mm recomendam-se ciclones de até 76 mm (3'' pol.) e impurezas maiores de 0,25 mm, ciclones de até 152 mm (6'' pol.)
- Ângulo do cone: ângulos mais obtusos favorecem a remoção de impurezas, entretanto são passíveis de entupimentos e menores produções.
- Sistema de remoção de rejeitos: sistemas com remoção contínua são mais eficientes na limpeza, porém apresentam maior teor de fibras junto ao rejeito. Outro fator é requerem sistemas em série para a uniformidade da operação.

3.6.1 Variáveis que podem afetar a eficiência de operação dos separadores centrífugos

Alguns fatores de processo, geralmente tem relação direta com a eficiência de operação de separadores centrífugos, nestes casos recomenda-se a utilização segundo as especificações de fabricantes, porem em muitos casos estas variáveis são intrínsecas ao processo de fabricação e, portanto de difícil controle. Segundo, PIRES, SU SUN KUAN, (1988), et al., são eles:

- Queda de pressão no ciclone: quedas de pressão são comuns em equipamentos como estes e são admitidas pelos fabricantes. Valores da ordem de 0,3 á 3 kgf/cm^2 podem ser encontrados.
- Consistência da massa: recomendam-se consistências de até 0,5% para o máximo desempenho dos ciclones, acima disto ocorre um decréscimo na eficiência de depuração dos aparelhos.
- Taxa de rejeito: aparelhos de alta eficiência e rejeito contínuo, geralmente rejeitam entre 10 a 20% do volume introduzido no ciclone (por isso usualmente existem demais estágios de recuperação da polpa rejeitada). Esta taxa pode ser

controlada pela pressão de entrada no ciclone e pelo diâmetro do orifício do vértice do ciclone.

- Temperatura de operação: temperaturas de 50°C a 60°C auxiliam da remoção de impurezas, já que diminuem a viscosidade do fluido e conseqüentemente o melhoram o escoamento centrífugo.

Limpadores centrífugos geralmente são equipamentos que por sua forma construtiva e características de operação e funcionamento, suportam baixas vazões individuais, por isto são construídos e dispostos em grandes quantidades, formando uma sequencia de ciclones em um mesmo sistema de alimentação (podem variar de 135l/min a 3000 l/min). (ARAUJO, 2012).

Outra característica importante sobre estes equipamentos é que a porção de rejeito segregada é alta (como já mencionado acima) e invariavelmente carregada com fibras “boas” que são arrastadas junto ao rejeito. A fim de minimizar estas perdas é comum a associação de mias estágios de recuperação destas fibras, onde os estágios posteriores alimentam os estágios anteriores de forma contracorrente (sistema *feed back*). (PIRES, SU SUN KUAN, 1988, et al.).

A figura 16 demonstra um separador centrifugo e o fluxo de entradas e saídas de massa, na sequencia a figura 17, uma planta com associação de separadores centrífugos, denomina-se no universo papeleiro, bateria de *cleaners*:

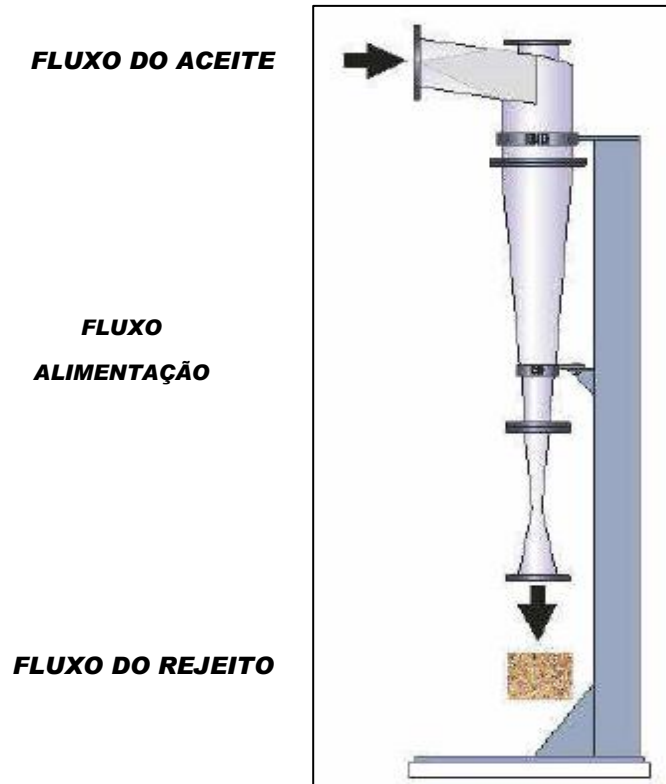


Figura 16: Desenho Esquemático Separador Centrífugo

Fonte: Seminário METSO, 2003.



Figura 17: Bateria de “Cleaners”

Fonte: Papirus Ind. de Papel S/A

3.6.2 Separador de Massa Grossa

Equipamento que utiliza o mesmo princípio de separação de contaminantes por densidade ou peso, é utilizado na extração de contaminantes pesados, tais como areia grossa, partículas metálicas, pedras, fragmentos de madeira etc. (RODRIGUES, 2001)

Pode ser considerado como um tipo de separador centrífugo, com três diferenças principais: duas na forma construtiva, o corpo cônico é maior e mais longo e o sistema de descarga não é contínuo e sim controlado através de uma câmara na extremidade inferior do corpo cônico. (SENAI, s.d.). A outra nos requisitos de operação, que sugerem consistências de trabalho mais altas que os “*cleaners*”. Segundo o fabricante COMPANHIA FEDERAL DE FUNDIÇÃO (2012) estes equipamentos podem trabalhar com até 6% C de consistência. Outro fator importante é que requerem fluxo de contrapressão ou “água de elutriação” para amplificar o potencial de segregação de contaminantes.

São habitualmente instalados na etapa de depuração fina, dentro da preparação da massa, geralmente quando se utilizam aparas como matéria-prima e também são bastante indicados para instalação na linha de alimentação dos refinadores, a fim de “proteger” os discos de refino de impactos com partículas sólidas.

Abaixo a figura que mostra um tipo de separador de massa grossa com compartimento automático de descarga e os fluxos de entrada e saída de massa:

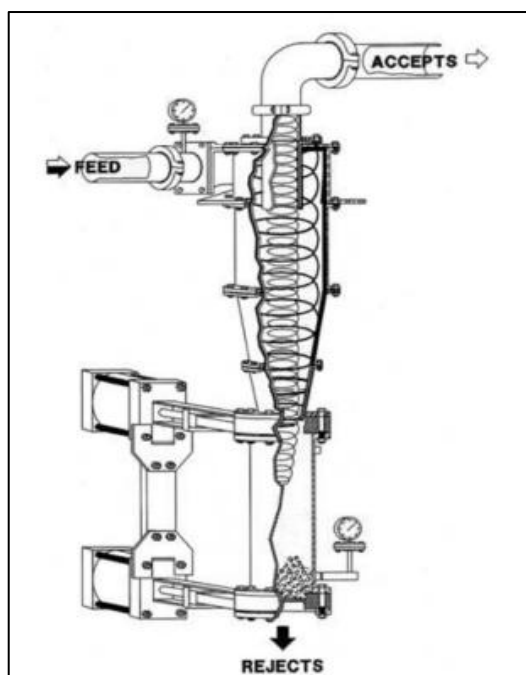


Figura 18: Desenho esquemático - Separador de Massa Grossa

Fonte: Depuração Grossa – Apostila ABTCP

3.7 Depuração pressurizada: história

Até meados da década de 1930 todos os sistemas de depuração em fábricas de celulose e papel, utilizavam equipamentos que trabalhavam com alimentação e descarga atmosférica e tinham a “energia” da vibração ou rotação na extração de contaminantes indesejáveis. O princípio básico: elementos perfurados e rotores já eram utilizados nestes equipamentos (como os mais atuais equipamentos de depuração), porém com inúmeras limitações de confecção, operação e produtividade (BANKS, 1975).

De acordo com BANKS (1975), o método de fabricação do elemento principal, as chapas peneiras, deve ser o grande responsável pelos ganhos de desempenho e vida útil dos equipamentos atuais. No passado, os furos das peneiras, eram perfurados com punções de bitolas conhecidas, porem pelas próprias características do processo da época, a espessura das chapas era limitada ao diâmetro do furo, seguindo como exemplo, um furo de típico de 1,5 mm não podia ser feito em chapas de espessuras superiores á 1,5 mm, devido á resistência de cisalhamento do aço inox. Outro fator prejudicial do processo era que a compressão no punção sobre chapa, gerava modificações nas características mecânicas e estruturais do aço inox, o que incorria no desgaste prematuro do material a consequentemente na vida útil do mesmo.

Os rotores, que na época podiam ter até 12 elementos raspadores, também sofriam com a simplicidade do projeto, pois com rotores apoiados sobre molas, exerciam contato direto com o elemento estático (chapa peneira) e também apresentavam desgastes frequentes, mesmo com as baixas velocidades periféricas utilizadas, que segundo BANKS (1975) ficava em torno de 150 m/min.

Tal efeito relatado acima só foi sanado com o aprimoramento do processo de fabricação, com perfuradoras tipo CNC, que podiam perfurar chapas mais espessas sem causar danos as características metalúrgicas no material. A utilização de rotores tipo “ aerofólios “ que causavam turbulências internas, eliminaram a necessidade de “ tocar ” nas peneiras, evitando o desgaste dos elementos raspadores.(BANKS,1975)

O fator marcante na evolução dos depuradores de papel e celulose foi o advento da tecnologia de depurados pressurizados, já que a demanda de produção exigia aumentos de capacidades hidráulicas incompatíveis com os depuradores “abertos” da época. O princípio de funcionamento era basicamente o mesmo, rotores e chapas perfuradas, porém trabalhando dentro em sistema fechado e com pressões superiores as pressões atmosféricas. Este recurso

permitiu um aumento da capacidade hidráulica do equipamento e também a possibilidade de aumento de consistência de operação.

3.7.1 Princípios da depuração pressurizada

Os depuradores pressurizados têm como função principal, selecionar as fibras necessárias ao processo, das sujidades/impurezas características da polpa. Estão comumente instalados no fim da linha do circuito de aproximação, sendo chamados de depuradores cabeça de máquina, mas também podem ser instalados dentro de uma linha de preparação de massa, principalmente as que utilizam fibras recicladas. (FUNO e NERY, 1996)

O princípio básico de funcionamento advém de fundamentos da física, que explora os diferenciais de pressão entre alimentação e aceite para transpor a polpa através de orifícios com área quadrada e fluxos conhecidos. (RODRIGUES, 2001)

A nomenclatura, depuração pressurizada indica que o equipamento trabalha com um corpo pressurizado e com pressões acima da pressão atmosférica.

3.7.2 Componentes principais de um depurador pressurizado

Atualmente existe uma infinidade de fabricantes de equipamentos de depuração, especialmente os específicos para depuração pressurizada, entretanto as substanciais particularidades de cada projeto, basicamente se diferem em: tipos de acionamento, direcionamento de fluxo, disposição de alguns componentes rotativos. (FUNO e NERY, 1996).

Pode-se até definir como “padrão” alguns componentes de um depurador pressurizado, que contam em basicamente todos os projetos:

- Corpo externo ou carcaça
- Eixo central de acionamento do rotor
- Rotor ou foil
- Cesta peneira
- Tampo superior
- Conjunto motriz – polias, correias e motor elétrico.

Conforme figura abaixo, exemplo dos componentes do depurador pressurizado:

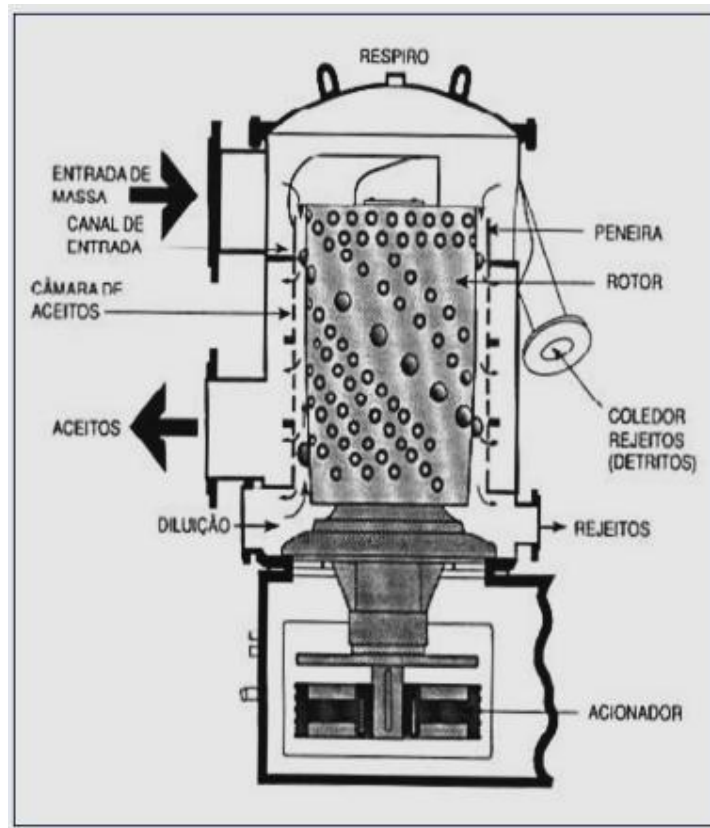


Figura 19: Desenho esquemático – Depurador e componentes internos

Fonte: Depuração da polpa marrom – MOKFIENSKI, 2011

3.7.3 Fluxos da massa dentro de um depurador – Aceite e Rejeito.

Dentro dos diversos projetos e configurações de depuradores pressurizados, existem 02 tipos comuns, com diferenças básicas no direcionamento do fluxo de massa:

- Tipo *Outflow*: o fluxo de massa entra pelo centro do equipamento, entre o rotor e a peneira, o fluxo do aceite por consequência, é forçado a passar pelas fendas e furos da peneira da câmara com o auxílio do movimento rotacional do rotor e segue de dentro para fora do cesto peneira. O Rejeito é retido internamente ao cesto peneira e descartado continuamente pelos tubos de descarga do rejeito leve (partículas mais leves que permanecem em suspensão) e rejeito pesado (contaminantes mais densos). (ANDRITZ, 2011)

A figura abaixo exemplifica um depurador com o sistema de fluxo de massa tipo *Outflow*. Conforme explicado acima o fluxo de massa entra entre o rotor e peneira, a fração do aceite segue de dentro para fora. O rejeito pesado fica retido na parede interna da peneira:

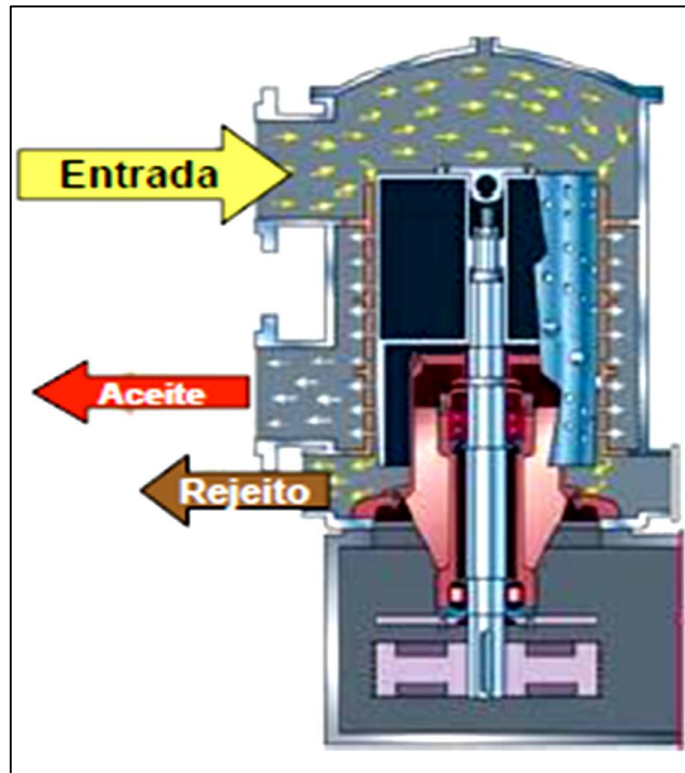


Figura 20: Desenho esquemático – Depurador tipo *OutFlow*

Fonte: Treinamento Depuração – ANDRITZ 2009

- Tipo *InFlow*: o fluxo de massa , segue da extremidade externa do cesto peneira em direção ao centro e o do aceite segue de fora para dentro do cesto peneira, auxiliado pelo força exercida pelo movimento do rotor. O Rejeito retido externamente ao cesto peneira é descartado continuamente pela descarga do rejeito leve e pesado. (ANDRITZ, 2011)

A figura abaixo exemplifica um depurador com o sistema de fluxo de massa tipo *Inflow*. A alimentação de massa segue do lado externo pra o lado interno da peneira, a fração do aceite flui pelo centro. O rejeito fica retido na parede externa do cesto:

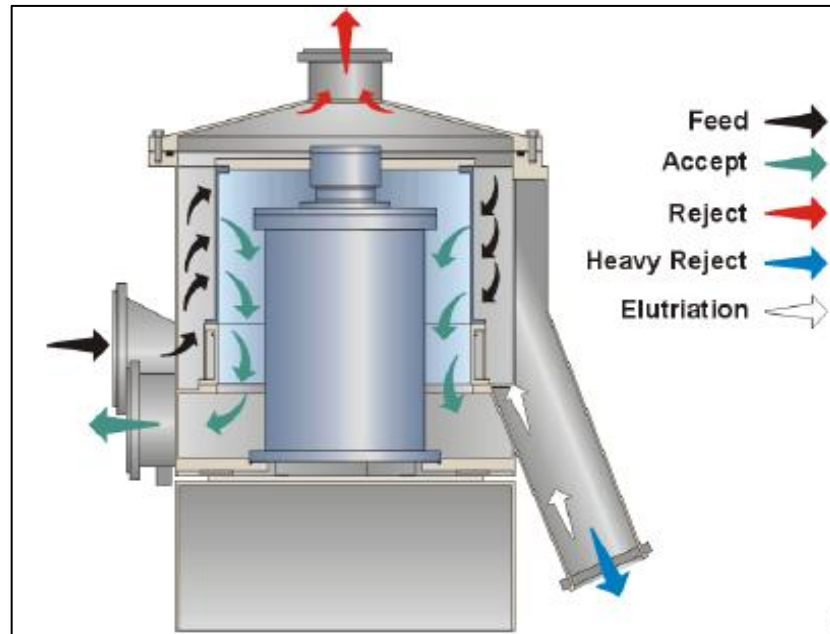


Figura 21: Desenho esquemático – Depurador tipo *Inflow*

Fonte: Treinamento Princípios da depuração pressurizada – ANDRITZ 2011

3.7.4 Raspadores (rotores)

Função: eliminar manta fibrosa acumulada na superfície do cesto peneira (evitar restrições de vazão por entupimentos) e promover força centrífuga / centrípeta para transpor a polpa através dos orifícios do cesto peneira. Também tem a função de promover turbulência interna através de pulsos negativos na superfície do cesto, este efeito mantém a suspensão fibrosa fluidizada. Esta característica está diretamente relacionada à geometria do rotor/foil. (CONN WELD, 2010)

3.7.5 Tipos de rotores

As diversas configurações de rotores são projetadas e indicadas para o tipo de fibra, consistência e posição dentro da planta da qual irão trabalhar, á seguir alguns tipos: Aletas ou *foils* (figura A abaixo), *Bumps* (figura B abaixo), Aletas radiais (figura C abaixo), *Taped* (figura D abaixo). (FONTOURA, 2004)

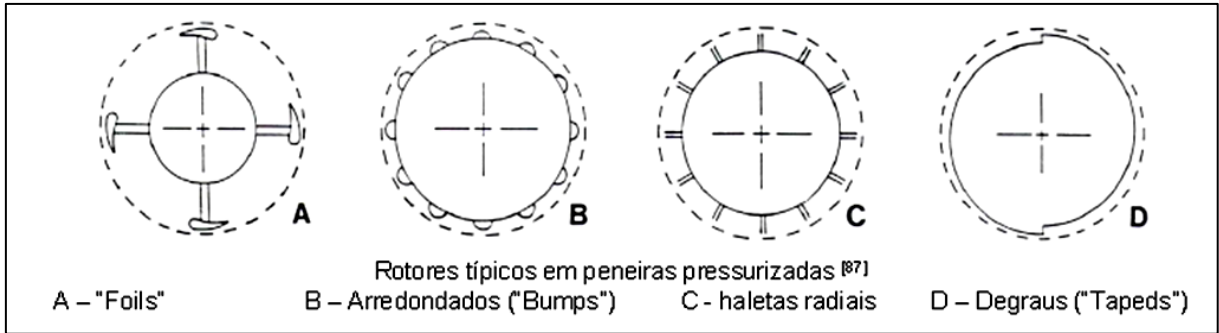


Figura 22: Desenho esquemático – Tipos de Rotores

Fonte: Preparação de Massa – MANFREDI 2010

3.7.6 Ação de forças internas com relação ao posicionamento do rotor e a alimentação de massa

Todas as configurações de depuradores pressurizados tem como princípio de funcionamento, a seleção de contaminantes através da retenção ou peneiramento de partículas maiores que as aberturas dos cestos peneiras. Entretanto, existem diversos projetos de equipamentos, que variam na forma de alimentação de massa e posição interna do rotor/raspador: (CASTRO, 2006).

- Centrífuga: *foils* posicionados no lado da alimentação da polpa (figura A abaixo).
- Centrípeto: *foils* do rotor, posicionados no lado do aceite (figura B abaixo).
- Misto: *foils* posicionados no lado de alimentação – dupla peneira (figura C abaixo).
- Centrípeto: *foils* posicionados no lado do aceite (figura D abaixo).

Segue ilustração do posicionamento do rotor em relação á alimentação:

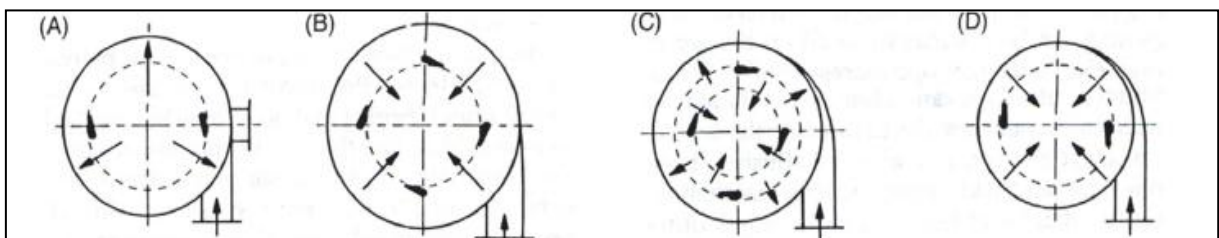


Figura 23: Desenho esquemático – Tipos de Alimentação de Depuradores

Fonte: Preparação de Massa – MANFREDI 2010

3.7.7 O efeito gerado pela pulsação dos rotores

Atualmente os perfis e dimensões das aberturas das peneiras de depuradores pressurizados, são baseados na orientação das fibras durante a passagem pelos orifícios ou fendas, tendo como premissa gerar micro turbulências nas áreas próximas á peneira e rotor. Deseja-se com isto, manter a fendas ou orifícios desobstruídos de entupimentos e facilitar a passagem por elas. O mesmo efeito é projeto aos rotores de depuradores pressurizados, que pela forma construtiva e perfil dos foils (podem ser / rotores /aletas / lóbulos etc.) promovem forças internas interessantes na zona de peneiramento. (CONN WELD, 2010)

Segundo ARAUJO (2012), a turbulência entre o rotor e cesta, gera pressão positiva, empurrando as fibras em favor das aberturas e um pulso negativo (de vácuo) puxando a massa para si e evitando entupimentos. A frequência e magnitude deste efeito são determinadas pela superfície de “ataque” dos foils e velocidade periférica do rotor.

Abaixo na figura, o esquema de fluxos positivos e negativos gerados pela turbulência entre peneira e rotor:

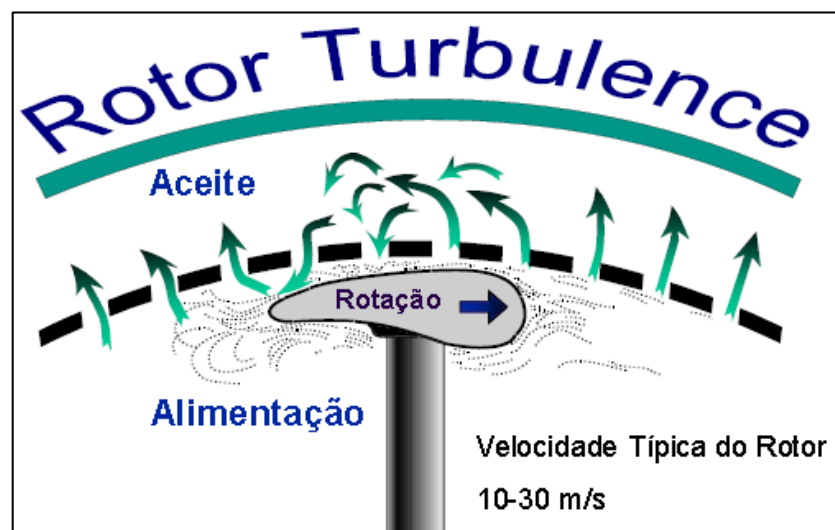


Figura 24: Desenho esquemático – Turbulência gerada pelos rotores

Fonte: Treinamento Princípios da Depuração Pressurizada – ANDRITZ 2011

Nota: de acordo com a ilustração acima, pode-se perceber que o rotor promove forças de bombeamento na “zona de entrada” (momento em que a parte mais espessa do rotor passa sofre a fenda/orifício) e forças de sucção na “zona de saída” (momento que a parte mais delgada do rotor passa pela fenda/orifício).

3.7.8 Velocidade do rotor

Segundo ZEEB e BRITO (1994), a velocidade tangencial do rotor deve ser dimensionada em função de alguns fatores:

Velocidades altas (próximas á 30 m/s) aumentam a vazão hidráulica do equipamento, porém reduzem a efeito classificador / depurador. São indicadas para médias e altas consistências de trabalho. Velocidades baixas (próximas á 10 m/s) são mais seletivas quanto ao material depurado e consome menos energia, porem proporcionalmente aumentam o consumo específico (kWh/ton).

3.7.9 Velocidade do fluxo em suspensão

Segundo FUENTES (1985), a velocidade de alimentação e conseqüentemente do fluxo de massa em suspensão sobre a peneira, são parâmetros importantes em sistemas pressurizados. Em equipamentos deste tipo a velocidade é definida pela pressão de alimentação e as dimensões das aberturas, sendo parâmetros imprescindíveis do ponto de vista operacional. Baseado em ensaios laboratoriais e em campo indica-se pressões de 30 a 50 PSI em sistemas pressurizados e variações em qualquer direção fora deste range afetam diretamente na eficiência do equipamento

De acordo com FUENTES (1985) velocidades insuficientes para estabelecer as forças apropriadas de separação e segregação de impurezas, explicam a baixa eficiência quando a pressão de alimentação é menor que a do limite inferior indicado acima. Nesta condição o fluido tem a tendência de permanecer sobre a superfície da peneira fazendo com que as partículas sólidas do rejeito (contaminantes e fibras) sejam descarregadas em condição demasiada e influenciando no fluxo hidráulico e entupimentos.

Em contra partida, uma pressão de alimentação maior que a pressão do limite superior indicado acima, juntamente á natureza turbulenta do fluido sobre a peneira, tendem a forçar a passagem dos contaminantes sólidos para dentro do fluxo do aceite, fragmentando-os em partículas menores que deveriam permanecer na porção do rejeito do equipamento.

3.7.10 Cesto peneira

A função dos cestos peneiras é selecionar as fibras pelo tamanho e servir como barreira física na obstrução do fluxo de contaminantes (HATIA, 2004).

As impurezas maiores que as aberturas do cesto, ficam retiradas e são rejeitadas do sistema. Partículas (fibras e finos) com tamanhos compatíveis as aberturas, transpassam ao cesto e são aceitos pelo sistema. A geometria das aberturas (furos ou fendas), o posicionamento, a percentagem de área aberta e a velocidade de passagem do fluido através do cesto, detém a capacidade hidráulica do equipamento, em condições ideais. (CASTRO, 2006)

Em linhas gerais, cestos peneira para depuradores pressurizados com aberturas circunferenciais (furos) têm 12-23 % de área aberta, e aqueles dotados de ranhuras (fendas) têm 5-8% de área aberta (MOKFIENSKI, 2011).

Segue abaixo, ilustração típica, de cesto peneira com abertura ranhurada (fendas):



Figura 25: Cesto Peneira de fendas

Fonte: Treinamento Depuração, ANDRITZ s.d.

3.7.11 Tipos de aberturas

Para o caso de peneiras pressurizadas, existem somente dois tipos de aberturas disponíveis, fendas longitudinais com dimensões diversas, ou orifícios de forma cilíndrica e diâmetros variados. Cada tipo tem sua particularidade de aplicação, conforme abaixo:

- Fendas: geometria característica de depuração fina (cabeça de máquina) com função bastante seletiva e eficiente. São preferidas para a remoção de grânulos, partículas cúbicas de contaminantes, pequenos grânulos de madeira, pequenos pedaços de borracha, materiais esponjosos, poliestireno e até, *stickies*. São construídas para evitar entupimentos e promover o arraste das fibras. As dimensões das fendas são determinadas pelo tipo de polpa e teor de sujidade (ZEEB e BRITO,1994).
- Furos: geometria característica de depuração pesada (preparação de massa) com menor seletividade e eficiência. São preferidas para a remoção de partículas planas, como pedaços de filme e películas, fragmentos de fibras sintéticas, barbantes e lascas de madeira. Podem permitir que os “flocos” não desagregados transpassem para a linha do aceite (ZEEB e BRITO,1994).

Importante: para cada tipo de papel, aplicação e etapa de depuração, as dimensões de fendas e furos se diferenciam; Usualmente os fabricantes sugerem bitolas, baseados em testes e experiência empíricas.

Abaixo, exemplo de furações de peneiras de depuradores, mostrando as diferenças entre o lado que recebe o fluxo (geralmente mais fechados) e o lado da saída, que tem dimensões mais folgadas para promover a facilidade do escoamento e minimizar entupimentos (MANFREDI 2010) :



Figura 26: Desenho esquemático – Peneiras com orifícios (á esquerda) e peneiras com fendas (á direita).

3.7.12 Cálculo da área aberta de cestos peneiras (ANDRITZ s.d)

A- Equações para fendas:

$$\% \text{ de área aberta} = W \times L \times 100 / OS \times PL$$

Onde:

- W = largura da ranhura (mm)
- L = comprimento da ranhura (mm)
- PS = espaçamento entre ranhuras (mm)
- PL = passo longitudinal (mm)

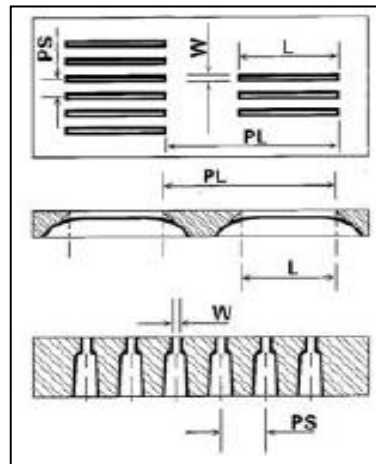


Figura 27: Desenho esquemático – Área aberta - fendas

Fonte: Princípios da depuração pressurizada – ANDRITZ,2011

B- Equações p/ furos:

$$\% \text{ de área aberta} = 157 \times d^2 / hp \times vp$$

Onde:

- d^2 = diâmetro do furo ao quadrado (mm)
- hp = distancia radial – entre centros (mm)
- vp = distancia longitudinal – entre centros (mm)
- 157 = constante

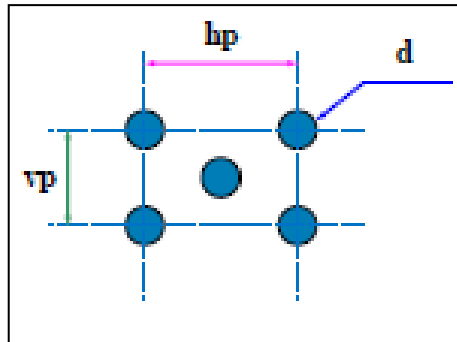


Figura 28: Desenho esquemático – Área aberta - orifícios

Fonte: Princípios da depuração pressurizada – ANDRITZ, 2011

3.7.13 Efeito da velocidade de passagem da polpa fibrosa pela peneira

Todos os fabricantes de sistemas de depuração pressurizada tentam aliar os compromissos de eficiência na remoção de contaminantes às máximas produções permitidas.

Este balanço, em muitos casos, sugere de uma forma sintética, um ligeiro aumento da velocidade de passagem das fibras pelas fendas, apenas aumentando o fluxo hidráulico e mantendo as mesmas furacões das aberturas do cesto. O efeito causado por esta nova condição, pode afetar diretamente a eficiência de peneiramento e seletividade dos equipamentos. Segundo ZEEB e BRITO (1994), velocidades de passagem adequadas, devem ficar em valores menores ou próximos á 0,7 m/s, acima disso a eficiência de depuração e peneiramento ficam comprometidas.

3.7.14 Cálculo da velocidade de passagem pelas fendas (ANDRITZ,2011)

Equações: Velocidade de passagem (m/seg.): $V_p = Q_a / A_a$

Onde:

- Q_a = vazão do aceite (m³/seg.)
- A_a = área da fenda (m²)

3.7.15 Cálculo da eficiência de limpeza da polpa (MOKFIENSKI ,2011)

Equações: Eficiência de limpeza (%) : $Ef = \frac{Qal - Qac}{Qal} \times 100$
--

Onde:

- Qal = vazão de alimentação ($m^3/seg.$)
- Qac = vazão do aceite ($m^3/seg.$)

3.7.16 Cálculo da taxa de rejeito (MOKFIENSKI, 2011)

Equações: Taxa de rejeito (%) : $iR = \frac{QR}{Qal} \times 100$

Onde:

- QR = vazão do rejeito ($m^3/seg.$)
- Qal = vazão de alimentação ($m^3/seg.$)

3.7.17 Depuradores e peneiras pressurizadas: características e utilização

Em linhas gerais, não existe fluxograma “padrão” para disposição de equipamentos de preparação de massa (MANFREDI, 2011). O que existe, sim, é um consenso geral quanto á aplicação em funções de algumas características intrínsecas a cada processo e tipo de fabricação. A consistência da fibra ou a carga de contaminantes em determinada etapa do processo, podem ser fatores preponderantes da escolha do posicionamento, Lay-out, sequência dos equipamentos do sistema. Existem ainda recomendações de fabricantes que consideram especificidades de cada equipamento para recomendar a sua utilização dentro uma planta de preparação de massa.

Falando especificamente de depuradores e peneiras pressurizadas, um linguajar “comum” considera-se (com poucas variações) alguns posicionamentos padrão, dentro do fluxograma e estes podem ser descritos da seguinte forma: (MANFREDI, 2011)

- Após o hidrapulpers: para remoção de impurezas vindas com a celulose / aparas.

- Antes dos despastilhadores e refinadores: para evitar danos aos equipamentos, causados por materiais maiores (arames, peças metálicas, etc.)
- Antes dos cleaners: para remover aglomerados de fibras sólidas presentes na celulose ou aditivos, evitar entupimentos e danos aos equipamentos também causados por eventuais pedaços/peças metálicas.

3.7.18 Furações recomendadas (MANFREDI, 2011).

Disposição e dimensionamento recomendado para o beneficiamento de aparas mistas:

- Após o hidra- pulper: orifícios 1,3 a 2,0 mm
- Após primeira peneira: fendas 0,25 a 0,35 mm
- Para aparas destintadas. Fendas 0,15 a 0,35 mm
- Na remoção de palitos/shives: orifícios 1,3 a 2,0 mm / fendas 0,25 a 0,45 mm (fábricas que utilizam pastas de alto rendimento).
- Para fracionamento de fibras longas: orifícios 1,3 a 2,0 mm e fendas 0,25 mm a 0,45 mm

Segue abaixo quadro de posicionamentos de peneiras nas diversas etapas do processo de depuração, em função da matéria-prima e tipo de produto fabricado³:

Tipo de Processo	Posição da Peneira	Matéria Prima
Pasta Química • Kraft • Sulfito	Knotter Massa Marrom Branqueamento	Softwood – Fibra Longa Hardwood – Fibra Curta
Pasta Mecânica • Groundwood, GW • Pressure groundwood, PGW • Thermo-mechanical, TMP • Chemi-thermo-mechanical, CTMP	Coarse Fino Fracionamento	Softwood – Fibra Longa Hardwood – Fibra Curta
Fibra Reciclada	Coarse Fino Fracionamento	• Old corrugated containers OCC • Mixed waste MW • Old newsprint ONP • Old magazines OMG • Mixed office waste MOW • Sorted office waste SOW
Fabricação de Papeis • Jornal • Papéis Finos • Papelão • Cartão • Tissue	Caixa de Entrada Engrossador de Massa Quebras Diluição	Matéria Prima diversas e misturada dependendo do tipo de papel final a ser produzido

Quadro 3: Posicionamento de peneiras na planta de depuração

Fonte: Princípios da depuração pressurizada – ANDRITZ 2011

Nota³: pode se observar que as peneiras podem ser aplicadas em diversas etapas do processo produtivo e atendendo a inúmeras solicitações de aplicação, entretanto a máxima eficiência de peneiramento se deve a observância e cumprimento de recomendações de fabricantes.

3.8 Sequência de depuração⁴

Dentro da história de fabricas de papel, embasados em conceitos de fabricantes de equipamentos ou em teorias baseadas em experiências em campo, pode-se afirmar que não há uma sequência exata de disposição de equipamentos para depuração de polpa de papel, muitos fatores podem influenciar na disposição e tipo de equipamento a ser utilizado, principalmente em se tratando de fabricas que utilizam aparas em sua composição, que por necessidade necessitam de maior robustez da retirada de contaminantes indesejados. (MANFREDI,2011)

Algumas fabricas podem ter até três linhas de distintas de depuração dentro da preparação de massa todas três contendo equipamentos e disposição diferentes.

A teoria fala que os contaminantes pesados (madeiras, plásticos, pedras etc.), devem ser retirados primeiro e posteriormente os contaminantes mais leves (areias, pastilhas, *shives*, etc.), portanto as linhas de depuração são basicamente escalonadas em função desta lógica. Assim sendo o primeiro o primeiro estágio de limpeza se faz dentro dos hidrapulpers, separando o material através de peneiras perfuradas e purgadores, posteriormente trata-se a porção de aceite novamente (já que restam ainda contaminantes menores), em equipamentos como turbos separadores ou desfloculadores. Os contaminantes ainda menores são segregados e retirados do sistema em separadores de massa grossa (*Ruffclones*), baterias de limpadores centrífugos (*Cleaners*) e depuradores verticais pressurizados que geralmente tem peneiras com furação em formato de fendas com dimensões da ordem de 0,15 mm a 1,0 mm. Pode-se ainda utilizar de equipamentos de dispersão, fracionadores e peneiras vibratórias.

Invariavelmente a consistência maior da polpa no início do processo, determina os equipamentos e sequência de depuração. No início do processo geralmente se trabalha com consistências médias de 3 a 8% (estes valores podem aumentados quando utilizando *hidrapulpers* de alta consistência) o que pode impossibilita a utilização nesta etapa, de equipamentos com peneiras de furos muito fechados, aliados a isto, alguns tipos de contaminantes só podem ser segregados quando em estado de suspensão aquosa (consistências abaixo de 1,5%).

Nota⁴: alguns trechos do texto acima, foram elaborados e embasados na experiência vivencial do próprio autor, dentro do ambiente fabril.

Para elucidar com maior clareza, segue abaixo um exemplo de fluxograma de preparação de massa, utilizado em fábricas que utilizam matérias-primas com alto teor de contaminantes:

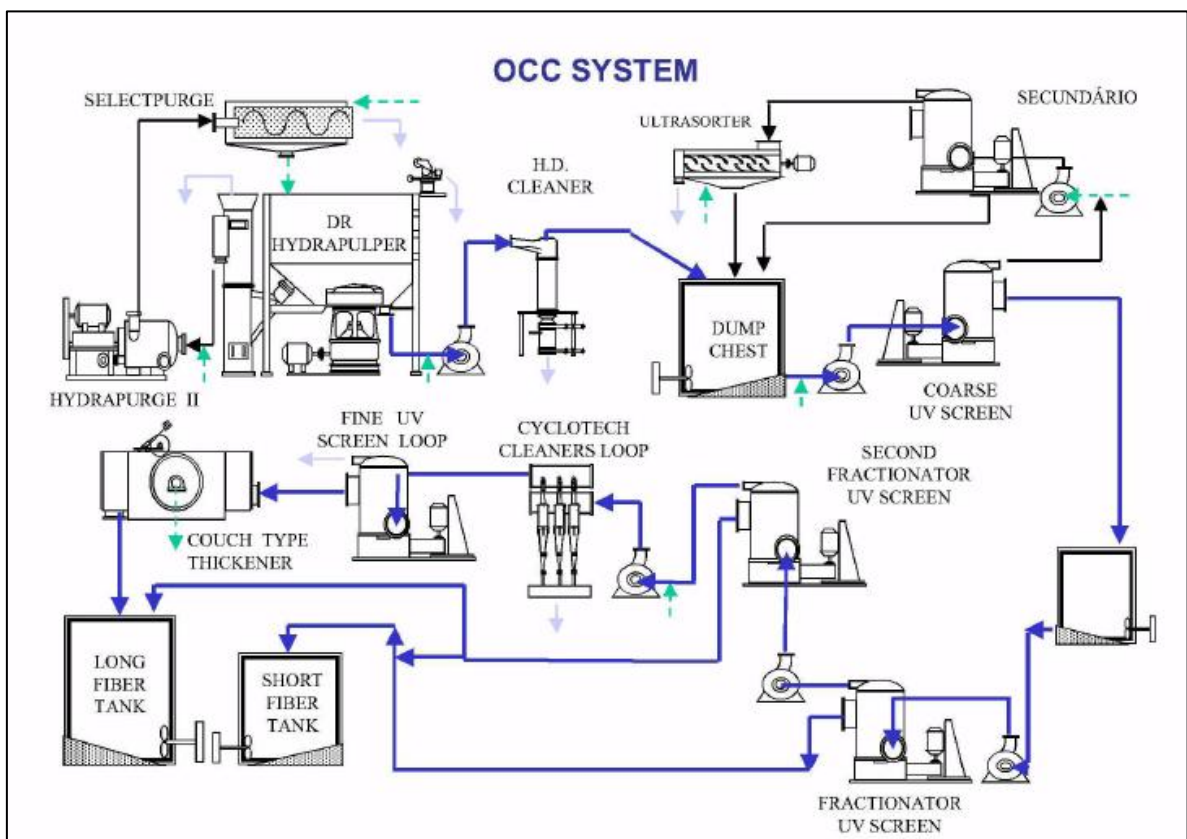


Figura 29: Fluxograma de Preparo de Massa

Fonte: Depuração de Aparas CBTI - s.d.

3.9 Fracionamento de fibras

Segundo FURLAN (1985), fracionamento é a divisão da suspensão fibrosa, seja de fibras virgens ou secundárias em duas ou mais frações que são relativamente ricas em fibras curtas ou fibras longas.

Em fábricas de papel que utilizam diferentes tipos de matérias primas em sua composição fibrosa, como exemplo fábricas que utilizam aparas, é comum em seus aceites e rejeitos, fibras de origem e processos diferentes. Esta característica pode ser facilmente

evidencia em depuradores pressurizados, que interessantemente tendem a fracionar porções de fibras curtas das fibras longas. (FONTOURA, 2004)

O entendimento é simples: fibras curtas e finas, por sua própria constituição dimensional, tem maior facilidade de “passar” pelas fendas e furos de cestos peneiras, em contra partida, as fibras longas tendem a ficar retidas pelo sistema na porção tida como rejeito do processo. Esta característica tem os seus prós e contas, dependendo da posição em que o equipamento esta instalado ou a finalidade de sua utilização.

Atualmente existem equipamentos projetados e concebidos exclusivamente para esta finalidade, já que por razões econômicas, exclui-se a possibilidade de escolha e seleção adequadas dos tipos de fibras através do comércio de aparas em geral. Assim sendo estes equipamentos são bastante sugeridos por especialistas em fabricas que utilizam aparas como matéria-prima, tendo como vantagem o tratamento apenas da porção rejeitada pelo sistema, sendo que o aceite segue o processo sem mais estágios de depuração. (FONTOURA, 2004)

A primeira vantagem da utilização deste equipamento é de poder explorar as diferenças físicas de fibras longas e curtas e tratá-las de forma individualizada (FURLAN, 1985). Assim como na etapa de refinação, onde as fibras longas e curtas admitem resultados diferentes após processadas (em linhas gerais fibras curtas atingem melhores resultados de refino do que fibras longas), os testes físicos também podem melhorar aproveitando ao máximo cada característica intrínseca á fibra.

Exemplo de utilização de fracionadores para tratamento individual de porções de fibras curtas e longas:

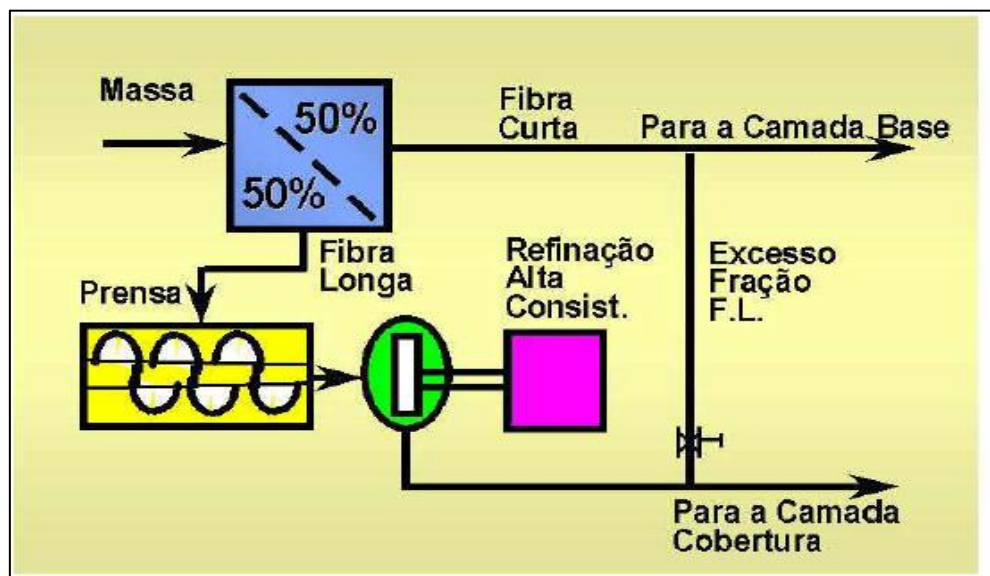


Figura 30: Esquema de fracionamento de fibras

A segunda vantagem é também relacionada á refinação e o consumo de energia específico, em kWh/ton. A teoria do fracionamento permite, em alguns casos, a refinação apenas a porção de fibras longas, aproveitando as características mecânicas e capacidade ligação mais positiva das fibras curta (FURLAN, 1985).

A terceira vantagem aparece em testes físicos, onde valores de resistência e rasgo aumentam quando o fracionamento é mais nítido (FURLAN, 1985).

Segue abaixo esquema típico de equipamento fracionador de fibras (a figura abaixo utiliza rotor para média consistência Cs 2,5 a 4,5%):

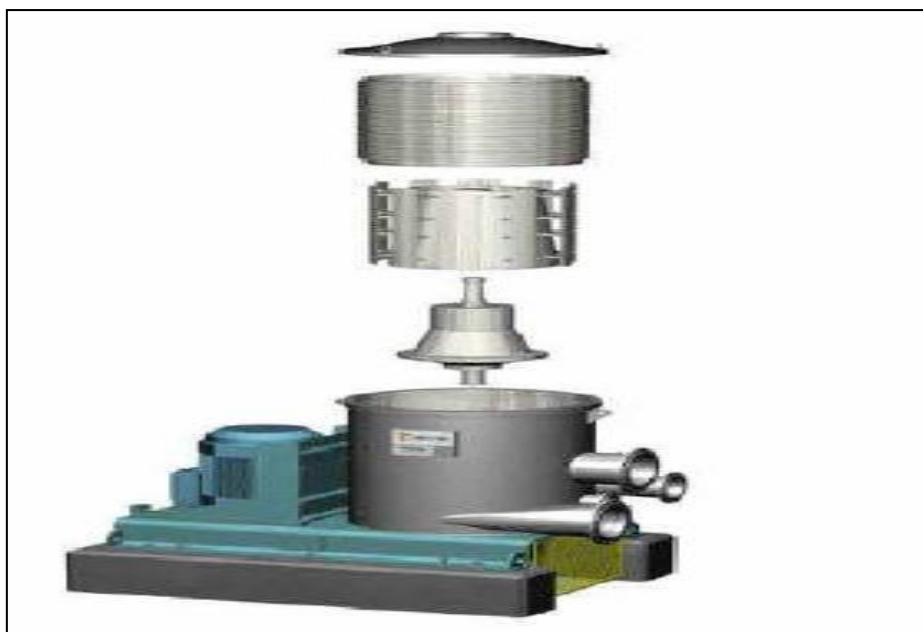


Figura 31: Desenho Esquemático do Fracionador de fibras

Fonte: METSO PAPER , 2000

3.10 Depuração X consistência⁵

Usualmente depuradores pressurizados necessitam de baixas consistências para realizar o trabalho de limpeza e descontaminação de resíduos indesejáveis, para tanto a polpa fibrosa deve ser diluída, depurada e posteriormente engrossada novamente para o bom desempenho da refinação. Nestes casos existem certos inconvenientes intrínsecos ao processo, como a baixa produtividade e o excesso de contaminantes: a baixa produtividade é dada pelo volume de massa seca x quantidade total da solução, ou seja, quanto menor a consistência,

menor o valor absoluto de polpa processada pelo sistema. Uma medida corretiva muito usada é a compensação deste efeito atuando no fluxo processado, ou seja, no aumento de capacidade hidráulica dos equipamentos através de aumento da área das perfurações. Esta medida afeta diretamente na qualidade da polpa depurada e aceita pelo sistema, o que inevitavelmente incorrerá em um material com maior número de contaminantes.

Equipamentos que trabalham com médias e altas consistências são muito bem vistos pela indústria pelos ganhos comprovados em produção e qualidade de depuração, porém para isto toda a configuração, sequência e controles do processo devem ser modificados.

Nota⁵: o conteúdo do texto acima foi elaborado e embasado na experiência vivencial do próprio autor, dentro do ambiente fabril.

4. SISTEMAS DE DISPERSÃO DE CONTAMINANTES

Fábricas que utilizam como fonte de fibras, aparas mistas e não classificadas, geralmente têm problemas com contaminantes oriundos de papéis betuminados, parafinados, plastificados, resinados, impressos ou com barreiras químicas resistentes á água. Estima-se que entre 1 a 8% do conteúdo das aparas mistas de mercado, têm contaminantes como os citados acima. (FALCÃO, 2003).

Estes tipos de matérias-primas, quando processadas em um sistema de depuração, inevitavelmente liberam pequenas partículas destes aditivos, que pela própria constituição físico-química são carregadas junto ao sistema e posteriores etapas do processo. Estas partículas são denominadas *Stickies e Pintas (dirt specks)*. (ALMEIDA e CAHEN, 1991).

Tais componentes acima citados, são comumente denominados de “materiais de difícil dispersão” e por isso, apresentam restrições para serem completamente dissolvidos ou eliminados em sistema de depuração convencional. Depuradores, peneiras, turbo separadores, separadores de massa grossa etc.. podem não ser totalmente eficientes para a eliminação de contaminantes com estas características, já que muitas vezes os contaminantes estão agregados na parede externa das fibras e necessitam de outros fatores para sua extração. (SERRES e LASCAR, 1994, et al.)

Para trata-los com eficiência seria necessário, um sistema demasiadamente pesado para a dissolução e separação destes contaminantes. Além das características construtivas de alto custo, operacionalmente o tempo de processamento da polpa é um fator a se considerar, já que estes tipos de contaminantes necessitariam de alto tempo de residência nos equipamentos e provavelmente requereriam de recirculação para o atendimento da qualidade de limpeza desejada.

Dentro deste contexto, porem em uma afirmação contra sensual, é importante ressaltar que nos dias de hoje, uma nova planta de depuração, com novas tecnologias de peneiramento e fabricação de cestos / depuradores, podem ser eficientes na remoção de *stickies / pintas* e até dispensar a utilização de dispersão. (KUMAR e FABRY,2007 et al.)

Segue abaixo, quadro que demonstra as diversas aplicações de sistemas de dispersão em função do tipo de papel/aparas a ser depurado⁶:

Tipos de papel	Papel-jornal	Papel SC*	Papel LWC**	Papéis tissue	Papel-capa (reciclado)	Papelcartão (interno)	Papel-capa (cobertura)
Objetivo da dispersão							
Dispersão de sujidades e stickies							
Dispersão de ceras							
Dispersão de partículas de revestimentos							
Separação de tintas e toner							
Mescla de agentes de branqueamento							
Melhoria da resistência física							
Aumento de volume específico							
Descontaminação microbiológica							

- *SC – Papel supercalandrado / **LWC – Papel revestido

Quadro 04: Posicionamento de peneiras na planta de depuração

Fonte: Revista NOSSO PAPEL, 2008.

Nota⁶: o quadro acima demonstra com clareza que a dispersão é bastante eficaz na retirada de tintas e *stickies* na maioria dos tipos de papéis fabricados pela indústria papelreira.

4.1 *Stickies*: conceito

Stickies: segundo ALMEIDA e CAHEN (1991): é o termo utilizado para designar o material de caráter elástico e pegajoso, que aparece em varias partes da máquina de papel. São caracterizados como contaminantes do processo, pois não são adicionados ao produto ou ao sistema intencionalmente, como aditivo para ganhos de qualidade ou facilidade de operações etc.

Estes contaminantes são subprodutos de substâncias químicas utilizadas no processo de fabricação, para utilizações específicas e que são extremamente maléficas á qualidade final e andamento de maquina. Em uma definição pragmática, estes contaminantes são chamados de contaminantes internos, ou seja, estão física ou quimicamente ligados ao papel ou a estrutura fibrosa. (FALCÃO, 2004)

Contaminantes internos em linhas gerais podem ser solúveis ou insolúveis em água dependendo do composto inserido, no caso dos solúveis, estes podem ser transformar junto a fase aquosa da polpa de podem se tornar “invisíveis” na superfície da folha, não acarretando em problemas de qualidade final do produto, porem é importante salientar que tais

componentes, mesmo dissipados na solução água e fibras, podem “carregar” o sistema de água e efluentes de forma negativa, principalmente em fábricas com o circuito bastante fechado de recirculação de águas industriais. Tais substâncias dissolvidas favorecerem a formação de depósitos, crescimento de micro-organismos e lodo. Em contrapartida os contaminantes insolúveis em água necessitam de tratamentos adicionais, sejam químicos, mecânicos ou térmicos, ou ainda dependendo da concentração, de uma combinação de todos eles. (FALCÃO, 2004).

4.1.2 Dimensões do *stickies*

Segundo ALMEIDA, (2004), a classificação mais comum para os *stickies*, esta relacionada a seu tamanho/dimensão. Denomina-se *macro-stickies*, os de dimensões entre 0,10 mm a 0,15 mm e os *micro-stickies* os menores que este padrão. Dentro dos *micro-stickies*, estão os dissolvidos com dimensões entre 100µm a 100nm, os coloidais que tem dimensões entre 100 nm a 10 nm e moléculas dissolvidas, com valores menores que 10nm.

4.1.3 Problemas causados pelos *stickies*

Os *stickies* podem gerar uma série de problemas relacionados á fabricação do papel e andamento de máquina, podem impregnar em telas formadoras e feltros afetando a vida útil do mesmo de incorrendo na possibilidade de se “soltarem” durante o processo e causarem quebras da folha. O outro fator negativo (e preponderante) é que os *stickies* prejudicam a aparência final do papel (causando pintas e manchas) e podem também trazer efeitos adversos durante a etapa de conversão.(TAKIKAWA,1994)

4.1.4 Origem e natureza dos *stickies*:

Os materiais adesivos empregados na fabricação de certos tipos de papel e papelão são os principais responsáveis pela origem dos *stickies*. Além destes materiais, alguns ligantes empregados em tintas e revestimentos de tintas *couchê* e impressão, resinas de resistência á úmido e alguns aditivos. (ALMEIDA e CAHEN, 1991)

Os *stickies* se formam por que no processo de desagregação de aparas, parte destes materiais proibitivos e indesejados (geralmente polímeros insolúveis em água) são liberados, originando uma dissolução instável de partículas microscópicas que podem durante as operações subsequentes sofrer alterações físicas tornando-se ainda mais prejudiciais ao sistema. As condições do ambiente fabril, PH, temperatura, intensidade de forças de cisalhamento etc., podem afetar a natureza dos *stickies* e potencializarem as características de deposição sobre a folha e maquinário. (ALMEIDA e CAHEN, 1991)

Tipos de adesivos utilizados por fabricantes de papeis e cartões e que são fontes geradoras de *Stickies*:

Naturais/artificiais	Á base de amido, dextrina, caseína, cola animal, silicato de sódio.
Sintéticos líquidos	Á base de acetato de polivinila, álcool polivinílico, polímeros de estireno butadieno, polímeros de acrilonitrila, poliuretanos, derivados de celulose.
Sintéticos sólidos (hot melt):	Ã base de etilenoacetato de vinila e outros copolímeros de etileno, polietileno, polipropileno, poliamidas, poliésteres, polímeros de estireno / isopreno.

Quadro 05: Composição dos adesivos

4.1.5 Características do *stickies*

Existem estudos que subdividem em categorias os *stickies*, classificando em primários, secundários, moles e duros (ALMEIDA e CAHEN, 1991; MARTINEZ, 2004)

- Os *stickies* primários são os originados através da liberação de componentes da própria matéria utilizadas (como o caso dos adesivos) e estes são os causadores da maioria dos problemas em fábricas de papel, pois são mais difíceis de serem

dispersos ou eliminados (neste caso somente com adição de tratamentos químicos).

- Os stickies secundários são formados principalmente durante o processo de fabricação, que carregam substâncias químicas no impregnadas no circuito.
- Os stickies moles são mais pegajosos e tendem a se depositarem na parte úmida da máquina ao ponto que os duros são mais suscetíveis ao desprendimento na seção de secagem.

4.2 Pintas e manchas, caracterização.

Segundo TANFERRI, 1978 denomina-se “pinta” toda mancha pequena ou pontuação colorida / escura que aparece na superfície da folha durante fabricação e produto final. Denomina-se “mancha”, imperfeições maiores, provenientes de várias causas que não fazem parte na fabricação normal de papeis e cartões.

4.2.1 Classificação das pintas e manchas

Durante o processo de fabricação de papeis especiais, muitos fabricantes agregam componentes ao processo, a fim de alterar propriedades físicas e químicas do papel ou garantir que o mesmo possa ser utilizado para algum uso específico. Muitos destes componentes quando submetidos a processos de reciclagem (desagregação e depuração) se fragmentam e permanecem em porções visíveis na polpa fibrosa e no produto final. Podem-se classificar estes “defeitos” pela coloração característica e assim determinar a sua origem e forma de tratamento de remoção. (RIBEIRO, 1975)

Conforme TANFERRI (1978), manchas escuras diretamente e claras em transparência, são geralmente de fontes como breu, gordura vegetal, ceras, amido e até fibras aglomeradas. Manchas escuras tanto na luz refletida como em transparência, geralmente são de origem ferrosa, pigmentos de tintas, borrachas, fragmentos de pastas de alto rendimento etc. Manchas que só aparecem após calandragem ou revestimento podem ser nós de madeira, pigmentos, cargas entre outros.

4.2.2 Problemas relacionados às pintas e manchas

As diversas origens e tipos manchas/pintas (conforme relatado acima) podem trazer uma serie de malefícios ao processo de fabricação, como quebras da folha e impregnação, porem o, maior problema ainda esta relacionado, a qualidade visual da folha, agravado durante etapas de impressão com tintas chapadas. (RANDRUP, 1984)

Origem principal das pintas e manchas (Fonte: KUMAR, FABRY- 2007 et.al.)

- Papeis recobertos (com pigmentação *couchê*)
- Papeis impressos com vernizes-UV
- Papeis com impressão de toners / impressão á laser / Offset
- Papeis com cobertura e impressão de alto brilho
- Papeis de alta qualidade com cobertura e impressão submetidos a secagem forçada.

4.3 O advento da tecnologia da dispersão de contaminantes

Segundo KUMAR e FABRY (2007) et al., a origem dos estudos se iniciaram em meados 1946 nos Estados Unidos, por um grupo de fabricantes de papel reciclado, originados de aparas de Kraft betuminado. Este grupo realizou diversas experiências para verificar que providencias deveriam ser tomadas, afim conseguir uma dispersão completa de partículas não fibrosas, tais como as citadas acima e para a determinação de quais condições impostas á matéria-prima fibrosa, para que estes contaminantes se desprendam com maior facilidade,

Estas experiências iniciais provaram que a massa fibrosa para ser regenerada e novamente e ter características de limpeza desejadas, deve ser submetida às seguintes condições:

- Alta consistência (mín. 25 a 35% C)
- Temperaturas acima de 100°C (sob pressão de vapor)

Para isso seria necessário o projeto de um novo equipamento que pudesse aliar tais características requeridas á uma razoável funcionabilidade. Muitas empresas vislumbraram

um grande potencial de ganho com vendas, principalmente em se tratando de uma nova tecnologia com comprovação de eficiência.

Em meados da década de 1960 surgiram equipamentos para depuração de aparas com alto nível de contaminantes, tais como o que iremos abordar. Este equipamento aliava a utilização de forças mecânicas de cisalhamento / atrito / fricção á elevação da temperatura da polpa (KUMAR e FABRY 2007 et al.).

A partir de 1978 estes equipamentos, começaram a ser utilizados em maior escala por muitos fabricantes de papel oriundos de aparas e em plantas de destintamento. Atualmente todas as novas plantas de destintamento, utilizam esta tecnologia. (KUMAR e FABRY 2007 et al.).

O quadro abaixo demonstra a eficiência de depuração de contaminantes utilizando o princípio da dispersão e comparado aos demais processos convencionais de depuração:

	Remoção Stickies	Desenv. Propriedades	Remoção Cargas e Finos	Redução de Pintas
Desagregação		-	-	-
Depuração e Fracionamento AC/BC	XXX	-	-	XX
Depuração Centrífuga	X	-	-	X
Dispersão	X	XX	-	XXX
Engrossamento/lavagem	X	-	XX	X
Refinação	-	XXX	-	(X)

XXX = alta, XX = moderada and X = baixa Influência

Quadro 6: Eficiência da dispersão

Fonte: Seminário de Reciclagem ABTCP/ METSO – 2004

O mesmo comparativo de diferentes tipos de depuração utilizados, ilustrado através do gráfico abaixo, onde sistemas de dispersão são altamente eficientes em função do tipo de contaminantes e dimensões das partículas:

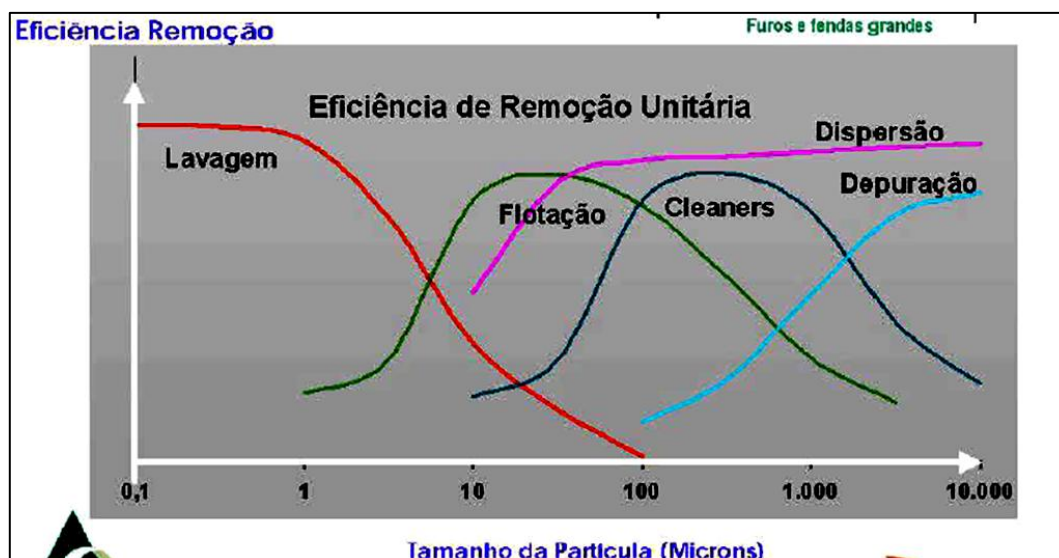


Gráfico 3: Eficiência da dispersão

Fonte: Treinamento- Fibras recicladas para Papelão e Ondulado ABTCP/ METSO s.d.

4.3.1 Objetivos da utilização

4.3.1.1 Objetivo principal

A- Dispersão de manchas e pintas de tinta de revestimentos ou impressão e dispersão *de stickies* originados por materiais resinosos, melhorando o aspecto *visual e runability* de máquina. (KUMAR e FABRY 2007 et al.).

Equipamentos de dispersão não tem a função usual de eliminar contaminantes da polpa assim como a maioria dos equipamentos convencionais. Seu princípio básico é o de dispersão, ou seja, as impurezas após tratamento mecânico aliado á altas temperaturas se dispersam na massa fibrosa em uma condição que não prejudique o processamento subsequente. Nestes equipamentos não há descargas para rejeito, os contaminantes continuam lá, porém com outras características, deste modo não causam problemas ao processo de fabricação. Em resumo, os contaminantes não são removidos e sim fracionados á dimensões que não mais possam interferir ou prejudicar no processo de fabricação. São dispersos em meio á massa fibrosa ao ponto que possam ser retirados nas etapas posteriores de depuração e lavagem. (VOITH, 2012)

Os objetivos básicos pretendidos por meio da dispersão são bastante peculiares dentro dos contaminantes ou materiais proibitivos, assim sendo para melhor esclarecimento, abaixo, uma explanação literal, tal qual formulada pelo autor (PEPE, 2008, s.p)

- Reduzir partículas de sujidade á valores abaixo dos limites de visibilidade (menores que 40-60 um) e promover distribuição uniforme ou condições de flotação.
- Fragmentar frações de materiais pegajosos (stickies) distribuindo-os uniformemente ou criando condições de flotação.
- Dispersar finamente ceras e parafinas.
- Separar partículas de tintas aderidas as fibras
- Realizar tratamento mecânico as fibras para manter ou melhorar as características de resistência.
- Tratar as fibras termicamente para o aumento do seu volume específico
- Realizar descontaminação microbiológica – a alta temperatura desse procedimento destrói bactérias e fungos (a presença do peróxido H2O2 é benéfica nesta função).

Outras aplicações também são indicadas de maneira positiva, na utilização de dispersão á quente e ações de cisalhamento mecânico da polpa (VOITH, 2012)

- Tratamento térmico prévio para adição de químicos de plantas de branqueamento
- Tratamento térmico e mecânico para plantas de destintamento (*deinking*)

O primeiro estágio do equipamento promove ás fibras, um atrito mecânico intensivo, exercido através de roscas fundidas, este esforço mecânico causa a compactação da polpa e realiza o inicio de dispersão de substâncias acessórias contidas na polpa, parafina, hot-melt etc.(VOITH, 1971)

No segundo estágio a massa é aquecida continuamente por vapor por saturado, sendo que a temperatura e o tempo de residência são fatores predominantes no tratamento das fibras. Temperaturas entre 90 e 150° C (dependendo do sistema ou nível de contaminantes) podem ser utilizadas. Os altos valores de transmissão de calor do vapor em condensação, á massa fibrosa, promovem o amolecimento e a soltura dos componentes indesejáveis da parede das fibras, a grande porção destes contaminantes são efetivamente “dissipados” na massa fibrosa com dimensões menores a que inicialmente tinham. (VOITH,1971)

As partículas remanescentes, que não foram totalmente dispersas nesta etapa, são tratadas através do cisalhamento / atrito mecânico entre as fibras e ao fim do processo, também apresentam características dimensionais inferiores ás iniciais. Estas partículas nestas condições, podem ser transportadas ao aceite do equipamento sem maiores danos á qualidade

da polpa, andamento de máquina e tampouco qualidade final do papel, entretanto, se ainda houver partículas prejudiciais ao processo e qualidade visual do papel, por estarem já destacadas das paredes fibrosas, estas podem ser removidas com facilidade em etapas posteriores de peneiramento fino e depuração. (VOITH,1971)

O gráfico a seguir demonstra a eficiência na redução das dimensões dos *stickies* (resíduos de cola, parafina, resinas etc.) na aplicação de energia mecânica na dispersão⁷:

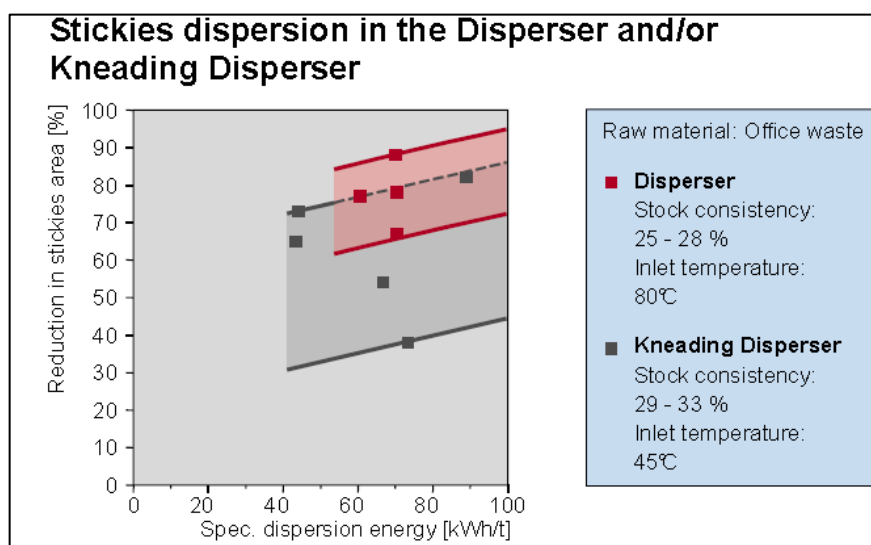


Gráfico 4: Dispersão de Stickies

Fonte: Dispersion Training – VOITH 2002

Nota ⁷: pode-se notar que a utilização de dispersão em maior intensidade (demostrados através de energia desprendida – kWh/t), resulta em menores partículas (mensuradas pela área) e consequentemente maior eficiência de “limpeza”. OBS: Dados comparativos entre dispersores únicos e dispersores com trituradores.

O gráfico abaixo demonstra a eficiência na dispersão de pintas (*dirt specks*): pintas oriundas de pigmentos de tintas de revestimento e impressão ⁸:

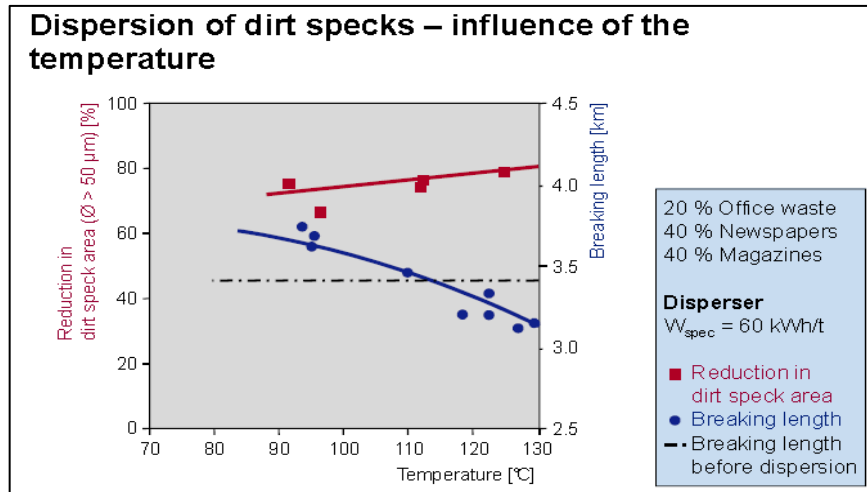


Gráfico 05: Influência da temperatura na dispersão de pintas e manchas

Fonte: Dispersion Training – VOITH 2002

Nota ⁸: a redução da área das pintas (*dirt specks*) é perceptível na dispersão com incremento da temperatura (faixa em vermelho). OBS: utilizando OCC como matéria-prima.

O gráfico abaixo demonstra a eficiência de dispersão de stickies, por efeito do incremento de temperatura⁹:

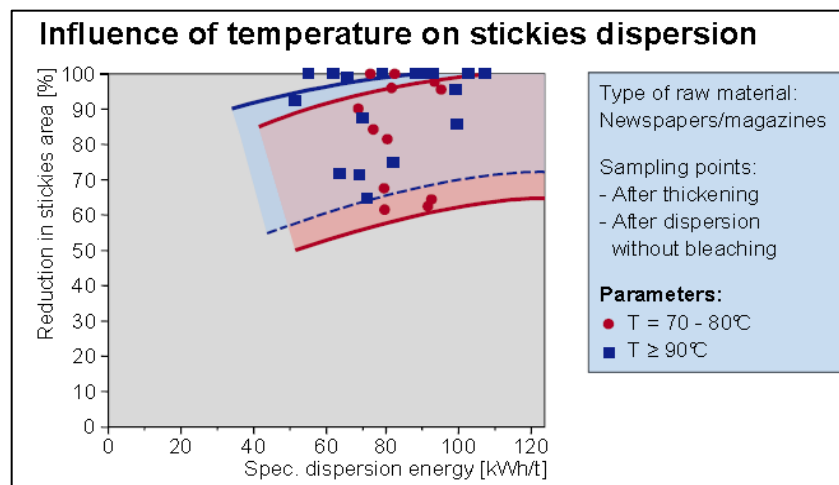


Gráfico 06: Influencia da temperatura na dispersão de Stickies

Fonte: Dispersion Training – VOITH 2002

Nota ⁹: o resultado demonstrado no gráfico acima deixa evidente que a porcentagem de redução dimensional (e conseqüentemente diminuição da percepção visual) dos *stickies* é superior em temperaturas iguais ou superiores á 90°C.

4.3.1.2 Objetivo secundário

B- Redução da carga microbiológica (fungos, bactérias, etc.) através do incremento da temperatura durante dispersão. (PEPE, 2008)

Conforme ABTCP (s.d.), as embalagens não podem transmitir odor estranho, ter manchas ou cor que evidenciem presença de fungos ou outros micro-organismos.

Atendendo esta necessidade fabricantes de papel e cartão, principalmente os que têm como finalidade, a utilização em embalagens de alimentos e derivados, tem que certificar de a matéria-prima utilizada atenda aos padrões de exigências de órgãos legais e vigentes (ex: vigilância sanitária) quanto á carga microbiológica contida no material fibroso, e garantir que eles permanecem em níveis mínimos, controlados e que não possam oferecer riscos a integridade do produto que carregam e principalmente á saúde do consumidor final.

Abaixo, tabela com tolerância permissível de carga microbiológica em alimentos:

Produto	Meio de Cultura	Tolerância da amostra indicativa, em ufc/g
Hamburgueres, almôndegas, quibes e similares congelados	Bactérias anaeróbias	5×10^3
	Coliformes Totais	5×10^3
Produtos à base de pescado refrigerados ou congelados (hambúrgueres e similares)	Bactérias anaeróbias	1×10^3
	Coliformes Totais	10^3
Amidos, farinhas, féculas e fubá, em pó ou em flocos.	Bac. aeróbias esporuladas	3×10^3
	Coliformes Totais	10^2
Produtos semi-elaborados, como pão de queijo, de batata e similares, pizzas e pastéis.	Bac. aeróbias esporuladas	5×10^2
	Bactérias anaeróbias	5×10^2
	Coliformes Totais	5×10
Panetones, pães de Páscoa, bolos, massa pronta para tortas e similares.	Coliformes Totais	10
Cereais matinais	Coliformes Totais	1
Farelo e fibras de cereais	Bac. aeróbias esporuladas	5×10^3
	Coliformes Totais	5×10^2
Bolos, tortas e similares.	Bactérias anaeróbias	10^3
	Coliformes Totais	10^2

Tabela 02: Carga microbiológica tolerável

Fonte: ANVISA, 2012

A atividade microbiológica contida nas aparas tende a crescer dentro do processo produtivo, principalmente quando as etapas do processo de produção alternam o PH do sistema, de ácido para alcalino (o que comumente pode acontecer, com a inserção de águas

frescas, brancas, recuperadas, etc. que podem trazer diferentes níveis de PH entre si, ou na utilização de diferentes tipos de fibras), a razão para este fenômeno é que as bactérias tem mais afinidade em desenvolverem-se em ambientes de PH neutro ou alcalino. (KING e MESQUITA, 1991).

Comumente fabricantes de papeis em geral utilizam agentes químicos como: bactericidas, fungicidas e biocidas, na forma de combater e controlar micro-organismos que ficam impregnados nas fibras e demais componentes do papel, muitos destes organismos são adquiridos ou gerados junto ao processo de fabricação e potencializados pelo ambiente favorável de proliferação (alto teor de umidade, fonte de nutrientes, PH, oxigênio etc.) (VASQUES e DAVIS, 2002 et.al.; BAYER, 2001).

Outros fabricantes utilizam tecnologias mais complexas, com barreiras físicas e aplicações *off machine*, que isolam o alimento do contato com a embalagem (ex: aplicação de filmes plásticos, coberturas resinadas etc.)

A utilização de temperatura na dispersão, que podem atingir até 130°C em algumas aplicações, além das características de depuração já mencionadas, podem comprovadamente trazer a redução de cargas orgânicas e microbiológicas na polpa fibrosa, já que muitos micro-organismos não suportam ambientes com temperaturas acima de 60°C e alto tempo de exposição, assim como ocorrem nos dispersores á quente que injetam vapor sob pressão em câmaras pressurizadas. (VOITH, 2002)

O gráfico abaixo demonstra a capacidade vital de alguns micro-organismos quando submetidos a altas temperaturas¹⁰:

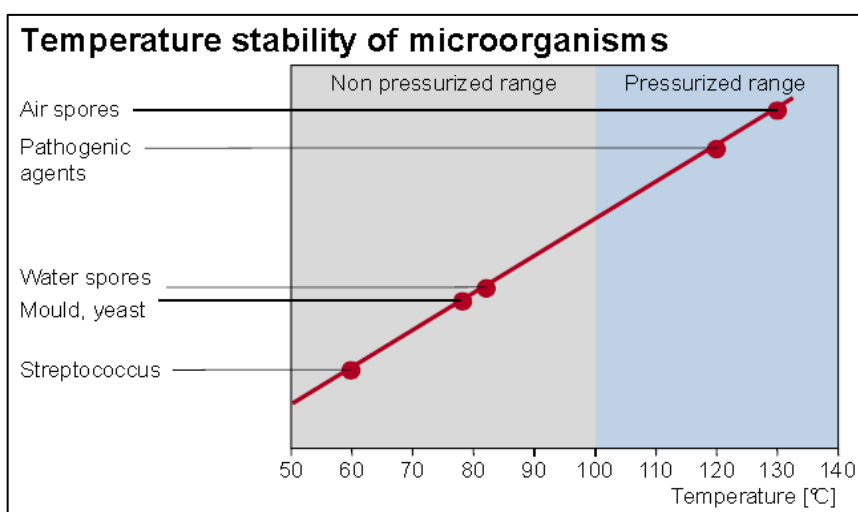


Gráfico 07: Estabilidade dos micro-organismos sob temperatura

Fonte: Dispersion Training – VOITH 2002

Nota¹⁰: é evidenciado no gráfico acima que temperaturas acima de 80°C são letais á maioria dos organismos patogênicos da matéria prima e sobremaneira quando expostos á ambientes pressurizados.

4.4 Dispersão por ação mecânica

O procedimento de utilização de forcas mecânicas (cisalhamento / deformação) sobre as fibras almejava a desagregação e a homogeneização dos contaminantes, principalmente devido à necessidade de fragmentação e diminuição dimensional destes componentes. A dispersão é um tratamento particularmente importante também, na remoção de pintas (tintas de impressão) devida á resistência que certos pigmentos da composição, oferecem ao rompimento de sua ligação com as fibras. (SCHAAN, 1980)

Segundo SERRES e LASCAR (1994) et al., este processo permite cinéticas rápidas de transferência de energia, tanto mecânica, quanto térmica, devido as fricções fibra a fibra promovidas pelos trituradores (*kneaders*). Para que a eficiência na transferência de energia seja completa é indicado se trabalhar com altas consistências da polpa, algo entre 15 a 30%.

Segundo PEPE (2008), equipamentos de dispersão mecânica e suas características de funcionamento podem e devem ser comparados aos princípios utilizados na refinação, porem as condições impostas as fibras são menos severas que no refino convencional. No caso da dispersão, deseja-se apenas atrito entre as fibras, possibilitando que os contaminantes se desprendam com maior facilidade e não causando cortes ou fraturas na estrutura principal.

Basicamente, existem dois tipo de tecnologias de dispersão, as de alta velocidade, (50 a 100 m/s de velocidade periférica) e de baixas velocidade (7 a 15 m/s) no eixo. (PEPE, 2008)

Segue figura de exemplo de dispersor tipo *Kneader* utilizado para realizar o atrito entre fibras e provocar o desprendimento de partículas indesejadas e dispersa-las:



Figura 32: Triturador / Amassador de fibras (Kneader)

Fonte: Seminário Dispersão – GLV – Março 2001

O gráfico abaixo demonstra a eficiência do tratamento de dispersão sobre pintas e manchas no papel, com melhoria expressiva na qualidade final do produto:

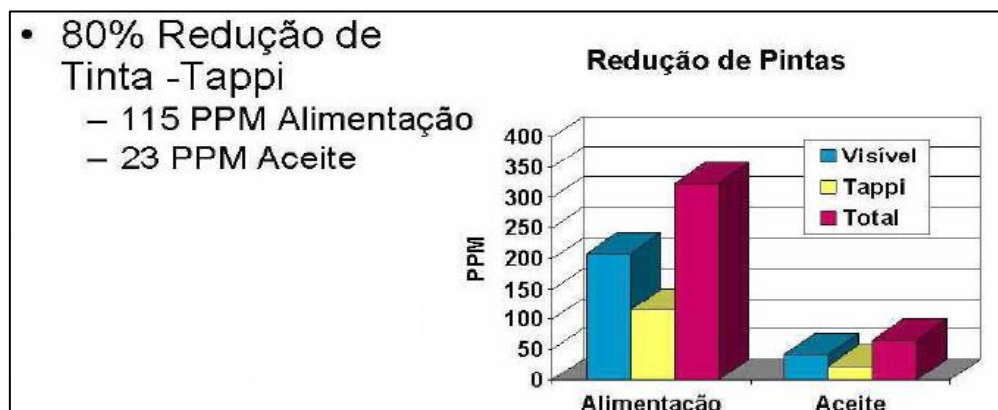


Gráfico 8: Eficiência na redução de pintas

Fonte: Seminário Dispersão – GLV – Março 2001

4.4.1 Dispersão em alta velocidade

Segundo PEPE (2008), sistemas de dispersão em altas velocidades promovem um choque mecânico nas fibras de curta duração (de 0,5 a 1 segundo) e, portanto um pequeno volume da porção total é submetido a um alto grau de cisalhamento. As fibras e as impurezas

são lançadas contra as paredes do equipamento e o impacto entre elas promove a dispersão. Geralmente são utilizados discos, com configurações parecidas com os de refino de pastas de alto rendimento (conjunto composto por discos e pinos estáticos e rotativos) ou como os discos de equipamentos despastilhadores. Estes sistemas podem oferecer vantagens, sobretudo na questão de controle de energia aplicada através da variação da consistência de entrada e principalmente pelo afastamento axial entre os discos.

A faixa de velocidade indicada para este tipo de tratamento é de 1000 a 3000 RPM, porém normalmente estes equipamentos trabalham em faixas de 1200 a 1800 RPM. (KUMAR e FABRY,2007 et al.).

A polpa é introduzida pelo centro, entre os discos, as forças radiais internas fazem com esta, entre em contato com as extremidades do estator e rotor (denominação para o disco estacionário e disco rotativo). O contato com o rotor acelera o movimento interno da polpa, enquanto que o contato com o estator a desacelera. Estes impactos gerados pelo diferencial de velocidade resultam no cisalhamento entre fibras e a dispersão (KUMAR e FABRY 2007 et al.).

Tipos de configurações de discos são comumente utilizados (KUMAR e FABRY 2007 et al.):

- Discos com dentes entrelaçados e formato piramidal (a polpa é introduzida radialmente e forçada a passar pelos canais entre os dentes opostos).
- Discos com barras finas ou grossas (a polpa é introduzida na zona de cisalhamento, entre rotor e estator).
- Discos de construção cônica (a polpa é introduzida entre o rotor e estator com menor força centrífuga, entretanto, o fluxo é mais uniforme e a força de cisalhamento mais distribuída, já que a área de tratamento é maior).
- Sistemas com discos múltiplos (a área de tratamento e dispersão é maior em relação aos outros tipos, porém o controle das aberturas entre discos é bastante complexo).

Exemplos de modelos e fabricantes de dispersão em alta velocidade: *Asplund Defibrator*, *Sunds-Defibrator*, *Beloit*, *Krima Cell-Wood*, *Andritz-Sprout-Bauer*, *Kvaerner-Hymac*, *Voith-Sulzer*, *Krima-Cellwwod*. OBS: alguns fabricantes acima citados, foram adquiridos por outras empresas, ou simplesmente encerraram as atividades.

Figura abaixo, exemplo típico de equipamento de dispersão de discos para alta velocidade:

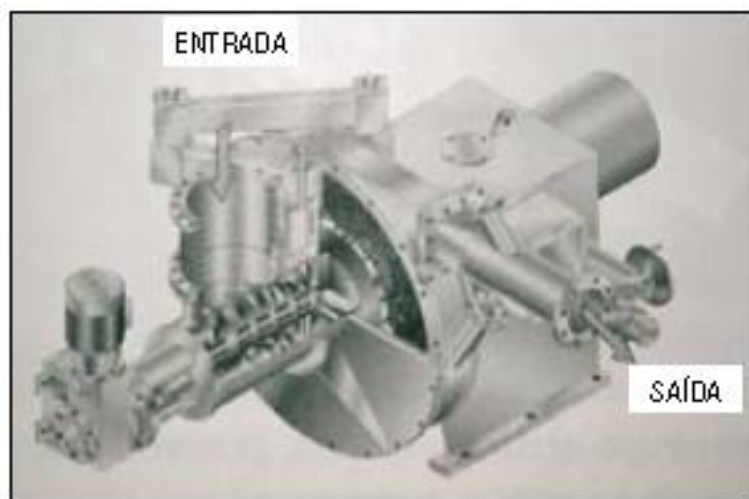


Figura 33: Dispersor de alta velocidade

Fonte: Revista NOSSO PAPEL , 2008

4.4.2 Dispersão em baixa velocidade

Segundo PEPE (2008), sistemas de baixa velocidade promovem choque mecânico longo (1 a 2 minutos) na polpa e podem atingir grande parte da porção / volume total que passa por ele. A diferença principal é que ação cisalhante e de menor intensidade em comparação a sistemas de alta velocidade. Consistem basicamente de rotores horizontais de eixo único ou duplo, martelos estacionários, e roscas de alimentação, ambos desenvolvidos especialmente para esta aplicação. O controle da energia aplicada é feito pela velocidade do triturador e tempo de retenção e descarga. Sistemas como estes são mais utilizados quando se requer a dispersão também aliada a elevação de temperatura (dispersão á quente).

Sistemas de dispersão de baixa velocidade trabalham com rotações entre 100 a 200 RPM, com raras exceções de valores superiores. A polpa por sua vez, se move a uma velocidade relativamente baixa dentro do equipamento, porem com diferenças internas relacionadas ao fluxo preferencial. A polpa que está mais próxima ao rotor se move mais rapidamente que a polpa que está próxima aos “martelos” estacionários, esta diferença de velocidade auxilia no efeito mecânico de cisalhamento e promove a dispersão. Em caso de

rotores de eixo duplo que giram em direções opostas o efeito de cisalhamento e fricção é ainda maior. (KUMAR e FABRY,2007 et.AL).

Existem ainda (poucos equipamentos instalados) dispersores com 03 cilindros e 3 eixos independentes. Na primeira metade dos cilindros existe uma rosca de compactação e na segunda metade, martelos trituradores (kneaders). A principal diferença deste tipo de dispersor em relação aos convencionais é a presença da zona de desaguamento nos dois primeiros cilindros. Estas áreas permitem a drenagem do conteúdo de água residual, porem é importante salientar que podem causar a elevação da consistência em até 10% na saída da polpa. Outra característica interessante deste tipo de equipamento é que devido ao alto tempo de residência e conseqüentemente, alto teor de cisalhamento entre fibras, pode elevar a temperatura da polpa á valores “incríveis” entre 50 e 90°C e podendo assim dispensar a adição de vapor na dispersão. (KUMAR e FABRY,2007 et.AL).

Abaixo na figura , exemplo típico de equipamento de dispersão de eixo único e de baixa velocidade:

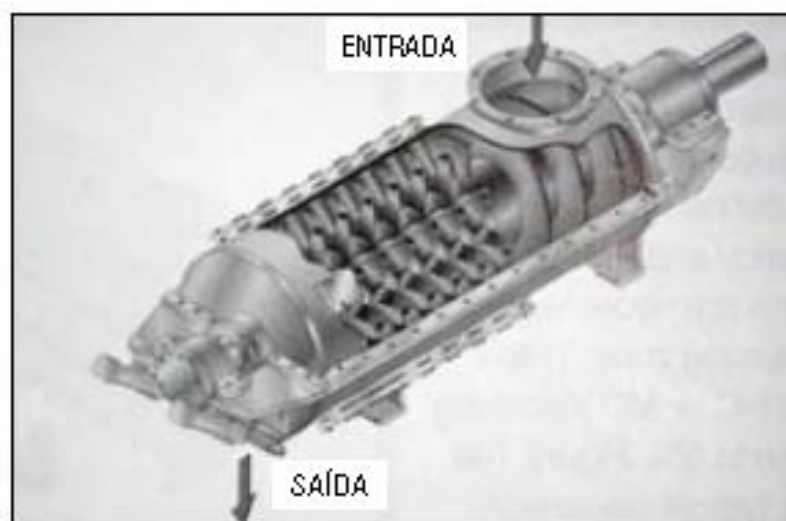


Figura 34: Dispersor de baixa velocidade

Fonte: Revista NOSSO PAPEL ,2008

Exemplos de modelos e fabricantes de dispersão em baixa velocidade e eixo único: *Erwepa, Voith-Sulzer, Lamort-Fiberpreo, Maule*. Exemplos de fabricantes e modelos de eixo duplo: *Shinhama, Modomekan-Ahlstron-Kamyra, Micar-Black-Clawson*. OBS: alguns fabricantes acima citados, foram adquiridos por outras empresas, ou simplesmente encerraram as atividades.

A seguir tabela-resumo de um comparativo entre sistemas de dispersão de baixa e alta velocidade, conforme detalhamento acima:

	Sistema baixa velocidade	Sistema alta velocidade
Volume processado	Alto	Baixo
Período de tratamento	Longo	Curto
Força de cisalhamento	Média	Alta
Controle fino de energia aplicada (cisalhamento)	Pouco eficaz	Bastante eficaz
Utilização de vapor	Muito utilizado	Pouco utilizado

Quadro 7: Comparativo Dispersão em alta e baixa velocidades

4.5 Dispersão á quente

Sistemas de dispersão com utilização de vapor saturado para elevação da temperatura são bastante eficazes no tratamento de partículas residuais e pintas que não foram destacadas das fibras na desagregação e depuração. A ascensão da temperatura diminui a viscosidade intrínseca de componentes indesejados (ceras, resinas, colas etc.) assim como a sua tenacidade e resistência interna, deste modo facilita o seu descolamento junto à parede fibrosa durante as posteriores etapas de tratamento mecânico. (SCHAAN, 1980).

As pressões de vapor utilizadas e conseqüentemente os valores de temperatura que a polpa deve ser submetida, podem variar em função dos requisitos e especificações do produto final, com escalas de operação bastante amplas. Valores entre 90 e 120° C podem ser encontrados. (MACKINNEY,1999)

As sujidades são dispersas afim de não mais serem visualizadas a olho nu e por conseqüência não prejudicarem o aspecto final do papel (OBS: partículas menores que 40 a 60 µm, não podem ser visualizadas e identificadas pelo olho humano).

Segue abaixo esquema simplificado de um sistema de dispersão tipo *Kneader* (sistema de baixa velocidade) com rosca e triturador no mesmo eixo¹¹:

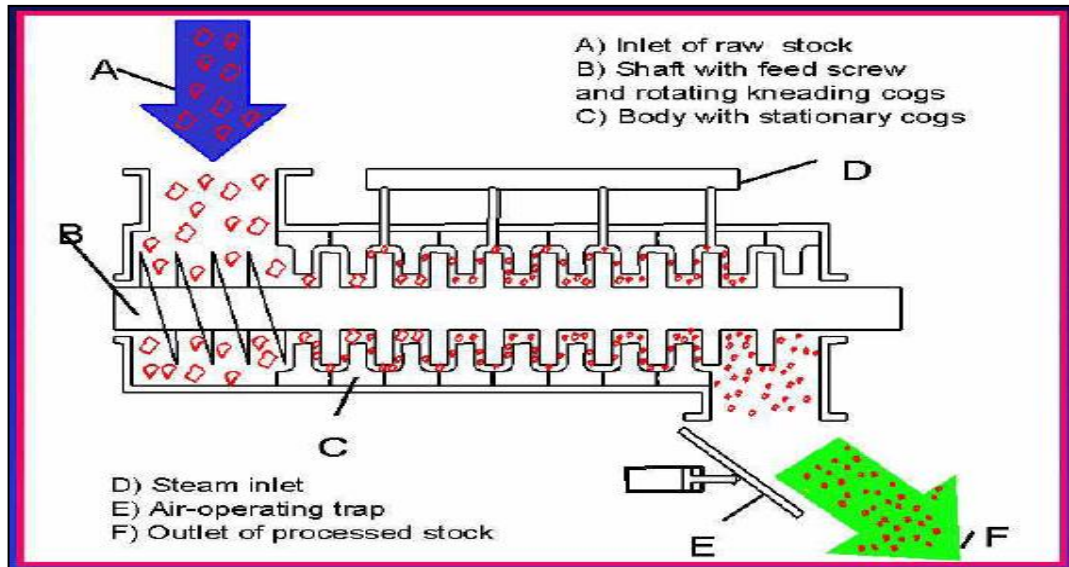


Figura 35: Dispersor á quente

Fonte: Treinamento ABTCP / Kadant 2004

Resumo¹¹:

A massa fibrosa é introduzida em **A**, é compactada e transportada através da rosca de eixo único **B** á câmara pressurizada **C**. Na câmara pressurizada é liberado vapor saturado sobre a massa em **D** para elevação da temperatura. Os martelos estacionários **C**, juntamente com martelos rotativos atritam a massa entre si e promovem a dispersão. (SERRES e LASCAR, 1994 et al.).

Segundo SERRES e LASCAR, (1994) et al., somente esta energia de fricção entre fibras, pode elevar a temperatura da polpa em valores próximos á 30°C .

Em seguida polpa tratada é enviada á câmara de descarga temporizada **E**, e é liberada para etapa de depuração subsequente (nesta seção pode-se controlar a energia mecânica aplicada á polpa fibrosa, aumentando ou diminuindo o tempo de retenção da mesma no equipamento).

Nos gráficos abaixo se pode verificar que temperaturas mais elevadas podem beneficiar os efeitos de forcas mecânicas promovidas entre fibras (*kneading*) e a efetiva dispersão de contaminantes indesejados no papel. Compreende-se que a eficiência do sistema é diretamente proporcional á quantidade de energia termomecânica aplicada no processo:

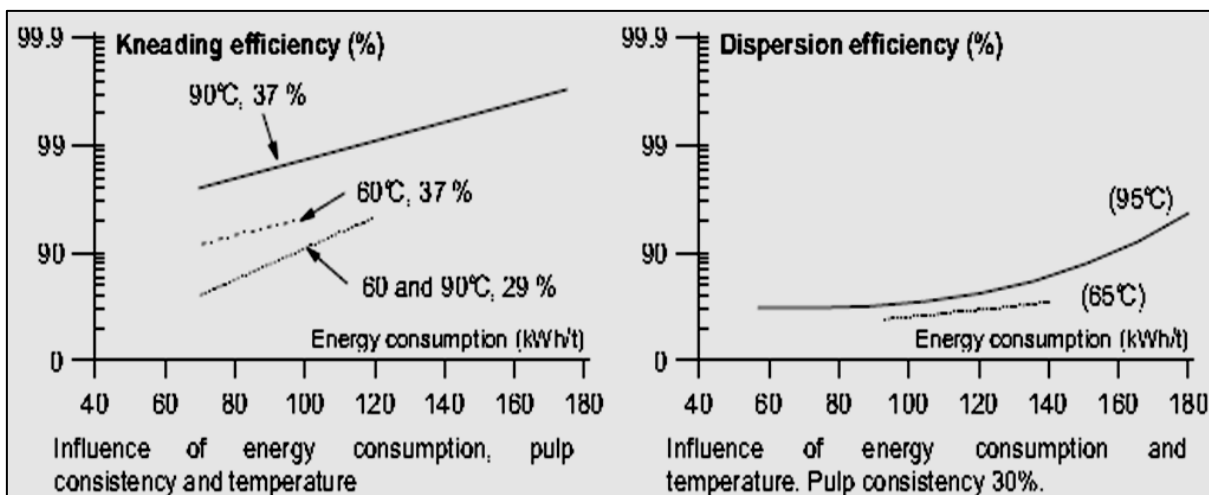


Gráfico 09: Eficiência da dispersão mecânica

Fonte: Past, present and future of dispersion and kneading - KUMAR e FABRY- 2007 et al.

4.5.1 Principais variáveis do processo termomecânico (dispersão á quente)

Assim como a grande maioria dos equipamentos de depuração anteriormente citados, sistemas de dispersão á quente podem ter sua eficiência afetada em função de alguns fatores: (SERRES e LASCAR, 1994 et al.)

- Matéria-prima: teor de umidade e teor de sujidade podem influenciar positivamente ou negativamente na eficiência de dispersão
- Temperatura: pressão de vapor deve ser constante e adequada ao tipo de matéria prima processada.
- Produtividade: velocidade das roscas e marteletes deve ser controlada em função da necessidade de produção, contanto que não afetem a qualidade de dispersão.
- Energia mecânica aplicada: a regulagem da folga entre rosca cone fundido (câmara primária) é fundamental na compactação da massa e conseqüentemente preparação para elevação de temperatura.

4.6 Teorias sobre a utilização do equipamento

Equipamentos de dispersão á quente, como citado anteriormente, tem como função principal, o auxílio na “eliminação” de contaminantes da polpa oriundas de aparas, as fábricas que o utilizam, visam características de depuração neste equipamento e que comprovadamente podem trazer bons resultados.

Segundo MANFREDI, 2011, a única etapa do preparo de massa que modifica as propriedades das fibras e conseqüentemente da polpa é a Refinação, entretanto, pode-se dizer que a utilização de sistemas de dispersão e suas ações termomecânicas também podem trazer modificações ás fibras, conforme abordado abaixo.

A elevação da temperatura da polpa nos valores necessários á dispersão podem promover o recozimento das fibras dentro do equipamento, tal efeito pode causar uma ligeira degradação de partículas orgânicas de fácil dissolução, como as **hemiceluloses**, que podem separar-se efetivamente das fibras e permanecerem dissolvidas junto à massa fibrosa. (ABTCP s.d.)*. As **hemiceluloses**, por sua natureza amorfa (estrutura molecular irregular), são facilmente penetradas pelo vapor d’água e por conseqüência, tem a suas características físico-químicas modificadas. (GIERTZ, 1989). Nestes casos existiria um decréscimo nos valores de resistência, dependendo do grau de elevação da temperatura de dispersão.

Segundo MAGATON (2011), as **hemiceluloses** são desejáveis para produção de papel, por:

- São hidrofílicas, facilitam o refino da polpa, servindo como lubrificante natural.
- Melhoram resistências e testes físicos, que dependem das ligações entre fibras.

Em contrapartida, tais equipamentos, com seus trituradores ou amassadores rotativos (*kneaders*) também promovem cisalhamento mecânico ás fibras, um tratamento parecido ao promovido pelos refinadores convencionais. Esta ação “expõe” a parede das fibras, aumentando a capacidade de ligação e colapsamento entre elas. Esta característica pode facilitar a elevação do grau de moagem/refinação numa etapa seguinte e por conseqüência recuperar os pontos “perdidos” de resistência. (GLV, 2001)

* Fonte: DISSOLUÇÃO DE APARAS. *Tratamento de aparas de papéis diversificados e não classificados, com componentes betuminosos e plastificados, resistentes à umidade* [S.I.,s.d.]. Disponível em: [http://www.abtcp.org.br/Acervo técnico](http://www.abtcp.org.br/Acervo_técnico).

O gráfico abaixo demonstra o incremento de alguns testes físicos em diversas etapas do processo de dispersão, afirmando assim, possibilidade de ganhos com sua utilização¹²:

Obs.: como mencionado acima, a principal característica deste equipamento é sua função de depuração de componentes indesejados ao processo, portanto ganhos á qualidade do papel (com incremento de propriedades mecânicas) são pouco utilizados como *benchmarking* e ainda podem ter dependência direta com o tipo de utilização e algumas características únicas do tipo de fibras em processo.

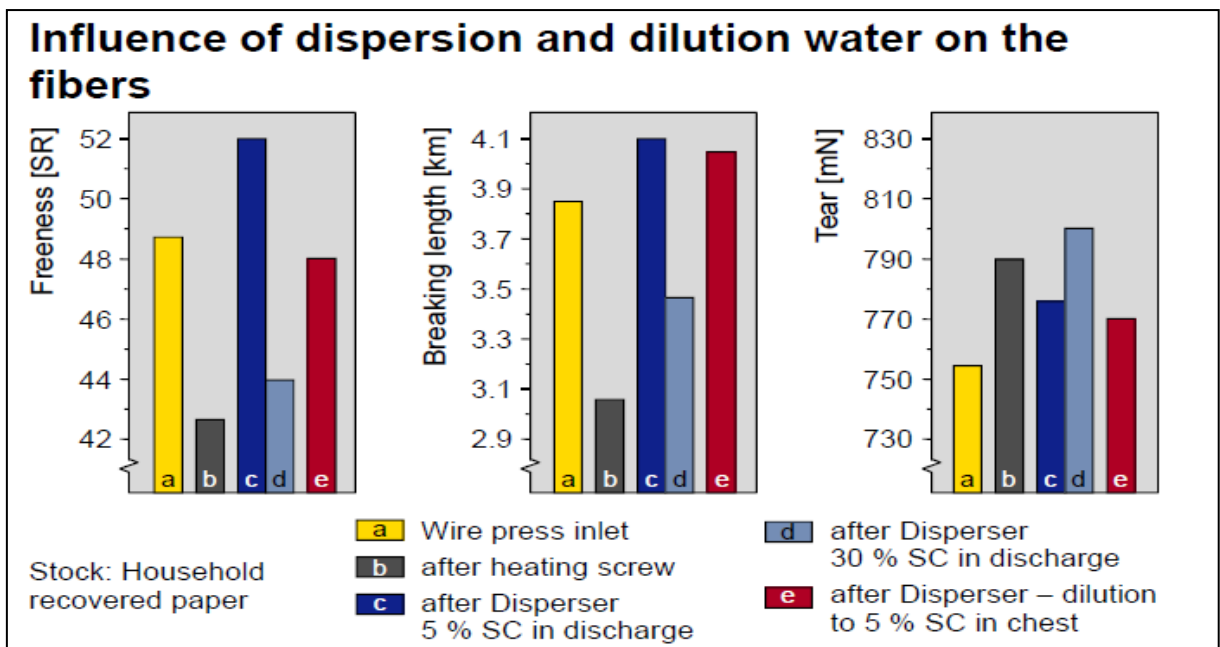


Gráfico 10: Efeitos da dispersão nas propriedades das fibras

Fonte: *Dispersion Training* – VOITH 2002

Nota¹²: nos gráficos acima são comparadas propriedades físicas de grau de refino/moagem (*Freeness*), resistência á tração e alongamento (*Breaking lenght*) e rasgo (*Tear*) em diversas etapas do processo de dispersão: na entrada, após rosca aquecedora, depois da dispersão mecânica a 5% C e 30% C e na posterior diluição.

4.7 Efeitos indesejáveis da dispersão

Os dispersores (kneaders) por sua própria condição de operação e funcionalidade, para serem eficientes, tem de promover tratamentos agressivos às fibras, sejam na zona de compactação e elevação de consistência, seja na adição de vapor para aquecimento, seja dentro de rotores amassadores / trituradores ou discos. Entretanto apesar de severas descargas de energia empregadas a estrutura das fibras, não se deseja que elas decrementem sua integridade e por consequência, sua resistência mecânica (resistência ao rasgo, rigidez) ou mesmo outras características físico-químicas (absorção e adsorção de água, permeabilidade, viscosidade etc.) do seu estado original. O ideal neste tratamento é o desejado grau de “limpeza” com a manutenção das características naturais das fibras (é claro que melhorias nas propriedades das fibras são bemvindas).

Segundo GOMIDE (2011), o processo de aumento de temperatura, a níveis que promovam o cozimento da fibra, pode causar uma ligeira degradação estrutural e conseqüentemente diminuem a viscosidade intrínseca e resistência das fibras.

Segue abaixo gráfico que demonstra a relação entre viscosidade intrínseca e resistência das fibras (exemplo de fibras extraídas de madeira de Pinus)¹³:

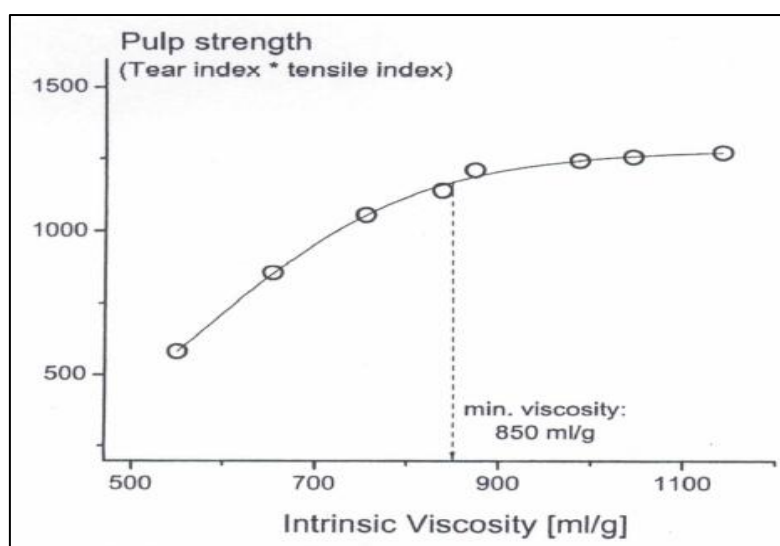


Gráfico 11: Viscosidade das fibras x Resistência

Fonte: Tecnologia celulose GOMIDE / ABTCP 2011

Nota¹³: quanto maior a viscosidade da polpa, maior a sua resistência á tensão / rasgo.

No gráfico abaixo o mesmo efeito do decremento da resistência (ex: resistência á tensão), em função da elevação da temperatura:

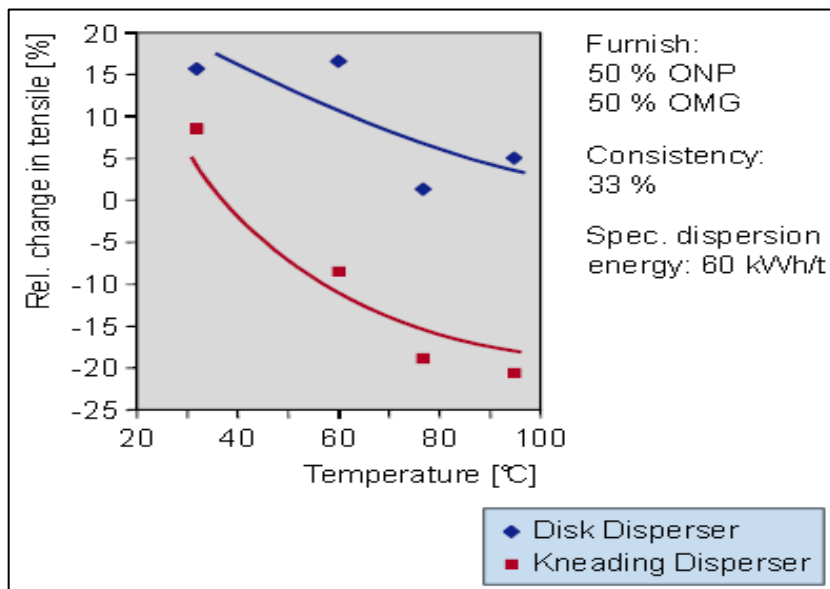


Gráfico 12: Resistência á tração x Aumento da temperatura

Fonte: *Dispersion Training* – VOITH 2002

O mesmo efeito negativo pode ser gerado durante o processo de dispersão por ação mecânica (nos *Kneaders*) que não devem cortar as fibras ao ponto de afetarem a sua constituição estrutural (em condições normais e sugeridas pelos fabricantes, este processo até melhora algumas propriedades mecânicas das fibras, conforme relatado abaixo). (MACKINNEY, 1999)

O principal ponto a ser considerado é que, um processo de dispersão com trituradores agressivos e elevação da temperatura (dispersão á quente), deve ser projetado e concebido em função das necessidades do usuário, tipo de matéria-prima ou aplicação do produto final e mais, o ajuste da aplicação de energia sobre as fibras deve considerar todos os fatores citados acima. (MACKINNEY, 1999)

4.8 Comparativos dos efeitos causados as propriedade das fibras após dispersão – dispersores de alta e baixa velocidade

Como já citado acima, tratamentos de dispersão e trituramento das fibras, podem causar impactos sobre as propriedades da fibra (positivos e negativos) e podem ser comparados mais evidentemente pelos dois tipos de dispersão abordados anteriormente: dispersão em baixa velocidade, através de trituradores de eixo único ou duplo e dispersão em alta velocidade, através de dispositivos de discos e placas. (KUMAR e FABRY , 2007 et al.)

A tabela abaixo explica melhor as diferenças entre os dois sistemas e cita algumas propriedade modificadas entes de depois da dispersão (grau de refino=*Freeness*, volume especifico=*Bulk* e tração e alongamento=*breaking lenght*):

	Single shaft kneading		High-speed dispersion	
	Before kneading	After kneading	Before dispersion	After dispersion
Freeness (CSF, ml)	177	172	145	97
Bulk (cm ³ / g)	1.92	2.02	1.9	1.8
Breaking length (km)	3.18	2.87	3.8	3.93

Tabela 03: Alterações das propriedades das fibras

Fonte: *Past, present and future of dispersion and kneading* - KUMAR e FABRY- 2007 et al.

Segundo KUMAR e FABRY (2007) et al., os dispersores de alta velocidade podem produzir polpa com melhores propriedade fibrosas, enquanto que dispersores de baixa velocidade, são recomendados para ganhos relacionados ao aumento do volume específico – *Bulk*.

4.9 Indicadores de eficiência

A maneira mais facil e mais utilizada de evidenciar a eficiência de equipamentos de tratamento termomecânicos, como os dispersores, é considerar a energia especifica consumida por unidade de polpa processada - KWh/ton. para o caso de consumo de energia elétrica e Ton. Vapor / ton. para o caso de consumo de vapor. Para o caso de consumo de energia,

variáveis como velocidade dos discos/trituradores e distancia de aproximação de rotores e estatores são relevantes. Para consumo de vapor, pressão de trabalho e tempo de residência da polpa, devem ser consideraodos.

Seguem abaixo exemplos de equações simples de caracterização de consumo energético x produtividade: (KUMAR e FABRY- 2007 et al.)

Equações:

$$E_m = E_e/M$$

Onde:

- E_m = energia especifica consumida em KWh/ton.
- E_e = energia especifica consumida em KWh/ton.
- M = polpa tratada em Ton.

$$E_v = E_v/M$$

Onde:

- E_v = energia térmica consumida em Ton.- vapor/ton.
- E_e = energia especifica consumida em Ton. - vapor/h.
- M = polpa tratada em ton.

4.10 Componentes principais dos equipamentos de dispersão de contaminantes¹⁴

O equipamento detalhado a seguir (e utilizado como exemplo) se trata de um dispersor de baixa velocidade, pressurizado, com rosca de compactação, rosca de aquecimento (sistema de adição de vapor), triturador de eixo único horizontal (*kneader*) com marteletes rotativos e câmara pressurizada de descarga.

4.10.1 Rosca transportadora

Este equipamento na realidade não faz parte do conjunto de dispersão á quente, pois é instalado ao lado do mesmo, como equipamento transportador. Entretanto não é acessório e sim tão imprescindível quanto todos os outros, pois é responsável pelo transporte de toda a massa fibrosa já engrossada na consistência necessária ao 1º estágio de tratamento e dispersão á quente , a rosca alimentadora.

Segue figura do componente abaixo:



Figura 36: Rosca transportadora

Fonte: Papyrus Ind. Papel S/A

4.10.2 Rosca alimentadora

Rosca helicoidal de ferro fundido maciço de construção cônica movida por motor elétrico. Promove o 1º choque nas fibras, comprimindo mecanicamente e polpa contra o tubo cônico bipartido. Esta etapa tem a função de compactação da massa em preparação para o tratamento térmico. Muito importante nesta etapa é a folga entre o elemento rotativo (rosca fundida) e a parede interna do elemento estático (cone bipartido), já que podem influenciar na força exercida ás fibras e conseqüentemente na vazão/volume necessários ao próximo estágio, o tratamento térmico (rosca aquecedora). A taxa e eficiência de troca de calor entre vapor saturado e fibras também pode ser influenciado pela falta ou excesso de compactação desta etapa. Segundo VOITH (1971), os valores de folga entre as partes devem ficar entre 10 e 12

mm, acima disto, se não houver possibilidade de ajustes axiais, exige-se a substituição das peças desgastadas.

Sequem figuras com componentes abaixo:

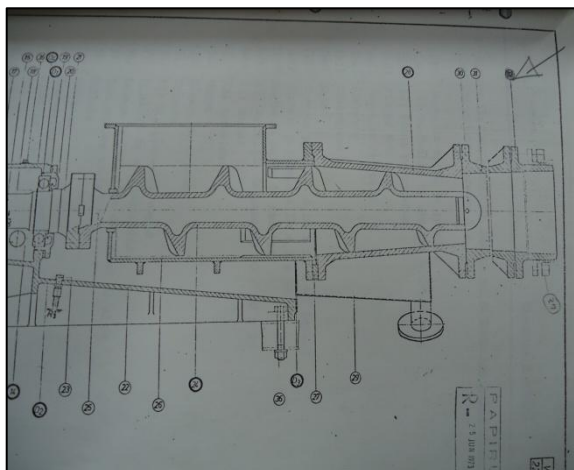


Figura 37: Projeto esquemático equipamento –
Rosca alimentadora

Fonte: manual VOITH 1970



Figura 38: Rosca alimentadora

Fonte: Papyrus Ind. Papel S/A

4.10.3 Rosca de aquecimento

Rosca helicoidal em aço carbono movida por motor elétrico, trabalhando internamente á uma câmara pressurizada. Promove o 2º choque das fibras, expondo a massa fibrosa á pressão e altas temperaturas – em contato direto com o vapor saturado. Esta etapa tem a

função de realizar “cozimento” nas partículas indesejáveis ao processo por meio de troca térmica e dispersão. O calor exerce energia necessária para facilitar que os contaminantes se deprendam com maior facilidade da parede externa das fibras e possam se dissipar ao meio de todo o volume de massa. O vapor é inserido na câmara de entrada e transvazado até a câmara da rosca. Pressões de até 3,5kgf/cm² e temperaturas de 120C° podem ser utilizadas. Esta etapa consome boa parte do tempo de residência interno das fibras no equipamento e é considerada a mais importante delas.

Seguem figuras dos componentes abaixo:

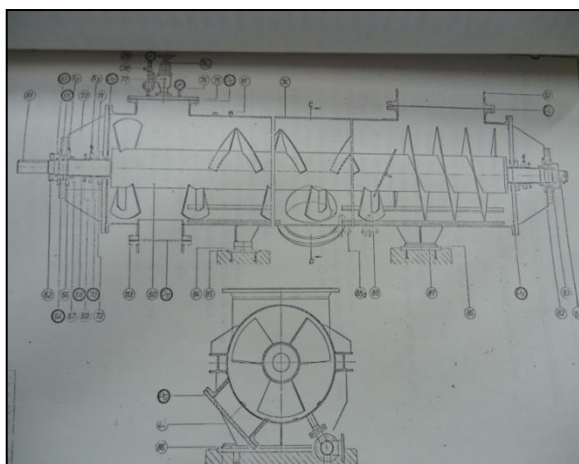


Figura 39: Projeto esquemático equipamento –
Rosca aquecimento

Fonte: manual VOITH 1970



Figura 40: Rosca de aquecimento

Fonte: Papyrus Ind. Papel S/A

4.10.4 Desfibrador/triturador de eixo único (*kneader*)

Conjunto mecânico rotativo movido por motor elétrico de alta potencia. Em sua composição existem os pinos e palhetas (estator e rotor respectivamente), estes componentes em operação, trituram / amassam a sujidade residual juntamente com as fibras e as liberam para a câmara de descarga. Também nesta etapa, o equipamento promove a maior ação mecânica á massa fibrosa, onde as fibras em atrito severo entre si podem alterar suas propriedades físicas (capacidade de ligação, desfibrilamento etc.) em um efeito parecido ao de refinação. Nesta etapa o efeito de dispersão é altamente potencializado, devido ás forcas de cisalhamento, onde as fibras se movem em diferentes velocidades dentro do corpo cilindro e provocam o “descolamento” dos contaminantes indesejados das fibras. Esta etapa promove o 3º e ultimo choque nas fibras.

Seguem figuras dos componentes abaixo:

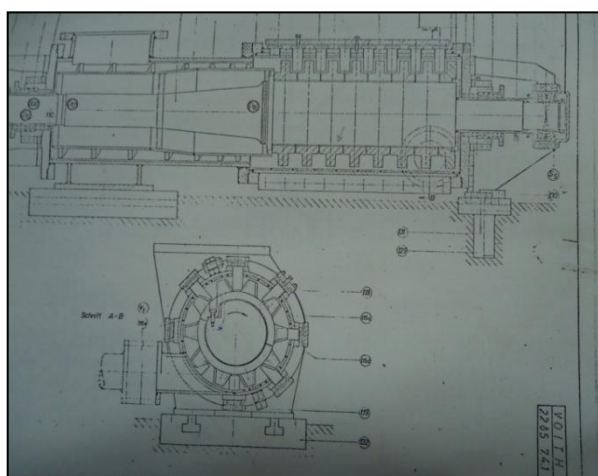


Figura 41: Projeto equipamento – Triturador (*kneader*)

Fonte: manual VOITH 1971



Figura 42: Triturador

Fonte: Papyrus Ind. Papel S/A

4.10.5 Câmara de descarga

Compartimento alocado subsequentemente ao desfibrador / triturador de eixo único e responsável pela descarga da polpa já processada. Esta câmara é responsável pelo estanque do sistema, aonde a massa fibrosa já processada vai sendo liberada gradualmente ao aceite controla por válvula pneumática temporizada.

Seguem figuras dos componentes abaixo:

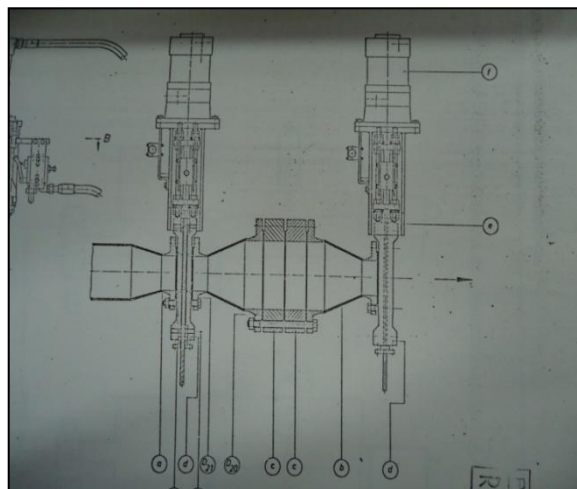


Figura 43: Projeto equipamento – Câmara de descarga

Fonte: manual VOITH 1970



Figura 44: Câmara de descarga

Fonte: Papyrus Ind. Papel S/A

Nota¹⁴: O detalhamento e textualização dos itens abaixo (4.9.1 á 4.9.5) foram elaborados com base no equipamento instalado na planta da PAPIRUS INDÚSTRIA DE PAPEL S/A e, portanto na vivencia pragmática do próprio autor desta pesquisa, como colaborador ativo da mesma empresa. Alguns dados específicos do equipamento foram extraídos do próprio manual do fabricante. (VOITH,1971).

4.11 Requisitos e equipamentos necessários á operação¹⁵

Devido á necessidade da compactação da polpa a altas consistências (30^a 35% C como já tido anteriormente), como garantia da completa eficiência de dispersão, se faz necessário a instalação de equipamentos engrossadores, tipo filtros ou prensas desaguadoras na alimentação da polpa de entrada. Usualmente equipamentos como estes podem elevar a consistência de 5 para 35%C, transformando a polpa fibrosa em placas ou mantas espessas e recuperando grande parte da água retirada. Em um a sequencia de instalação, este equipamento ficaria na alimentação da rosca transportadora, levando a massa fibrosa á rosca alimentadora.

Na lógica inversa, é requerido também um equipamento para a diluição desta massa, que novamente deve abaixar a consistência de 30 / 35%C para os padrões normais de processamento 4,5 a 5% C (salvo equipamentos depuração de utilizam alta consistência e

permitem trabalhos com valores maiores). Porém para isso, não é recomendado simplesmente a diluição em um tanque de massa, é necessário misturadores mais potentes que possam homogeneizar toda a polpa há um tempo compatível com as vazões do processo.

Outro requisito importante é a necessidade de utilização de vapor saturado para o aquecimento da polpa e dispersão de contaminantes. Geralmente fábricas de papel não são autossuficientes em disponibilidade energética com as fábricas de celulose e, portanto a elevação do consumo de vapor e a disponibilidade deste com o equipamento disponível (caldeiras) devem ser dimensionadas coerentemente na fase de instalação e projeto.

- Consistência: > 30% C
- Temperatura: 90 a 120 ° C
- Consumo específico de energia elétrica: 30 a 50 Kwh/t
- Consumo específico de vapor: 2,5 m³ vapor / ton. papel (média)

Nota ¹⁵: Requisitos do equipamento quando utilizando aparas mistas. Dados extraídos do manual de operação e manutenção VOITH (1971).

4.12 Novas tecnologias de dispersão

Existem no mercado atual novas tecnologias em equipamentos de dispersão, com o auxílio de aumento de consistência e temperatura, obviamente com avanços em produtividade e qualidade. Alguns dos mais modernos equipamentos de dispersão utilizam discos fundidos com ligas especiais ao invés de trituradores ou amassadores (*kneaders*), e nestes casos os fabricantes evidenciam melhorias no processo (entretanto, é válido salientar que os trituradores de baixa velocidade ainda são fabricados, porém em menor escala). (VOITH, 2002)

Diferente dos sistemas mais antigos atualmente existe uma gama de configurações de equipamentos, cada um, adequado a um tipo de matéria-prima a ser processada e cada um apresenta vantagens e desvantagens sobre suas funções.

Sistemas não pressurizados utilizam apenas o atrito mecânico como princípio de funcionamento (o incremento da temperatura também ocorre, porém em menor proporção e

gerado apenas pelo atrito entre fibras) e são indicados a matérias-primas mais nobres com menor nível de contaminantes. Equipamentos pressurizados elevam a temperatura de forma “forçada” através da utilização de vapor e são indicados a matérias-primas mais contaminadas e com dificultoso grau de dispersão. (SERRES e LASCAR,1994, et al.)

Nos catálogos de fabricantes destes equipamentos, podemos verificar em leque de melhorias na qualidade final do papel, quando submetidos á dispersão á quente e mecanismos de dispersão mecânico.

Ilustração interna de equipamentos modernos com dispersão de discos e controle de aproximação hidráulico:

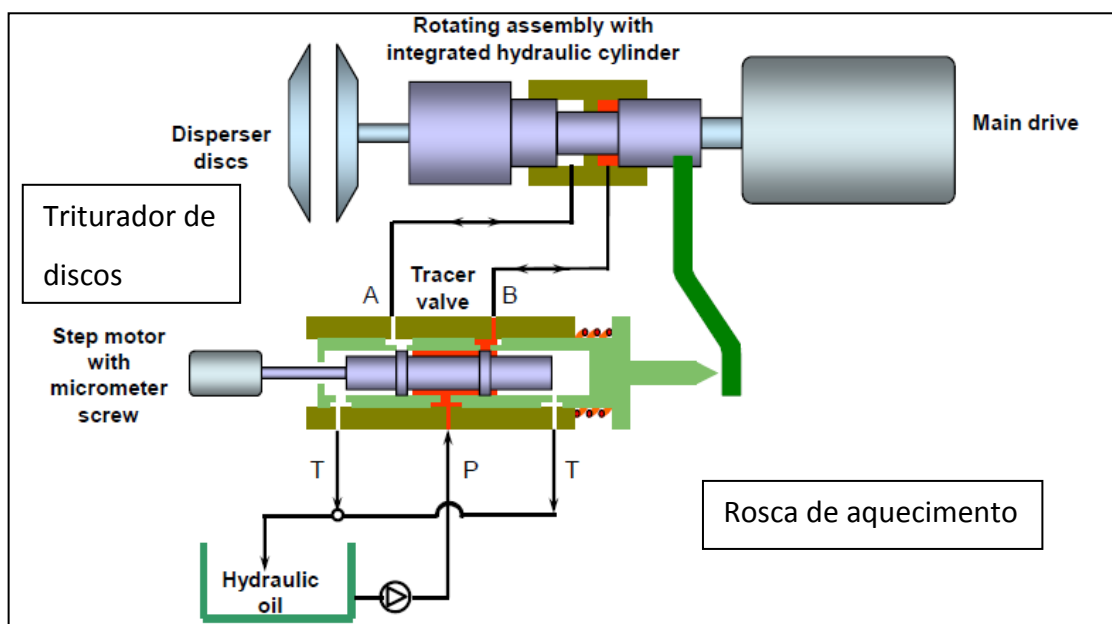


Figura 45: Hydraulic disc disperser

Fonte: Dispersion Training VOITH, 2002

4.12.1 Exemplos de equipamentos existentes (VOITH, 2002).

Dentro da modalidade de equipamentos de dispersão, uma série de fabricantes tem projetos para esta aplicação, alguns priorizam os sistemas de alta velocidade, com placas ou discos rotativos, outros seguem o projeto de baixa velocidade e trituradores lineares (*kneaders*):

A- Fabricante Voith

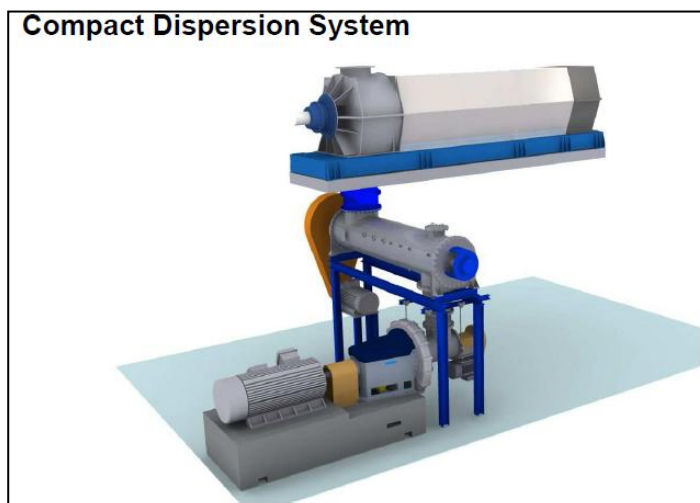


Figura 46: Compact Dispersion System

Fonte: Dispersion Training VOITH 2002

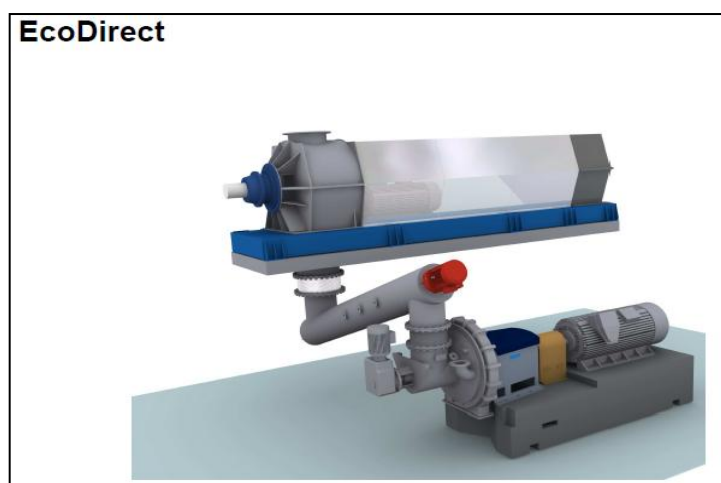


Figura 47: KRD Ecodirect

Fonte: Dispersion Training VOITH 2002

Principais características: sistemas com discos auto-portantes ou apoiados, diferentes configuração de discos (indicados em função da matéria-prima processada), e diversos tamanhos e capacidades.

B- Fabricante Krima

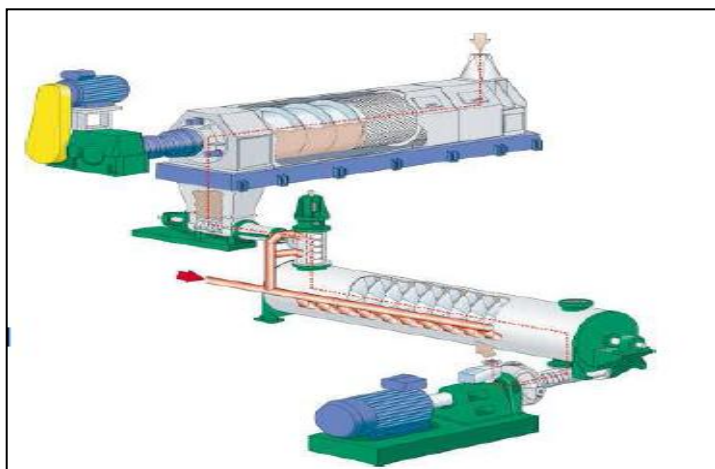


Figura 48: Krima disperser

Fonte: Dispersion Training VOITH 2002

Principais características: Sistema compacto, com adição de vapor direto e facilidade operacional e alta capacidade de produção de até 250 ton./ dia.

C- Fabricante Andritz



Figura 49: CompaDis. disperser

Fonte: Dispersion Training VOITH 2002

Principais características: sistema muito compacto utiliza em uma mesma câmara, alimentador, rosca aquecedora e triturador de discos. Indicado para altas produções.

D- Fabricante Metso



Figura 50: OptiFiner Disperser

Fonte: Dispersion Training VOITH 2002

Principais características: Sistema tradicional de aquecimento, com triturador á discos. Indicado para médias produções devido á rosca de prensagem.

5. Ganhos de processo

Relato de experiência e coleta de dados em caráter exploratório, informal e não experimental de aplicação de equipamento de dispersão, na PAPIRUS INDÚSTRIA DE PAPEL S/A .

O equipamento citado como exemplo acima foi adquirido e instalado junto ao start-up da fábrica, década de 1970 e trabalhou por aproximadamente 20 anos. O foco principal era a depuração e dispersão de contaminantes oriundos de papéis resinados com parafina e hot-melt.

Ao longo do tempo as matérias primas foram mudando, surgiram oportunidades de utilização a partir de fontes mais nobres e menos contaminadas, decidiu-se então na interrupção de operação do equipamento, justificada na época pelo “suposto” alto consumo de vapor necessário á sua operação.

Os anos passaram e novamente o mix de aparas disponíveis no mercado estava em mudança e a necessidade de utilização de produtos mais acessíveis era real. Aliado á isso um fator preponderante aflorou: a qualidade do papel produzido e runability de máquina “sofriam” com o aparecimento de pintas no papel (oriundas de pigmentos de tinta de impressão) e com o desprendimento de partículas pegajosas (stickies) que geravam inúmeras quebras da folha.

A péssima qualidade das aparas, juntamente com um sistema de depuração incapaz de atender á estas novas necessidades, exigiu uma postura estratégica da companhia frente á estas adversidades e novamente a reutilização deste equipamento voltou á tona.

Estudos foram realizados, custos de operação e manutenção x melhorias no processo produtivo. Empresas foram convocadas para estudar o nosso caso, e assim propor novas tecnologias que pudessem satisfazer nossa necessidade sem grandes investimentos e acréscimo de custos operacionais.

Todas foram unânimes na afirmação de que existiam novas tecnologias com capacidade igual ou superior ao tratamento á quente existente, sobretudo com custos de operação inferiores. É válido enaltecer que o investimento inicial era fator decisivo para dirimir esta decisão.

Entretanto a decisão tomada foi de que um equipamento como este, deste porte e capacidade, permanecendo inoperante com uma necessidade emitente de melhorias no processo, seria uma decisão insensata, mesmo com o acréscimo de consumo de energia elétrica e térmica.

A equipe técnica da Papyrus realizou cálculos de consumo de vapor e energia elétrica para levantar o impacto ao custo operacional de produção e a decisão tomada foi o retorno efetivo do desfibramento á quente com já esclarecido aumento de custos operacionais (energia elétrica e vapor). A justificativa foi a evidenciada melhora de qualidade final do produto e andamento de máquina.

A seguir o gráfico comparativo que demonstra a eficiência do equipamento quanto ao andamento de máquina (*machine runabilit*)¹⁶

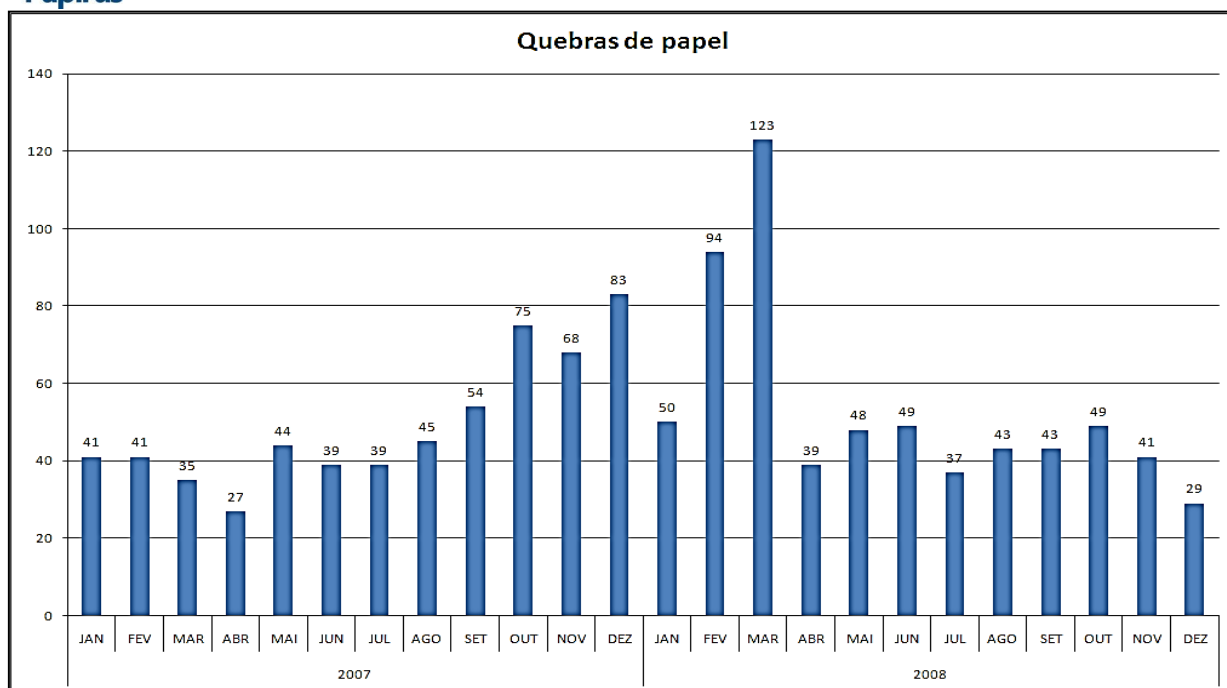


Gráfico 13: Numero de quebras 2007 x 2008

Fonte: Papyrus Ind. Papel S/A

Nota¹⁶: o sistema de dispersão á quente foi religado a partir no mês Abril de 2008 (a diminuição no numero de quebras ficou evidente a partir desta data).

O próximo gráfico refere-se á perdas de produção, relativas a desvio para 2º qualidade, comparando um período entre 2007 e 2008 (período em que o sistema de dispersão foi religado)¹⁷:

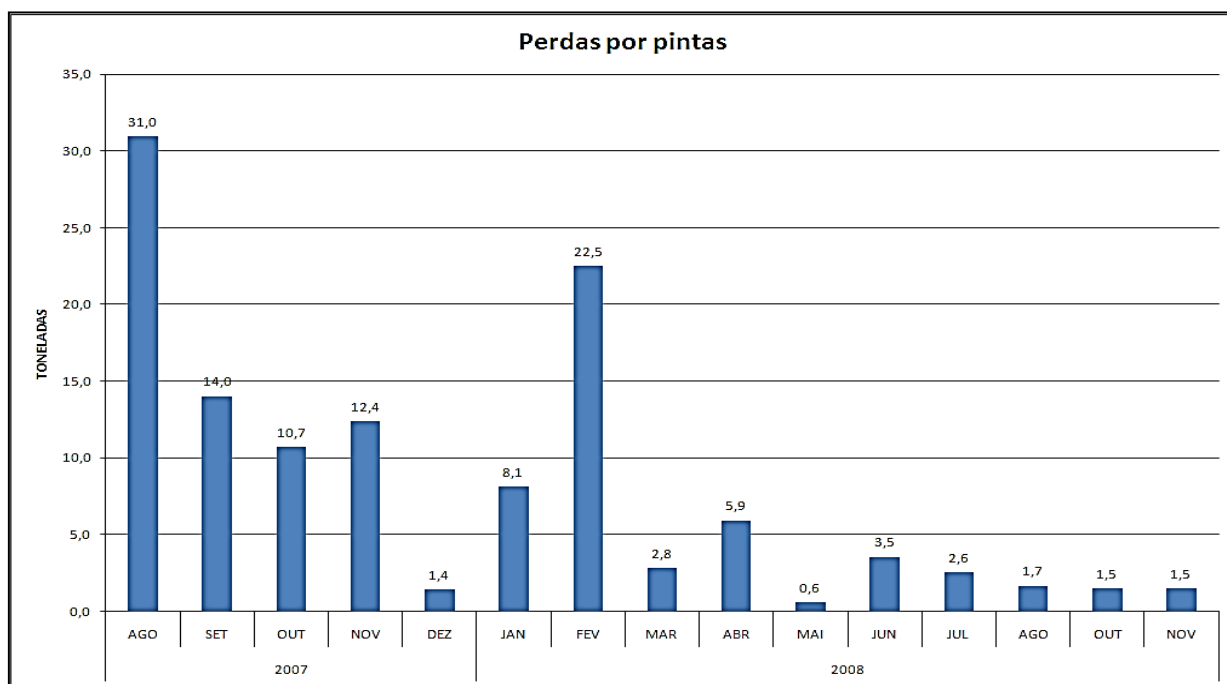


Gráfico 14: Perdas por pintas - 2007 x 2008

Fonte: Papyrus Ind. Papel S/A

Nota¹⁷: a diminuição das perdas para 2º qualidade, originadas por incidência de **pintas e manchas**, também diminuiu consideravelmente.

OBS: todas as informações acima descritas, que tratam de dados de fábrica e de processo, foram devidamente autorizadas pela empresa em questão.

5.1 Dados de operação do equipamento Papyrus

Informações coletas de manuais do equipamento e dados de projeto:

Capacidade Prod.	Ton. seca adt / 24 h	120 ton.
Consumo de vapor	Ton. vapor / ton. seca adt.	2,5
Pressão máxima de trabalho	Kgf/cm ²	5
Temperatura Vapor Saturado	C° Max.	150

Tabela 04: Dados de operação

6. Conclusão

O trabalho abordado visou à exploração do universo de preparo de massa e depuração de contaminantes, sobretudo focado na utilização de um equipamento específico e pouco utilizado em fábricas de papel-cartão com utilização de aparas como matéria-prima – **o dispersor á quente**. Este trabalho demonstra as suas características, funcionalidade, vantagens e desvantagens, entretanto também provoca á apreciação de um assunto polêmico em fábricas de papel, que é o aumento de custos operacionais, neste caso com aumento de consumo de energia elétrica e vapor.

De forma sintética podemos afirmar que o equipamento realmente realiza com eficiência a dispersão de contaminantes e materiais proibitivos, para qual o mesmo foi concebido e com até “controversos” ganhos de resistência em teste físicos. Pode-se notar que ao longo do desenvolvimento da pesquisa, que para determinadas aplicações de depuração, onde os tipos de contaminantes demandam árduas tratativas de remoção, o processo de dispersão pode beneficiar muito o aspecto visual do papel e dissipar boa parte do conteúdo indesejável carregado com a matéria-prima. É imprescindível comentar que todo equipamento de depuração deve ser utilizado mediante dados de fabricantes e especificações de operação e para o caso das condições aplicadas extrapolarem as recomendações do projeto, a qualidade da polpa pode ser afetada.

A escolha de um equipamento com dispersão e tratamento á quente deve ser estudada com propriedade, já que elevam o custo do investimento total na planta de preparação de massa. Requerem além das instalações habituais como, bases civis, linhas de massa, linhas de vapor, automação, instrumentação, distribuição de potencia para motores, entre outros, equipamentos onerosos e de grande porte como engrossadores de massa ou mesas desaguadoras (elevação da consistência á níveis próximos á 30% C recomendados). No sentido contrário, são também requeridos, equipamentos para diluir a massa, rebaixando a consciência para 4 e 5% C e assim poder seguir a frente do processo. Igualmente, como já dito anteriormente, deve-se avaliar os custos operacionais adicionais com energia elétrica e vapor.

Comumente em equipamentos dispersores, devido à necessidade de intensa de energia mecânica de cisalhamento, são utilizados motores de alta potencia – algo entre 100 e 300 HP, ademais quando têm acionamentos independentes para rosca de transporte e rosca aquecedora, que também somam cargas elétricas extras.

Os custos da elevação térmica também são substanciais, já que o vapor é energia “nobre” dentro das fábricas de papel, visto que o consumo de combustíveis para alimentar as

caldeiras, é um dos grandes vilões da redução de retornos financeiros. Pode-se afirmar que dependendo do tipo de combustível de caldeira, os custos operacionais representam até 50% do custo de fabricação.

Em se tratando de fábricas verticalizadas, ou seja, que além de utilizarem aparas ainda consomem celulose virgem de fabricação própria, esta elevação de custos e consumo de energia pode ser considerada desprezível e até paradoxal, já que fábricas desta modalidade comumente são autossuficientes energeticamente. Podem reutilizam “subprodutos” do processo para alimentar caldeiras de recuperação e gerar vapor suplementar, que pode ser reutilizado em operações internas, como cozimento e branqueamento, ou movimentar turbinas de cogeração de energia elétrica (em muitos casos a energia elétrica gerada é superior á necessidade de consumo da fábrica e desta forma pode vendida ao mercado, eclodindo em novas fontes de arrecadação).

È valido também ressaltar que existem equipamentos modernos com capacidade de realizar a mesma tarefa com custos inferiores e equiparada funcionalidade, é claro que se tratam de sistemas modernos que demandariam reformas importantes e alto investimento.

Assim, a análise de viabilidade de aplicação deste equipamento deve contemplar a demanda de qualidade necessária frente ao mercado, em correlação aos acréscimos de custos variáveis que sabidamente advém, entretanto em um mercado extremamente ofertado, diferencias de qualidade podem agregar valor ao produto e até salvar o negócio em um cenário tão exigente em termos de eficiência operacional.

Como forma de dar continuidade á esta pesquisa, sugere-se em próxima oportunidade, o estudo detalhado deste comparativo, entre a viabilidade de inclusão de sistemas de dispersão á quente dentro da planta de depuração e o irrevogável incremento de custos.

REFERÊNCIAS

ABTCP. *Módulos de Treinamento: Classificação dos contaminantes e materiais proibitivos*. [S.I. s.d.]. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=17350&WDNrVersao=1000>>. Acesso: 22 set. 2012

ABTCP. *Desagregação*. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=17444&WDNrVersao=1000>>. Acesso: 16 set. 2012

ABTCP. *Sistemas de reciclagem*. [S.I. s.d.]. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=17350&WDNrVersao=1009>>. Acesso: 03 jun.. 2012

ALMEIDA, Maria Luiza Otero; CAHEN, Roberto. Considerações sobre o problema de “Stickies”. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 24., 1991, São Paulo. Anais: São Paulo, ABTCP, 1991. p. 795 - 806. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=3017&WDNrVersao=1000>>. Acesso em: 18 jul. 2012.

ANDRITZ Pulp and Paper. Princípios da depuração pressurizada. [S.I.], 2011. Anais: Simpósio de treinamento interno para colaboradores ANDRITZ, 2011.

ARAÚJO, Clovis, P. Curso de Preparação de Massa-Parte 1: Matéria prima fibrosa, Polpação, Matéria prima fibrosa. São Paulo, ABTCP, 2012. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=17564&WDNrVersao=1000>>. Acesso em: 30 set. 2012

ARAÚJO, Clovis, P. Curso de Preparação de Massa-Parte 2, Desagregação e Depuração. São Paulo, ABTCP, 2012. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=17565&WDNrVersao=1000>>. Acesso em: 17 ago. 2012

ARAÚJO, Clovis, P. Curso de Preparação de Massa-Parte 3: Depuração Grossa. São Paulo, ABTCP, 2012. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=17566&WDNrVersao=1000>>. Acesso em: 30 set. 2012

ARAÚJO, Clovis, P. Curso de Preparação de Massa-Parte 4: Dispersão. São Paulo, ABTCP, 2012. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDRDocto=17567&WDRVersao=1000>> Acesso em: 30 set. 2012

BANKS W.A. Modernas aplicações de depuradores pressurizados. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 8., 1975, São Paulo. Anais.. São Paulo, ABTCP, 1975, p. 65-71. Disponível em:<<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDRDocto=2235&WDRVersao=1000>>. Acesso em: 15 mai. 2012.

BAYER. Controle de Depósitos & Microbiológico, [S.I.], 2001 ,p. 1-32. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDRDocto=5455&WDRVersao=1000>> Acesso em: 16 ago. 2012.

BRACELPA. Dados Estatísticos: Panorama da Indústria brasileira de Celulose e Papel. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf>> Acesso em: 28 ago.2012.

BUGAJER Silvia. Utilização de aparas e papeis velhos: Terminologia e classificação de aparas; Tratamento mecânico das aparas e papeis velhos, cap. IV; In: IPT/SENAI. Celulose e Papel: Volume II- Tecnologia de fabricação de papel. São Paulo: IPT, 1988. p. 798-812

CASTRO Élcio Donizete. Treinamento depuração: Princípios da depuração pressurizada. São Paulo, TECHMELT, 2006.

COMPANHIA FEDERAL DE FUNDICÃO. Equipamentos: Pré-depuração de contaminantes pesados. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <<http://www.cff-federal.com.br/novo/preparacao/rep6/rep6.htm>> Acesso em: 25set. 2012.

CONN-WELD. Gentle Screening to Optimize Stickies Removal in Tissue Applications. In: SIMPÓSIO E EXPOSIÇÃO LATINO-AMERICANO DE TISSUE, 1., 2010, São Paulo. Anais... São Paulo: ABTCP, 2010, p.1-33.

DE PIN, Clodoaldo. Características de papéis reciclados e suas particularidades na produção de massa para produção de papel Tissue. 2009. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

DISSOLUÇÃO DE APARAS. Tratamento de aparas de papéis diversificados e não classificados, com componentes betuminosos e plastificados, resistentes à umidade [S.I., s.d.]. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WdNrDocto=4582&WdNrVersao=1000>>. Acesso em: 16 ju. 2012

FALCÃO, Jarbas Almeida. Controle de Stickies e pintas a partir da desagregação- Papeis recicláveis: da apara á desagregação. Belo Horizonte, ABTCP/ QUIMPEL, 2003. Disponível em:<<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WdNrDocto=14725&WdNrVersao=1000>>. Acesso em: 15 ago. 2012.

FALCÃO, Jarbas Almeida. Stickies. 2004. Trabalho de conclusão de curso (Especialização em Celulose e Papel) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 2004. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/86312071/Stickies-Por-Jarbas-Almeida-Falcao>> Acesso em: 14 jul. 2012.

FOELKEL, Celso. Papéis Reciclados e Papéis de Fibras Virgens: a Necessária Complementação Tecnológica e Ambiental. São Paulo, 2010. Disponível em: http://www.eucalyptus.com.br/newspt_mar10.html#quatorze.> Acesso em: 20 set. 2012.

FONTOURA, Rui Alexandre. Tecnologia GLV para a depuração de fibra reciclada (Screens e Cleaners). In: CURSO INTERNACIONAL SOBRE RECICLAGEM, 2004, São Paulo. Anais: São Paulo: USP, 2004. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WdNrDocto=6524&WdNrVersao=1000>> Acesso em: 09 Out. 2012.

FUENTES, E.F. Recuperação de fibras com utilização de peneiras estáticas pressurizadas. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 18.,1985, São Paulo. Anais: São Paulo, ABTCP, 1985. p. 341 - 354.

FUNO, Paulo; NERI, Jayme. Depuração de Polpa. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 29. ,1996, São Paulo. Anais... São Paulo: ABTCP, 1996, p. 221-239. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WdNrDocto=2235&WdNrVersao=1000>>. Acesso em: 12 out. 2012.

FURLAN, Wagner A. Fracionamento de Fibras – conceito, função e operação, São Paulo, ABCP, 1985. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WdNrDocto=4582&WdNrVersao=1000>>. Acesso em: 16 jun. 2012.

FURSEY, May. Screening- A tool for stickies removal: Systems. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL, 33.,2000, São Paulo. Anais... São Paulo: ABTCP, 2000, p.4-8. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=5196&WDNrVersao=1000>>. Acesso em: 16 out. 2012.

GIERTZ, Hans W. Papermaking Fundamentals (Fundamentos da fabricação de papel) Itu, ABTCP,1989.p.1-8.Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=1256&WDNrVersao=1000>>. Acesso em: 06 ago.2012.

GLV, Pulp and Paper Group. Dispersão, [S.I.], 2001. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=17581&WDNrVersao=1000>>. Acesso em: 09 out. 2012

HATIA, Mohssem. Depuração de aparas, conceitos e soluções. In: SEMINÁRIO SOBRE RECICLAGEM, 2004, Juiz de Fora. Anais: Juiz de Fora: ABTCP/ METSO, 2004.

KING, Vanja M.; MESQUITA, Alexandre M. A ocorrência de depósitos microbiológicos e seus problemas em sistemas de produção neutro / alcalinos. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL, 24., 1991, São Paulo. Anais.. São Paulo: ABTCP, 1991, p.487-494. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=2998&WDNrVersao=1000>>. Acesso em: 07 out. 2012

KLABIN. Reciclagem na Klabin. Disponível em: <http://www.klabin.com.br/pt-br/a-klabin/reciclagem.aspx>.> Acesso em: 27 ago.2012.

KUMAR, Saurabh; FABRY, Benjamin; CARRE, Bruno; COCHAUX, Alain; JULIEN SAINT AMAND, Francois; GALLAND, Gerard; Past, Present and Future of dispersion and kneading. In: CTP/PTS ADVANCED TRAINING COURSE ON DEINKING, 8, Grenoble, 2007, p. 1- 37. Disponível em: < [http://www.cost-e46.eu.org/files/Deinking %20 primer /14% 20SK%20 Dispersion%20and%20Kneading.pdf](http://www.cost-e46.eu.org/files/Deinking%20primer/14%20SK%20Dispersion%20and%20Kneading.pdf)>.Acesso em: 24 ago. 2012.

MACKINNEY, Roland. Ink removal following disc dispersion and kneading. Surrey. Jan.1999. Disponível em: <<http://www.tappi.org/Downloads/unsorted/UNTITLED---RE C99471pdf.aspx>>. Acesso em 07 out.2012

MAGATON, Andréia. Química da madeira. In: CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CELULOSE E PAPEL, 2011, São Paulo. Hemiceluloses, São Paulo: Mackenzie, 2011. 1 CD-ROM.

MANFREDI, Vail. Tecnologia do Papel. In: CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CELULOSE E PAPEL, 2011, São Paulo. Depuração e peneiramento, São Paulo: Mackenzie, 2011. 1 CD-ROM.

MARTINEZ, Parmênidez C. "Stickies: caracterização e remoção". In: CURSO INTERNACIONAL DE RECICLAGEM, 2004, São Paulo. Anais... São Paulo: ABTCP, 2004. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=6521&WDNrVersao=1000>> Acesso em: 14 ago. 2012.

METAFORE. The Fiber Cycle Technical Document; Metafore summary report [S.I.] 2006. Disponível em: <http://www.twosides.info:8080/content/rsPDF_111.pdf> Acesso em: 29 ago.2012.

MOKFIENSKI, Alfredo. Ciclo de Recuperação do Processo Kraft. In: CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CELULOSE E PAPEL, 2011, São Paulo. Depuração da polpa marrom, São Paulo: Mackenzie, 2011. 1 CD-ROM.

PEPE, Luigi,. A dispersão de contaminantes em fibras secundárias. Revista Nosso Papel, São Paulo, Editorial: Linha de Produção, ed. out./nov. 2008. Disponível em: <<http://www.revistanossopapel.org.br/noticia-anexos/125509905249db628585428a0dc4a88fc96fa752691429300498.pdf>> Acesso em: 06 ago.2012.

PIRES, Flavio da Silva; SU SUAN KUAN, Genésio; BENAZZI, Regina Celi; BUGAJER Silvia. Preparação de Massa: Desagregação; Depuração, cap. II; In: IPT/SENAI. Celulose e Papel: Volume II- Tecnologia de fabricação de papel. São Paulo: IPT, 1988. p. 583-588; 614-623.

RANDRUP, R. Detecção e solução de problemas com pitch e piche nas indústrias de derivados celulósicos. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 17., 1984, São Paulo. Anais... São Paulo: ABTCP, 1984, p.443-454. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=2636&WDNrVersao=1000>> Acesso em: 14 set. 2012

RAZZOLINI, Francisco César. Curso: Técnicas de fabricação de papeis e cartões para embalagem. São Paulo: ABTCP/ KLABIN, 1994.p.9.

RIBEIRO, Alberto Junior. Pintas e manchas no papel. In: CONVENÇÃO ANUAL DA ABCP, 8., 1975, São Paulo. Anais: São Paulo, ABCP, 1975, p.143-152. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=2242&WDNrVersao=1000>>. Acesso em: 16 ago. 2012.

RODRIGUES, Jairo Felipe. Depuração. São Paulo, 2001, p.1-15. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=5618&WDNrVersao=1000>>. Acesso em: 22 out. 2012.

RODRIGUES, Jairo Felipe. Desagregação. São Paulo, 2001, p.1-15. Disponível em: [http://www.abtcp.org.br/Acervo técnico](http://www.abtcp.org.br/Acervo_tecnico). Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=14998&WDNrVersao=1000>>. Acesso em: 12 out. 2012

RODRIGUES, Jairo Felipe. Papeis Reciclados. São Paulo, 2001, p.1-20. Disponível em: [http://www.abtcp.org.br/Acervo técnico](http://www.abtcp.org.br/Acervo_tecnico). Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=15000&WDNrVersao=1000>>. Acesso em: 16 jul. 2012

ROMERO, Silvio Roberto. Semana de atualização em Preparação de Massa-Depuração (bloco 1). São Paulo, ABTCP/ VOITH, 1995. Disponível em: <http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=4631&WDNrVersao=1000>>. Acesso em: 16 jul. 2012.

SCHAAN, José Luís. Sistemas de fibras recicladas. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 13., 1980, São Paulo. Anais: São Paulo, ABTCP, 1980, p.265-278. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=2433&WDNrVersao=1000>>. Acesso em: 15 mai. 2012

SENAI. Desagregação e depuração de matéria-prima para fabricação do papel. In: SEMINÁRIO DE CELULOSE E PAPEL, 3. [S.I.: s.d]. Disponível em: <[http://www.pr.senai.br/uploadAddress/Desagregação_e_Depuracao\[28904\].pdf](http://www.pr.senai.br/uploadAddress/Desagregação_e_Depuracao[28904].pdf)>. Acesso em: 20 set. 2012.

SERRES, Lascar; THOMAS, Pascal. Utilization of an ADS Double Separator combined with a kneader to improve the dispersion of hard-to-disperse raw material, In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 27, 1994, São Paulo. Anais... São Paulo: ABTCP, 1994,

p. 367-401. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDRDocto=3443&WDRVersao=1000>> Acesso em: 16 jul. 2012

SFERRAZA, Martin. A quick introduction to deinking systems technology. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL, 29., 1996, São Paulo. Anais. São Paulo: ABTCP, 1996, p.357-371. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDRDocto=3937&WDRVersao=1000>> Acesso em: 14 ago. 2012

SHABEL, Samuel. Screening- A tool for stickies removal: Fundamentals. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL, 33., 2000, São Paulo. Anais... São Paulo: ABTCP, 2000, p.3-5. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDRDocto=5196&WDRVersao=1000>> Acesso em: 12 out. 2012

SPIELBAUER, Jeffrey, L. Fiber Processing to the Future. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL, 33., 2000, São Paulo. Anais... São Paulo: ABTCP, 2000, p.7-14. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDRDocto=5196&WDRVersao=1000>>.. Acesso em: 12 out. 2012

TAKIKAWA, Roberto Kiochi. Desenvolvimentos em controles de “Stickies”. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL, 27., 1994, São Paulo. Anais... São Paulo: ABTCP, 1994, p.355-366. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDRDocto=3415&WDRVersao=1000>> Acesso em: 16 jul. 2012

TANFERRI, Maria Cristina Rossana. Manchas, pintas e defeitos no papel. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 11., 1978, São Paulo. Anais: São Paulo, ABTCP, 1978, p.57-60. Disponível em: <<http://advancedweb.totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDRDocto=2345&WDRVersao=1000>> Acesso em: 16 ago. 2012

VASQUES Jorge; DAVIS Chistopher K; CASINI Goffredo. Novel biocide provides effective microbiological control without adversely affecting the papermaking process. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE CELULOSE E PAPEL, 35., 2002, São Paulo. Anais... São Paulo: ABTCP, 2002, p.1-6.

VENDITTI, Richard A. Paper Recycling Technology: Pulping of Recovered Paper, [S.I.], 2008.

VOITH PAPER. *Dispersion Training*: Dispersers and disperser systems. São Paulo, 2002.

VOITH. *Manual de operação e manutenção*: Desfibrador á quente Tamanho 100. Heidenheim, 1971. p. 22-27

WEB. DICIONARIO. Depuração. Disponível em: [http://webdicionario.com/ depuração.](http://webdicionario.com/depuracao) > Acesso em: 30 ago.2012

ZEEB, Fritz; BRITO, Marcelo Henrique. Novos avanços em depuração com aplicação na reciclagem de papel. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 27., 1994, São Paulo. p. 403-418. Disponível em: <[http://advancedweb.Totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer? WDNrDocto= 3425&WDNr Versao=1000.](http://advancedweb.Totvsservicos.com.br:9680/webdesk/documentviewer?WDNrDocto=3425&WDNrVersao=1000)> Acesso em:14ago.20

