

INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DO PORTO

MESTRADO EM ENGENHARIA QUÍMICA
RAMO TECNOLOGIAS DE PROTECÇÃO AMBIENTAL



Controlo de Águas do Processo e Optimização da Produção de Papel

António Pedro Moreira Martins da Silva

Outubro de 2011

Orientação: Doutora Sónia Adriana Ribeiro da Cunha Figueiredo
Co-Orientação: Doutora Leonilde Cristina de Pinho Morais

Agradecimentos

Cabe-me aqui expressar a minha profunda e sincera gratidão a todos aqueles que, de algum modo, colaboraram comigo ao longo deste trabalho.

Agradecer todo o apoio obtido na Fábrica de Papel de Ponte Redonda, que me ajudaram a desenvolver e concretizar as actividades do trabalho:

Engenheiro Pedro Loureiro, administrador e meu orientador na empresa;
Engenheira Isabel Mendes, departamento de ambiente e qualidade;
Operadores e mecânicos da empresa.

Agradecer todo o apoio obtido na Fábrica de Papel da Zarrinha, pela disponibilidade apresentada e pela vontade em ajudar, de todas as pessoas com que contactei:

Engenheira Mónica Eira, responsável de departamento de ambiente e qualidade;
Engenheiro Augusto Silva, direcção de produção;
Pedro Valente, técnico de laboratório de qualidade.

Agradecer ao Engenheiro Ricardo Mirra Ferreira por todo o apoio e disponibilidade demonstrada.

Do ISEP agradecer à minha orientadora Doutora Sónia Figueiredo e co-orientadora Doutora Cristina Morais, pela ajuda indispensável e disponibilidade que sempre apresentaram.

Aos técnicos do Laboratório de Tecnologia que sempre estiveram disponíveis para ajudar nas tarefas aí desenvolvidas.

Á minha esposa Lúcia pelo companheirismo, apoio, compreensão e paciência, e à minha filha Vitória pela motivação que me deu no decorrer deste trabalho.

Resumo

Na Fábrica de Papel da Ponte Redonda fabricam-se sacos de papel multi-folhas e papel reciclado do tipo Kraft. Tendo em consideração a primeira actividade, é de grande interesse otimizar o processo de fabrico de papel com vista a incorporar a máxima taxa de papel produzido internamente nas diferentes camadas dos sacos de papel. Os papéis de maior interesse são os do tipo Fluting e Liners, tendo sido produzidos em 2010 um total de 4,9 mil toneladas, ou seja 90% de todo o papel fabricado em 2010, correspondendo a 4 mil toneladas de papéis do tipo Liners e 0,9 mil toneladas para os papéis do tipo Fluting. Nos papéis do tipo Liners incluem-se os papéis do tipo Test-Liner e Kraft-Liner, representando em termos produtivos valores idênticos.

No âmbito deste trabalho, em que se pretendeu controlar as águas do processo e otimizar a produção de papel, foram introduzidos uma unidade de flutuação e um sistema que permitisse regular a consistência da suspensão fibrosa à entrada da máquina do papel, e foram ainda estudadas as possibilidades de adição de produtos químicos para melhorar as características da pasta assim como um tratamento microbiológico mais eficaz para todo o processo.

Para se avaliar se as medidas implementadas teriam um impacto positivo na qualidade desses dois tipos de papéis, desenvolveu-se o trabalho em duas fases: a primeira envolve a introdução de um sistema de flutuação e de um sistema de controlo de consistência da pasta, assim como a selecção de produtos químicos a adicionar ao processo. A segunda fase consistiu na avaliação do efeito destas medidas nas características do papel fabricado. Para o efeito foram escolhidos dois tipos de papel e de diferentes gramagens, nomeadamente Test-Liner de 80 g/m² e Fluting de 110 g/m².

Introduziu-se um flutuador com o objectivo de tratar parte das águas do processo de fabrico com vista a serem reutilizadas em determinadas aplicações possíveis para a qualidade da água obtida (lavagens e água do processo), de modo a conseguir-se uma poupança de água, assim como aproveitar-se as lamas resultantes, ricas em fibra de celulose, para utilizá-las como matéria-prima.

Foi introduzido um regulador de consistência no processo da Ponte Redonda com o objectivo de alimentar de uma forma constante a consistência da pasta à entrada da máquina do papel proporcionando uma melhor formação da folha, devido à ligação entre fibras, na direcção máquina e direcção transversal. Esse sistema inovador é um Regulador de Consistência que vem proporcionar à máquina do papel uma alimentação em fibra mais constante.

O fabrico de papel apenas a partir de fibras de celulose não permitirá obter um papel com as características desejadas para a sua utilização. Para corrigir estas deficiências, são

adicionados produtos químicos para atribuir ou melhorar as propriedades dos papéis. Desta forma considerou-se interessante introduzir no processo um agente de retenção numa fase posterior à preparação da pasta e antes da chegada à máquina de papel, de forma a melhorar as características da suspensão fibrosa. Assim foi implementado um sistema cuja eficácia foi avaliada. Concluiu-se que com a sua implementação a máquina de papel apresentou melhores resultados na drenagem e na turbidez da água removida, significando uma água com menor teor de matéria suspensa e dissolvida, devido à melhor agregação das fibras dispersas na suspensão fibrosa, levando a um aumento da drenagem e consequentemente melhor eficiência das prensas e secaria.

Foi também elaborado um estudo para introdução de um sistema de tratamento microbiológico em todo o processo de fabrico de papel, devido à existência de microorganismos prejudiciais ao seu fabrico.

Concluiu-se que a água clarificada proveniente do flutuador apresentou qualidade aceitável para os objectivos pretendidos. No entanto, considerando a eficiência de 26,5% na remoção de sólidos suspensos será necessário mais algum tempo de utilização da água clarificada, cerca de um ano, para avaliar se esta terá algum efeito prejudicial nos equipamentos.

Verificou-se que devido à existência de microrganismos em todo o processo de fabrico de papel será necessário efectuar lavagens aos tinões, tanques e circuitos com alguma regularidade, aproveitando-se as paragens do processo assim como implementar um sistema de tratamento microbiológico mais eficaz.

Em resultado das medidas implementadas concluiu-se que os papéis produzidos apresentaram melhorias, tendo-se obtido melhores resultados em todos os ensaios de resistência. No papel do tipo Test-Liner destacam-se os bons resultados nos ensaios de superfície, Cobb60 e rebentamento. No caso do parâmetro do Cobb60, foi um resultado surpreendente visto que por norma este tipo de papéis reciclados não suportam este ensaio.

Concluiu-se também que as medidas implementadas proporcionaram uma melhor agregação e ligação entre fibras, e melhor formação da folha na máquina do papel proporcionando aos papéis propriedades físico-mecânicas mais interessantes.

Palavras-chave: papel Fluting, papel reciclado, papel Test-Liner, recuperação da fibra, regulador de consistência da pasta de papel, reutilização de água.

Abstract

The “Fábrica de Papel da Ponte Redonda” produces multi-layer bags and recycled Kraft paper. Considering the production of multi-layer bags, it is important to optimize the paper production process in order to incorporate the maximum rate of paper internally produced in the different layers of the bags. The most interesting papers produced are the Fluting and Liners type, corresponding to a production in 2010 of 4.9 thousand ton (4 thousand ton of Liners type and 0.9 thousand ton of Fluting type), which represents 90% of all the paper produced. The Liners type includes Kraft-Liner and Test Line-papers.

The scope of this thesis was to control the process waters and to optimize the paper production. Therefore it was implemented a flotation unit and a system to regulate the consistency of the fibrous suspension at the entrance of the paper machine. Moreover it was studied the addition of chemicals to improve the pulp characteristics and a microbiological treatment.

To assess whether the measures implemented would have a positive impact on the quality of these two types of papers, the work was developed in two phases: the first involved the introduction of a flotation system and a control system for the pulp consistency, as well as the selection of chemicals to add to the process. The second phase was to evaluate the effect of these measures on the characteristics of the paper produced. For this purpose two types of paper with different grammage were chosen, namely Test-Liner of 80 g/m² and Fluting of 110 g/m².

A flotation system was implemented with the aim of treating part of the process water for recycling, contributing to water saving, and recovery of the resulting sludge, which is rich in cellulose fiber and can be reused as raw material.

It was introduced a regulator of consistency in the Ponte Redonda process in order to feed a steadily consistency of the pulp at the entrance of the paper machine providing a better sheet formation because of the link between fibers in the machine direction and transverse direction.

The paper production only from cellulose fibers will not get a paper with the desired characteristics. To improve the paper characteristics it is necessary to add several types of chemicals to the pulp in order to give better characteristics to the fibrous suspension. Therefore it was introduced in the process, just before the paper machine, a retention agent, whose effectiveness has been evaluated. It was concluded that better results in drainage and water turbidity were obtained, leading to an increased drainage and therefore better efficiency in the presses and drying processes.

A study was also made to introduce an innovative system for microbiological treatment of the pulp and of the whole paper production process.

It was concluded that the clarified water from the flotation system had acceptable quality, reaching the expected goals. However considering the 26,5% efficiency removal of suspended solids it appears it will take some time, about a year, to assess whether this may produce any harmful effect on the equipment.

It was verified that due to the existence of microorganisms in the whole production process it will be necessary to wash the pulp tanks, water process tanks and circuits on a regular basis, taking advantage of the production process stops, and also implement a more effective microbiological treatment system

As a result of the measures implemented it was concluded that the papers achieved improvements, namely in all strength tests. In the paper type Test-Liner stands out good results in tests of surface and burst. In Cobb60 parameter the results were surprising as normally this type of recycled papers do not support this test.

It was also concluded that the measures implemented have provided a better link and aggregation between fibers, and also a better sheet formation in the paper machine providing papers with physical properties more interesting.

Keywords: consistency regulator of paper pulp consistency, fiber recovery, Fluting paper, recycled paper, Test-Liner paper, water reuse

Índice

Índice	ix
Lista de Figuras.....	xiii
Lista de Tabelas.....	xiv
Nomenclatura.....	xvii
Abreviaturas.....	xviii
Glossário.....	xix
1. Introdução	1
2. Estado da Arte na Indústria de Papel Reciclado.....	5
3. Apresentação e localização da empresa	9
4. Fabrico de papel reciclado.....	11
4.1. Generalidades	11
4.2. Matérias-primas.....	14
4.3. Preparação da pasta	14
4.3.1. Desfibrção ou desintegração	16
4.3.2. Tanques de reserva.....	16
4.3.3. Depuração.....	17
4.3.4. Refinação	21
4.3.5. Depurador cabeça de máquina.....	22
4.3.6. Adição de produtos químicos.....	23
4.4. Máquina do papel.....	24
4.4.1. Parte húmida da máquina do papel	25
4.5. Recuperação de fibra e água.....	31
5. Estudo laboratorial do papel	35
5.1. Introdução ao estudo laboratorial do papel.....	35
5.2. Características básicas e respectivos ensaios.....	36
5.2.1. Gramagem	36
5.2.2. Espessura	37
5.3. Características de resistência.....	38
5.3.1. Resistência à tracção e alongamento (SCT – short compressive strength) ...	38
5.3.2. Resistência ao rebentamento	39
5.4. Ensaio específicos.....	40
5.4.1. Esmagamento em anel (RCT DT e RCT DM – ring crush test machine direccion and transversal direccion).....	40
5.4.2. Resistência ao esmagamento dos bordos (CCT DT – corrugated crush test transversal direccion)	41

5.4.3. Resistência ao esmagamento perpendicular (CMT-Corrugated medium test)	42
5.4.4. Capacidade de absorção de água (Cobb 60)	43
6. Medidas implementadas.....	45
6.1. Unidade de Flutuação.....	45
6.1.1. A flutuação por ar dissolvido	45
6.1.2. Dimensionamento de uma instalação de flutuação	46
6.1.3. Fundamentos do processo de flutuação	47
6.1.4. Dimensionamento do flutuador da Ponte Redonda.....	49
6.1.5. Necessidades de ar comprimido.....	52
6.1.6. Unidade de floculação	52
6.1.7. Dimensionamento das bombas	53
6.1.8. Caracterização da água clarificada.....	56
6.1.9. Utilização da água clarificada	57
6.1.10. Conclusões sobre o funcionamento da unidade de flutuação	59
6.2. Regulador de consistência.....	59
6.2.1. Introdução ao sistema de regulação de consistência.....	59
6.2.2. Princípio de funcionamento dos reguladores de consistência.....	61
6.2.3. Sistema de regulação de consistência Ponte Redonda	62
6.3. Tratamento químico e microbiológico.	64
6.3.1. Sistema de retenção.....	64
6.3.2. Tratamento microbiológico.....	66
6.3.3. Conclusões dos testes químicos e microbiológicos efectuados	68
7. Resultados dos ensaios físico-mecânicos ao papel.....	69
7.1. Introdução	69
7.2. Fluting de 110 g/m ²	70
7.3. Test-Liner de 80g/m ²	71
7.4. Conclusões dos ensaios físico-mecânicos aos papéis.....	72
8. Conclusões.....	73
9. Sugestões para trabalhos futuros	77
Referências bibliográficas	79
Anexos	83
Anexo A – Tabelas auxiliares para a determinação das perdas de carga	85
Anexo B – Folheto técnico do Regulador de Consistência MBT-2300.....	89
Anexo C – Proposta da empresa NALCO - RDF & MICROBIOLOGA.....	99
Anexo D – Resultados dos ensaios pré-medidas do papel tipo Fluting 110 g/cm ² ..	115
Anexo E – Resultados dos ensaios pós-medidas do papel tipo Fluting 110 g/cm ² ..	119

Anexo F – Resultados dos ensaios pré-medidas do papel tipo Test-Liner 80 g/cm ²	123
Anexo G – Resultados dos ensaios pós-medidas do papel tipo Test-Liner 80 g/cm ²	127

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Evolução do papel reciclado na Europa, 2005-2010	6
Figura 3.1 – Instalações da fábrica de Papel da Ponte Redonda	9
Figura 4.1 – Esquema de fabricação de papel	12
Figura 4.2 – Pulper da Ponte Redonda	16
Figura 4.3 – Tinão	17
Figura 4.4 – Depurador ciclónico de pasta grossa.....	18
Figura 4.5 – Depurador ciclónico de pasta grossa da Ponte Redonda	19
Figura 4.6 – Depurador CH5 em corte.....	19
Figura 4.7 – Depuradores CH5 da Ponte Redonda	20
Figura 4.8 – Despastilhador J.M.Voith da Ponte Redonda	20
Figura 4.9 – Refinadores da Ponte Redonda.....	21
Figura 4.10 – Depurador cabeça de máquina da Ponte Redonda	22
Figura 4.11 – Suspensão fibrosa na mesa de formação da Ponte Redonda	26
Figura 4.12 – Mesa de formação plana da Ponte Redonda.....	26
Figura 4.13 – Primeira prensa da Ponte Redonda.....	29
Figura 4.14 – Segunda prensa da Ponte Redonda.....	29
Figura 4.15 – Secaria da Ponte Redonda.....	30
Figura 4.16 – Enroladeira POP da Ponte Redonda	31
Figura 4.17– Fluxo produtivo da empresa Ponte Redonda (anterior à implementação das medidas).....	33
Figura 5.1 – Pesagem dos provetes numa balança digital.....	37
Figura 5.2 – Medição da espessura do papel num micrómetro digital	37
Figura 5.3 – Aparelho para determinação do índice de rebentamento	39
Figura 5.4 – Provetes de ensaio.....	40
Figura 5.5 – Determinação da força de esmagamento num compressómetro	41
Figura 5.6 – Corte da amostras na guilhotina de RCT	42
Figura 5.7 – Provetes de CCT DT e CMT.....	42
Figura 5.8 – Medição da CCT DT num compressómetro.....	42
Figura 5.9 – Ondulador de laboratório	43
Figura 5.10 – Compressómetro para determinação da CMT	43
Figura 5.11 – Aparelho para determinação de Cobb	44
Figura 5.12 – Proвете de Cobb	44
Figura 5.13 – Pesagem do provete na balança digital	44

Figura 6.1 - Representação esquemática de um sistema de flutuação por ar dissolvido sem recirculação	46
Figura 6.2 - Representação da razão A/S em função dos sólidos suspensos no efluente tratado	47
Figura 6.3 - Fenómeno de “captura” (colisão + adesão) de partículas de diâmetro d_p por bolhas de diâmetro d_b dentro de um raio crítico r_c	49
Figura 6.4 - Instalação do Flutuador na Ponte Redonda	50
Figura 6.5 - Vista de cima do Flutuador.....	50
Figura 6.6 - Esquema da instalação de flutuação.....	51
Figura 6.7– Fluxo produtivo da empresa Ponte Redonda pós-medidas.....	58
Figura 6.8 – Consistência à entrada da maquina do papel vs estabilidade do process.	60
Figura 6.9 – Instalação típica de um Regulador de Consistência (Anexo B).....	62
Figura 6.10 – Palheta do transmissor de consistência (Anexo B)	62
Figura 6.11 – Gama de consistência	62
Figura 6.12 – Regulador de consistência MBT-2300 da Ponte Redonda.....	63
Figura 6.13 – Caixa de ligações MBT-2300 da Ponte Redonda	63
Figura 6.14 – Incorporação de produtos químicos.....	65
Figura 6.15 – Resultado dos ensaios químicos (Anexo C)	66
Figura 6.16 – Tipos de microrganismos presentes no processo de fabrico de papel...66	
Figura A.1 – Perdas de carga numa tubagem	85
Figura A.2 – Perdas de carga em curvas	86
Figura A.3 – Perdas de carga em válvulas	87
Figura A.4 – Perdas de carga em válvulas de retenção	88

Lista de Tabelas

Tabela 6.1 - Cálculo da altura manométrica de B1	54
Tabela 6.2 - Cálculo da altura manométrica de B2 e B3.....	55
Tabela 6.3 - Caracterização da água clarificada à saída do flutuador.....	56
Tabela 6.4 - Aplicações da água fresca utilizada no processo	57
Tabela 6.5 - Problemas causados pelos microrganismos presentes no processo (Anexo C).....	67
Tabela 7.1 - Resultados dos ensaios pré-medidas: Fluting	70
Tabela 7.2 - Resultados dos ensaios pós-medidas: Fluting.....	71
Tabela 7.3 - Resultados dos ensaios pré-medidas: Test-Liner	71
Tabela 7.4 - Resultados dos ensaios pós-medidas: Test-Liner	72

Nomenclatura

Nomenclatura:	Significado:
Al	Alongamento (%)
A	Área flutuador (m ²)
A/S	Relação ar-sólidos (mg ar/mg SST)
d _b	Diâmetro da bolha de ar
d _p	Diâmetro da partícula
f	Fracção de saturação
F _c	Factor de carga
F _d	Força de cisalhamento
F _g	Força de atracção gravitacional
H	Altura manométrica (m.c.a)
Ø	Ângulo de contacto
P	Potência da bomba (cv)
P*	Pressão (atm)
P _a	Probabilidade de adesão
P _c	Probabilidade de colisão
P _f	Probabilidade de flutuação
Q	Caudal da bomba (m ³ /h)
Q _m	Caudal médio à entrada do flutuador (m ³ /s)
R _b	Índice de rebentamento (kPa.cm ² .g ⁻¹)
r _c	Raio crítico
R _t	Resistência à tracção (N)
S _a	Solubilidade do ar (mL/L)
t _i	Tempo de indução
t _r	Tempo de retenção (h)
t _r	Tempo de ruptura (µs)
V _f	Volume do flutuador (m ³)
X ₀	Concentração de sólidos suspensos totais (mg/L)
ρ _a	Massa específica do ar (mg/mL)

Abreviaturas

Abreviatura:	Significado:
CCT DT	“Corrugated Crush Test Direccion Transversal” (kN/m)
CMT	“Corrugated Médium Test” (N)
Cobb 60	Capacidade de absorção de água (g/m ²)
CQO	Carência Química de Oxigénio (mg/L O ₂)
DAF	“Dissolved-Air-Flotation”, flutuação por ar dissolvido
RCT DM	“Ring Crush Test Machine Direccion” (kN/m)
RCT DT	“Corrugated Crush Test Direccion Transversal” (kN/m)

Glossário

Caneluras	Parte interior e ondulada das folhas de cartão
Cartão canelado	Cartão
Coberturas	Folha exterior dos sacos ou do cartão
Consistência	Quantidade de fibras presente na suspensão fibrosa
Desfibradora	Pulper. Equipamento para separar as fibras do papel velho
Desintegração	Pulper. Equipamento para separar as fibras do papel velho
Fibra curta	Fibra de celulose de cadeia curta
Fibra longa	Fibra de celulose de cadeia longa
Fibra virgem	Fibra de celulose para primeira utilização
Fluting	Papel Kraft para interior e caneluras
Hidrofoils	Elemento afiado na extremidade e colocado na parte inferior da teia
Kraft	Papel de fibras longas
Kraft-Liner	Tipo de papel Kraft para coberturas da parte exterior
Liners	Papéis do tipo Kraft-Liner e Test-Liner
Papel mistura	Papel de fibras curtas e longas
Pop	Designação específica da máquina de enrolar o papel
Pulper	Desfibrador
Pulping	Desintegração
Refinação	Operação de afinação das fibras da pasta de papel
Saco multi-folhas	Saco constituído por várias folhas
Papel velho	Papel/cartão usado
Pasta fibrosa	Massa rica em fibra de celulose e água
Test-Liner	Tipo de papel Kraft para coberturas da parte interior
Tinões	Tanques de armazenamento de pasta de papel
Tissue	Papel de fibras curtas - características absorventes

1. Introdução

A Fábrica de Papel de Ponte Redonda, abreviadamente designada por “Ponte Redonda”, tem duas actividades dentro das suas instalações, o fabrico de sacos multi-folhas para embalagens (por exemplo para rações de animais) e o fabrico de papel reciclado do tipo Kraft, essencialmente Test-Liner, e Fluting. De um total de 5,5 mil toneladas de papel produzido em 2010, 4,9 mil toneladas referem-se a estes dois tipos de papéis, sendo que nos papéis do tipo Liners, encontram-se os do tipo Kraft-Liner e Test-Liner. Nas 4,9 mil toneladas estes representam aproximadamente 2 mil toneladas cada, o que perfaz um total de 0,9 mil toneladas para os papéis do tipo Fluting.

Para o fabrico de papel reciclado é utilizado como matéria-prima papel velho, preferencialmente cartão, uma vez que o tipo de fibra de celulose confere melhores características para o fabrico de um tipo de papel Kraft.

Uma grande parte do papel fabricado na Ponte Redonda é utilizado para o fabrico de sacos e uma outra parte é vendida em bobines de papel, de acordo com qualidade, tipo e gramagem, para o fabrico de cartão canelado ou para o fabrico de sacos.

No fabrico de um saco multi-folhas para embalagem, o qual é composto por várias folhas tal como o nome indica, são empregues papéis do tipo Liners e papéis do tipo Fluting. Os papéis do tipo Liners utilizam-se como folhas exteriores dos sacos, e os papéis do tipo Fluting são utilizados como folhas intermédias. Na Ponte Redonda, apenas se utilizam papéis do tipo Fluting devido ao facto dos papéis do tipo Liners não apresentarem qualidade suficiente para serem incorporados nos sacos aí fabricados.

Os papéis do tipo Liners, Test-Liner e Kraft-Liner são também utilizados respectivamente nas coberturas interiores e exteriores respectivamente, do cartão canelado e o papel Fluting é utilizado nas caneluras do cartão canelado.

A Ponte Redonda tem vindo desde a sua existência a melhorar os seus processos de fabrico. Concretamente as exigências para o fabrico de sacos têm obrigado a empresa a otimizar os seus processos, nomeadamente no fabrico de papel reciclado. Devido à antiguidade da fábrica e das suas instalações o trabalho fica dificultado, pois qualquer mudança implica grandes investimentos. Por ser premente a redução de custos nos seus processos, a empresa pretende, otimizar o fabrico de papel reciclado, de modo a permitir uma maior taxa de incorporação do papel produzido internamente nos sacos produzidos na Ponte Redonda, reduzindo as compras ao exterior e simultaneamente reduzindo outros custos, como por exemplo ao nível do consumo de água.

O processo de fabrico de papel reciclado utiliza cerca de 400 m³/dia de água, sendo que mais de 90% desta é reutilizada sem qualquer tratamento físico-químico prévio, e a

restante é perdida por evaporação, no papel à saída do processo e lavagens. Neste processo é necessário introduzir cerca de 40 a 60 m³/dia de água fresca, dependendo do número de paragens durante o fabrico, entre outros factores. Esta água fresca é utilizada na máquina do papel, para lavagem da tela, diluições nos tinões e outros tipos de lavagens.

Com este trabalho pretende-se otimizar a reutilização das águas do processo e recuperar fibras de papel. Para além disso pretende-se ainda melhorar as características do papel fabricado controlando a consistência da massa alimentada à máquina do papel, onde se inicia a formação da folha.

A introdução de um flutuador exterior ao processo do fabrico de papel reciclado, para tratamento das águas do processo, tem como objectivo permitir reutilizar água com características mais adequadas à sua reutilização. De qualquer forma é sempre necessária de tempos a tempos uma lavagem com jacto de água fresca para evitar a colmatação da tela da mesa de formação da máquina do papel, com a consequente redução da eficiência de remoção por parte dos roletes, hidrofoils e das caixas aspirantes, e ainda evitar futuros danos à própria tela, e a diminuição da eficiência das prensas.

O flutuador além da poupança de água, permitirá separar e aglomerar as fibras de celulose existentes na água do processo com vista à sua recuperação. Desta forma impede a sua degradação, visto que quando presentes na água por tempos longos estas são decompostas pela actividade microbiana, o que levaria à perda de fibras, ou seja matéria-prima, e contaminação da água com espécies químicas prejudiciais ao processo, originando por exemplo maus cheiros no papel produzido, o que seria indesejável. As lamas provenientes do flutuador, ricas em fibras, serão armazenadas em local seco de forma a serem aplicadas na operação de desfibração, no pulper, que juntamente com o papel velho formará uma pasta mais rica em fibra. Com isto espera-se melhorar a qualidade do papel, a qualidade das águas do processo e principalmente obter-se um poupança no consumo de água fresca.

As características do papel poderão ser melhoradas através da incorporação no processo de um sistema que permita controlar a consistência da pasta de modo a obter um papel com melhor resistência.

Quanto mais regular for a consistência da pasta, melhor comportamento terão as fibras na máquina de papel e nas prensas pois as fibras ficam melhor distribuídas por toda a área da tela e a ligação entre as fibras por pontes de hidrogénio ocorrerá duma forma mais uniforme originando um papel com melhor características físico-mecânicas.

As características do papel são avaliadas recorrendo-se a vários ensaios, essencialmente físico-mecânicos. Foram seleccionados os ensaios mais vulgarmente exigidos de acordo com o que se pretende produzir. O trabalho foi desenvolvido em duas fases: a primeira envolve a introdução de um sistema de flutuação e de um sistema de

controlo de consistência da massa, assim como a selecção de produtos químicos a adicionar ao processo. A segunda fase será a avaliação do efeito destas medidas nas características do papel fabricado. Para o efeito foram escolhidos dois tipos de papel e de diferentes gramagens, nomeadamente Test-Liner de 80 g/m^2 e Fluting de 110 g/m^2 .

2. Estado da Arte na Indústria de Papel Reciclado

O Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos em Portugal, PERSU II constitui um instrumento estratégico director da gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) para o período 2007-2016, fundamental para que o sector possa dispor de orientação e objectivos claros. Este estabelece como objectivos quantitativos para a recolha de resíduos de papel/cartão um valor de 10% de aumento por cada ano prevendo-se atingir já em 2011 um valor de 361 mil toneladas de papel/cartão, e para 2016 um total de 570 mil toneladas [1].

A CEPI (Confederation of European Paper Industries), a ERPA (European Recovered Paper Association) e a FEAD (European Federation of Waste Management and Environmental Services), implementaram um Sistema Europeu de Identificação de Papel Recuperado, estando a funcionar desde 2009, com vista à promoção do resíduo papel, classificando-o como produto. É um sistema de gestão de qualidade que incorpora nas suas actividades uma rastreabilidade dos fardos ao nível da indústria [2] [3].

Actualmente 50% da matéria-prima da indústria do papel tem origem no papel/cartão velho. O papel é o produto mais reciclado da Europa, encontrando-se na liderança no que respeita à sua utilização para reciclagem, com uma taxa de 64,5%. A indústria do papel tem sido uma força impulsionadora de forma a atingir-se essa taxa e faz parte de uma nova iniciativa para elevar essa taxa para valores mais elevados [4].

Através de uma monitorização realizada por estas três associações europeias, entre 2005 e 2010, conclui-se que a taxa de reciclagem de papel e cartão reciclado atingiu em 2010 o valor de 68,9%, verificando-se um aumento significativo nos últimos 15 anos (figura 2.1). O total do papel recolhido e encaminhado para reciclagem atingiu um valor de 50 milhões de toneladas, o mesmo previsto no ano anterior, representando um aumento de 5,8 milhões de toneladas quando comparado com o ano de 2004, ano de referência para a meta actual que a indústria fixou para o aumento da reciclagem na Europa [5].

European Paper Recycling 1995-2010



Figura 2.1 – Evolução do papel reciclado na Europa, 2005-2010 [5]

A Europa em 2009 viu a sua produção de papel baixar 10,4%, sendo Portugal o 11º maior produtor europeu de papel e cartão – com 1,8% do total - e o 2º maior produtor de papel fino não revestido (UWF) – com 11,6% da produção total. Portugal recuperou 55% do papel consumido e reciclou 26%, e recuperou 69% das embalagens de papel colocadas no mercado [6] [7].

Em Portugal as quantidades recolhidas do fluxo urbano, bem como outros fluxos, nomeadamente o comércio, serviços e indústria, atingiu em 2010 um valor de 780 toneladas de papel/cartão, em que cerca de 13% foi utilizado para valorização energética e o restante, 87% foi utilizado para a sua reciclagem [7] [8].

- Os dados indicativos mais recentes e disponíveis, 2009, referem que a produção total de papel e cartão foi de 1,619 milhões de toneladas, um valor ligeiramente inferior ao verificado no ano anterior (- 2,5%) [8].

Em 2009 a captação de água total foi aproximadamente de 97,2 milhões de m³. A sua captação pela indústria papelreira tem conhecido um sucessivo e consistente decréscimo ao longo dos últimos anos [8].

Estes resultados devem-se a um criterioso programa de investimentos que tem vindo a otimizar o uso deste recurso em cada fase do processo produtivo, traduzindo-se em melhorias significativas neste campo. Em 2009, a água utilizada pela indústria papelreira, à semelhança de anos anteriores, teve origem principalmente em captações superficiais (rios e albufeiras) que representaram 66% do total de água captada [6].

No entanto têm-se realizado estudos científicos no sentido de otimizar a problemática do consumo de água por parte deste tipo de indústria, principalmente em certos países, como é o caso da Índia em que a indústria de pasta e papel é considerada uma das mais poluentes do país e maiores consumidores de água, assim como o sector agrícola. Um estudo científico realizado por Tewari et al. [10], sugerem efectuar tratamento dos efluentes da indústria da pasta e papel, utilizando-se para o efeito tecnologias de tratamento por processo de lamas activadas, e aplicar a água tratada para irrigação na agricultura.

Estudos científicos realizados por Laurijssen et al. [11], referem que a indústria do papel representa cerca de 6% da utilização de energia no universo industrial. Apresenta-se como um utilizador intensivo de energia eléctrica. A fase de secagem representa cerca de 50% do consumo numa fábrica de papel, para produção de calor. Várias medidas têm-se tomado para reduzir a utilização de calor, utilizando-se por exemplo multicilindros convencionais. Esta fase do processo tem sido alvo de alguma investigação, avaliando-se o efeito sobre o consumo de energia, com vista a adoptar medidas de optimização que incluem reduzir a quantidade de evaporação da água através da aplicação de aditivos em consistências mais elevadas e através da redução da viscosidade da água, mas também aumentar a quantidade recuperada de calor, utilizando-se ar expelido para não só pré-aquecer o ar de entrada mas, também para aumentar a temperatura da água de processo. O potencial de poupança de calor térmico devido as acções de optimização de papel poderão reduzir em 32% o custo energético, em comparação com a situação de referência.

Um estudo científico realizado por Vieira e Rocha [12] utilizou polpa de celulose reciclada, secando-a num secador convectivo e comparou com a secagem em condições de ambiente natural. As propriedades físicas do papel (teor de humidade, gramagem, espessura, densidade aparente e absoluta, porosidade, alongamento, tensão e resistência de ruptura, estabilidade dimensional a absorção de água) foram determinadas, assim como a influência da temperatura do ar de secagem e velocidade na qualidade final do papel seco, sobre essas propriedades. O estudo conclui que para qualquer dos parâmetros o secador convectivo foi mais eficaz, apesar do consumo energético associado. Na gramagem, tensão, resistência de ruptura e estabilidade dimensional, constatou-se que os valores diminuem se forem utilizadas temperaturas de secagem muito elevadas, 92°C, obtendo-se melhores resultados a 80°C.

Outro estudo científico realizado por Rahman et al. [13], incidiu na selecção da matéria-prima, em alternativa à selecção manual que é prática comum em todo o universo da indústria da reciclagem do papel. Esse estudo afirma que sistemas de triagem automatizada de papel oferecem vantagens significativas sobre a inspecção humana em termos de fadiga dos trabalhadores, rendimento e velocidades de precisão. A pesquisa procurou desenvolver um sistema de sensor inteligente capaz de separar os diferentes tipos de papel. Para a

construção de uma base de dados modelo foi utilizada uma abordagem estatística e técnicas variadas de intra-classe e inter-classe que serão aplicadas ao processo de selecção. O estudo conclui que o sistema torna o processo de escolha mais célere, promovendo um aumento de produção e conseqüente influência na qualidade do papel fabricado.

É premente num mercado competitivo como o que se vive actualmente, procurar soluções inovadoras em áreas que interferem directamente com o produto final. Os estudos científicos referidos, em geral, incidem sobre uma poupança de energia, água e reutilização de água residual. No sector da reciclagem de papel ainda se encontram lacunas no que respeita à investigação científica, fundamentalmente na procura de soluções para processos com especificidades como o apresentado neste trabalho, que além de procurar atingir estes mesmos objectivos, procura também estudar soluções, intervindo no processo, no sentido de melhorar as características da pasta de celulose e conseqüente melhoria do produto final produzido, o papel.

3. Apresentação e localização da empresa

A Fábrica de Papel “Ponte Redonda” (figura 3.1) situa-se 3 Km a sul de Espinho na freguesia de Silvalde, no lugar de Gulhe, junto à ribeira de Paramos. A escolha deste local para o estabelecimento de uma fábrica de papel, teve como razão principal a abundância de água da ribeira de Paramos, que fornecia a água necessária ao fabrico de papel e facilitava o aproveitamento energético através de três rodas hidráulicas.



Figura 3.1 – Instalações da fábrica de Papel da Ponte Redonda

Foi fundada em 1848, por José de Almeida de Moreira Pinto. Em 1923, foi arrendada aos actuais proprietários, uma família de Paços de Brandão, ficando com o nome Manuel José de Oliveira na actividade da empresa.

No ano de 1947, é alargado o âmbito familiar, tendo-se passado à sociedade Manuel José de Oliveira & C.^ª, Lda., que foi procedendo a modernizações através da introdução de novas tecnologias, quer no fabrico de sacos quer nas operações relacionadas com o fabrico de papel reciclado, mas incidindo preferencialmente no fabrico dos sacos.

No decorrer deste ano de 2011, a sociedade constituída por dois irmãos passa a ser constituída apenas por um deles, por compra de quotas, levando a um esforço acrescido em termos económicos para a empresa e para a família representada por esse sócio, que passa a deter 100% da sociedade Manuel José de Oliveira & C.^ª, Lda.

As exigências do tempo e da sobrevivência foram operando transformações. Do fabrico folha a folha, evoluiu para o sistema de fabrico contínuo, em forma redonda, ficando

como o principal marco histórico para a empresa, que teve início com uma única máquina, máquina essa que foi criada e montada pelos proprietários da altura.

Em 1940 deu-se o início à produção de sacos na empresa. Estes sacos, produzidos manualmente, tinham como alvo o sector das mercearias. Nos anos 50 surgem os sacos multi-folhas de confecção manual. A partir do ano 1960 a “Ponte Redonda” dedicou-se a esta actividade, transformados em papel, mas agora produzindo sacos num processo mecânico de multi-folhas.

Os sacos multi-folhas da “Ponte Redonda” destinam-se à embalagem de diversos produtos, tais como: congelados, produtos alimentares, produtos químicos (resinas), ração e farinhas.

Passados todos estes anos e com os meios de acção desenvolvidos na empresa, esta rapidamente atingiu uma boa imagem de marca que se impunha entre os restantes competidores no mercado.

A globalização dos mercados e a competitividade entre as empresas colocou o cliente numa posição central. Servir o cliente, se possível melhor que o concorrente, é um imperativo de sobrevivência e desenvolvimento. É o cliente que julga a empresa.

É hoje reconhecida e inegável a importância de Manuel José de Oliveira & C.^ª, Lda, para o distrito de Aveiro, no sector do papel e seus transformados, onde tem vindo a criar postos de trabalho, o que proporciona uma ajuda ao desenvolvimento regional, pela contratação de pessoas nas zonas limítrofes da empresa.

A estrutura humana da empresa assenta em 152 pessoas. O nível etário actual da empresa é de 35 anos.

O ano de 2011 marca o 163^º aniversário da existência da empresa Manuel José de Oliveira & C.^ª, Lda. A empresa tem actualmente clientes em todo o País, desde Viana do Castelo a Viseu, passando por Coimbra, Lisboa e Beja. A nível europeu a empresa está presente em vários países onde a maior parte dos sacos produzidos se destina.

A capacidade técnica e operacional da empresa, é bem evidente e é fruto da sua dimensão e profundo conhecimento do sector das embalagens e na produção de papel reciclado.

A empresa continua a desenvolver a sua acção no sentido de honrar a tradição de qualidade e valorização do sector papelero, um dos maiores geradores de riqueza do nosso País.

4. Fabrico de papel reciclado

No fabrico de papel encontram-se processos em que a matéria-prima utilizada consiste principalmente em fibra virgem, que tem origem normalmente na madeira de eucalipto quando se pretende obter fibra curta, ou madeira de pinho, quando se pretende obter fibra longa. Cada tipo de fibra produz diferentes tipos de papéis. O papel do tipo Tissue, ou papéis de escrita utilizam fibras curtas da madeira de eucalipto. As fibras longas da madeira de pinho são utilizadas para a produção de papéis mais resistentes, do tipo Kraft, normalmente utilizados para o fabrico de sacos para embalagens e caixas de cartão.

Na indústria de reciclagem de papel utiliza-se normalmente como matéria-prima apenas papel velho. Num processo de reciclagem de papel utilizam-se papéis de diversos tipos e origens, apresentando fibras curtas e longas, dependendo do tipo de papel. A produção de papel reciclado tem em consideração este aspecto procedendo por isso a uma selecção para poder fabricar o tipo de papel que pretende.

Um processo que utilize papel velho, utiliza fibra “velha” e que possivelmente já foi reciclada mais do que uma vez. Como tal, não é fácil obter-se um papel de elevada qualidade num processo deste tipo.

4.1. Generalidades

Apesar do ramo papelheiro ter evoluído numa indústria complexa, com capacidade de produzir uma larga variedade de produtos por muitos e diversos processos, a verdade é que persiste uma semelhança subjacente a todos os papéis e cartões no que diz respeito ao respectivo fabrico.

Independentemente do produto final, as operações ou processos que têm de ser levados a cabo sobre as matérias-primas para as transformar no artigo desejado são muito semelhantes.

Estas operações básicas são comuns a todos os produtos, ligeiramente modificadas, no entanto, de modo a dar origem a pequenas ou grandes diferenças no produto final.

Para além disso, todos os produtos papelheiros derivam praticamente das mesmas matérias-primas: as fibras de celulose provenientes dos troncos das árvores.

Os sacos de papel, os cartões, papéis de impressão, papéis de parede, entre outros, podem ser feitos a partir dos mesmos materiais fibrosos e em que geralmente seguem as mesmas fases essenciais do processo tecnológico. As diferenças entre os produtos finais vão resultar do modo como as fibras são tratadas no fabrico específico de cada um.

As operações mais comuns usadas no fabrico de papel estão representadas esquematicamente na figura 4.1

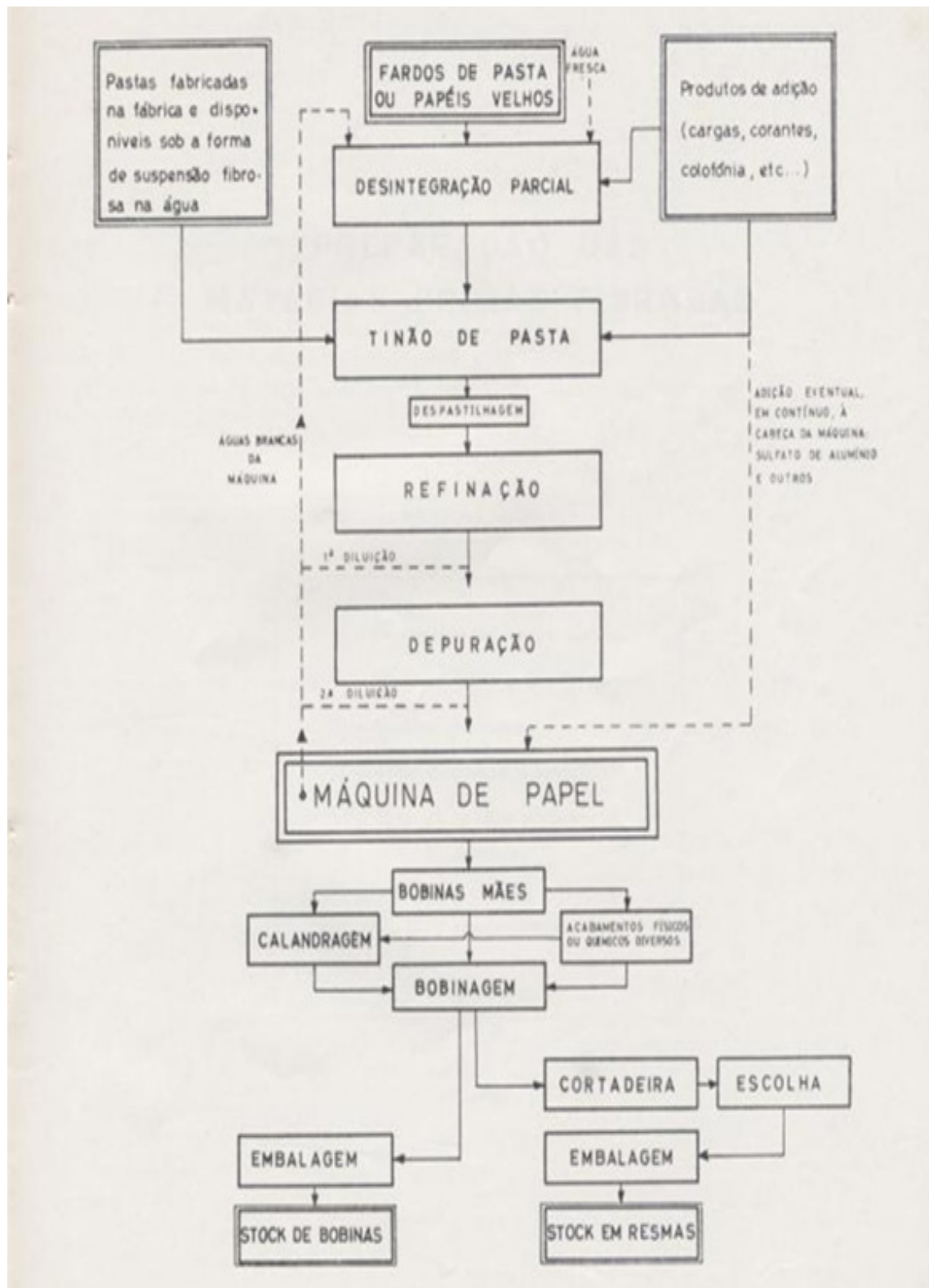


Figura 4.1 – Esquema de fabricação de papel [13]

Todos os produtos papeleiros são formados por fibras que foram previamente extraídas das matérias-primas e separadas individualmente.

Este processo é designado por mistura (mix). Esta pode variar desde uma simples mistura com água até as mais complexas operações de desintegração (pulping) [14].

Logo que as fibras se encontrem bem separadas, são despejadas sobre um crivo, de modo a formar-se a pasta, em resultado da drenagem (drain) da mistura água-fibras através dos orifícios desse mesmo crivo [14].

A pasta passa então pelas fases de depuração e refinação. Estas etapas preparam a pasta de forma a melhorar as suas características permitindo formar uma folha de papel com características aceitáveis [13]. De referir que na figura 4.1 a fase de refinação ocorre antes da fase de depuração. No processo da Ponte Redonda verifica-se o oposto, a fase de depuração ocorre antes da fase de refinação. Devido ao tipo de papéis produzidos a empresa adoptou este modelo e como tem obtido bons resultados nos papéis produzidos, tem mantido assim o processo.

Posteriormente a pasta é alimentada à máquina de papel onde se dá origem à formação da folha de papel. A pasta é depois prensada e seca para se completar a sua transformação em papel, seguindo-se uma fase de secagem da folha e finalmente a bobinagem.

Estas fases do processo estão descritas mais pormenorizadamente no capítulo seguinte.

Na indústria papeleira o aparecimento do produto final é o resultado de uma série de operações unitárias sequenciais.

Num processo deste tipo tudo começa a partir de uma matéria-prima inicial que pode ser tudo que contenha fibras papeleiras desde toros de madeira a papéis velhos.

A natureza da matéria-prima e as características do produto final determinam que operações devem ser efectuadas para o fabrico respectivo. Desde o ponto de partida até ao fim do processo, cada passo terá um maior ou menor impacto nas características do papel.

Embora algumas das operações possam ser comuns a diversas qualidades de papéis o acompanhamento de cada passo do processo é a maior importância tendo em vista o produto final que se pretende obter.

4.2. Matérias-primas

Para produzir papel reciclado na Ponte Redonda é necessário papel velho de várias categorias, que podem ser facilmente adquiridos nos pequenos recolhedores/armazenistas da região, já devidamente escolhido e separado de acordo com as categorias descritas na norma NP EN 643 1995 – Lista das qualidades correntes europeias de papéis velhos que a seguir se apresentam.

- Grupo A – Qualidades correntes
 - A1 – Papéis e cartões misturados (não escolhidos)
 - A2 – Papéis e cartões misturados (escolhidos)
 - A3 – Recortes de cartão plano
 - A4 – Embalagens de grandes espaços comerciais
 - A5 – Cartões canelados recuperados
 - A6 – Aparas de cartão canelado novo
- Grupo C – Qualidades superiores
 - C6 – Arquivos brancos misturados
 - C7 – Arquivos brancos sem pasta mecânica
 - C8 – Formulários em contínuo brancos sem pasta mecânica
 - C16 – Aparas brancas com pasta mecânica
 - C17 – Aparas brancas misturadas
 - C18 – Aparas brancas sem pasta mecânica
 - C19 – Aparas brancas de papéis não revestidos sem pasta mecânica
- Grupo D – Qualidades Kraft
 - D0 – Cartão canelado de cor natural
 - D1 – Cartão canelado Kraft de 2.^a
 - D2 – Cartão canelado Kraft de 1.^a
 - D5 – Kraft usado
 - D6 – Kraft novo

4.3. Preparação da pasta

A preparação da pasta de papel é uma fase do processo de extrema importância para o fabrico de papel. É uma fase que envolve a extração da fibra do papel velho, passando pela depuração e tratamento da fibra de forma a atribuir-lhe as características necessárias para a formação de uma folha de papel com qualidade.

A preparação da pasta engloba um conjunto de operações que podem ir desde a desintegração, refinação, adição de produtos químicos, cargas e processos de limpeza.

Este conjunto de operações pode ter diferentes caminhos para a obtenção da pasta que se pretende obter. Na Ponte Redonda tem-se vindo a melhorar o processo em si, na escolha de equipamentos e como estes são utilizados (por exemplo, na refinação ou no tipo de mesa de formação), na matéria-prima, na utilização de produtos químicos, entre outros. Como tal o processo que se descreve refere-se ao da Ponte Redonda [14].

A fonte de matéria-prima para o fabrico de papel, no processo da Ponte Redonda, é o papel velho, principalmente cartões e outros papéis fabricados inicialmente com pastas cruas que estão divididas em dois escalões: papel Kraft de primeira e mistura. Todo o papel velho é cuidadosamente seleccionado e introduzido no processo com dois destinos diferentes conforme se trata de papéis do tipo Fluting, com vista ao fabrico de sacos como folhas intermédias ou produção de cartão canelado, nas caneluras ou papéis do tipo Kraft, cuja finalidade principal é o fabrico de sacos, como primeiras folhas ou folhas intermédias, ou no cartão canelado como folhas interiores e exteriores do cartão canelado.

A reciclagem é o aproveitamento das fibras celulósicas de papéis usados e aparas para a produção de novos papéis. Para a produção de papéis com características específicas (de determinado tipo de papel) deve haver uma selecção apurada dos papéis velhos que irão ser reciclados.

A reciclagem do papel contribui para o aproveitamento do papel velho e diminui também o consumo de fibra virgem que por sua vez diminui o abate de árvores e o custo energético. No entanto o papel reciclado necessita de tratamento adequado para retirar as impurezas porque estas vão interferir com a qualidade do produto final e podem causar problemas graves na máquina do papel. Para tal, as fábricas de papel reciclado necessitam de equipamento adequado para esse fim.

O papel mistura é principalmente utilizado para a fabricação do papel Fluting, porque é um papel mais económico e as características das fibras são as mais adequadas para o tipo particular de resistência que se pretende obter nos sacos ou nas caneluras, principalmente fibra curta ou então muito refinada ou partida. Ao utilizar papéis velhos como matéria-prima, é conveniente adicionar amidos especiais para aumentar a rigidez, no caso de se pretender obter melhores resultados no ensaio mecânico de Esmagamento.

O papel Kraft de primeira destina-se à fabricação dos papéis Test-Liner e Kraft-Liner, usados em coberturas interiores e exteriores respectivamente.

4.3.1. Desfibração ou desintegração

A fábrica está equipada com um desfibrador (pulper) de rotores horizontais, que tem uma capacidade de 1000 kg de pasta a 18%-20% de consistência. É um desfibrador cilíndrico não contínuo, com dois agitadores nas extremidades do cilindro (figura 4.2), que promove uma agitação violenta, para a desintegração dos papéis velhos e desperdícios, levando à homogeneização da pasta [13].

No lado interior do rotor encontra-se uma câmara de extracção, através da qual a pasta desagregada é retirada do desfibrador (pulper).



Figura 4.2 – Pulper da Ponte Redonda

Inicialmente, como sistema de limpeza da pasta, existia uma corda que oscilava no remoinho, e na qual se enrolariam plásticos, panos, arames e outros materiais indesejáveis. Actualmente, utiliza-se um ferro com as extremidades em gancho para o mesmo efeito.

4.3.2. Tanques de reserva

A fábrica possui tinões horizontais construídos em betão e tanques em inox. Os designados vulgarmente por tinões (figura 4.3), utilizam-se para armazenar a pasta onde é mantida em movimento constante por meio de um agitador em hélice, de modo a conservar de forma homogénea a concentração e a distribuição de todos os elementos fibrosos bem

como os produtos adicionados consoante o papel pretendido. Do tanque de descarga, a pasta é bombeada para um depurador de massa grossa (espessa). Os tanques de inox utilizam-se para armazenamento de água fresca para o processo.

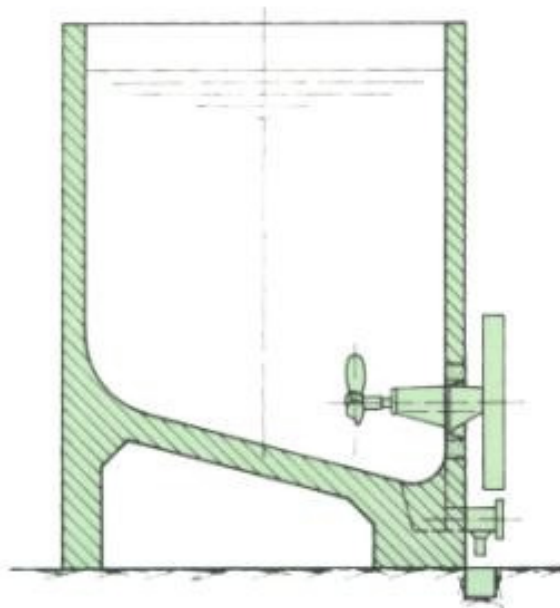


Figura 4.3 – Tinão [15]

4.3.3. Depuração

Designa-se por depuração a operação que visa remover os materiais rejeitados pesados (areias, metais, etc.) servindo de protecção aos equipamentos subsequentes. Para esta tarefa utiliza-se um depurador ciclónico, seguido de dois depuradores do tipo CH5, CH5 ranhuras e CH5 furos respectivamente (figura 4.7) e de um despastilhador. Os rejeitados do depurador CH5 ranhuras passam ainda pelo despastilhador, para reduzir a perda de fibra, passando em seguida para o depurador CH5 furos [13], [15].

Nas figuras 4.4 e 4.6 apresentam-se um corte do depurador ciclónico de pasta grossa e dos depuradores CH5, respectivamente.

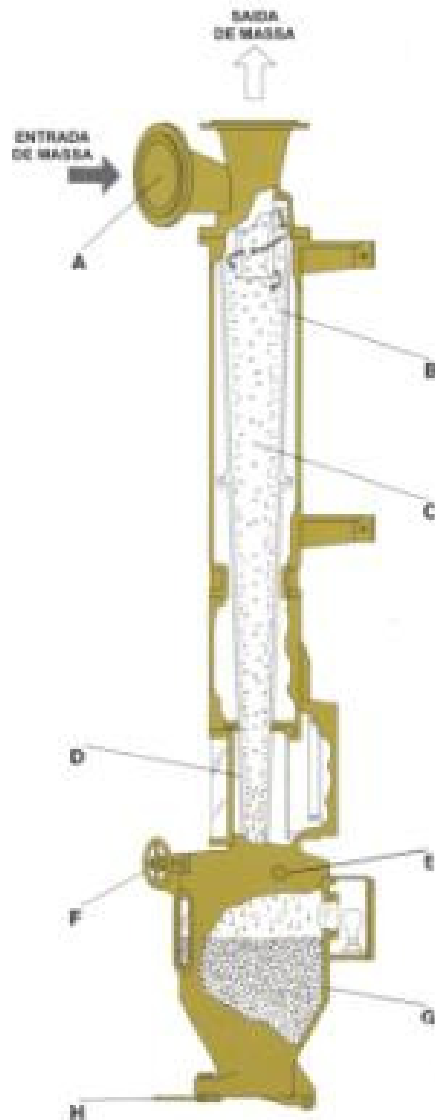


Figura 4.4 – Depurador ciclónico de pasta grossa [15]

A pasta entra a um caudal constante no depurador ciclónico (figuras 4.4 e 4.5) por uma cabeça de alimentação munida de um deflector em espiral (A). As partículas de maior densidade são centrifugadas ao longo da parede cônica em direcção à base (B). As fibras de celulose formam uma coluna central ascendente (C), a partir da inversão do vórtice inicial, que se dá na base do cone (D), saindo do depurador pelo topo. As impurezas são recolhidas na pêssega de extração (G), que pode ser evacuada pela válvula de fundo (H). Para se poder escoar a pêssega é necessário fechar a válvula de topo (F) e voltar a encher a pêssega com água limpa (E) antes de a abrir para não haver quebra de pressão que poderia afectar os vórtices [14].

Na figura 4.6 pode-se observar um depurador CH5 em corte.



Figura 4.5 – Depurador ciclónico de pasta grossa da Ponte Redonda

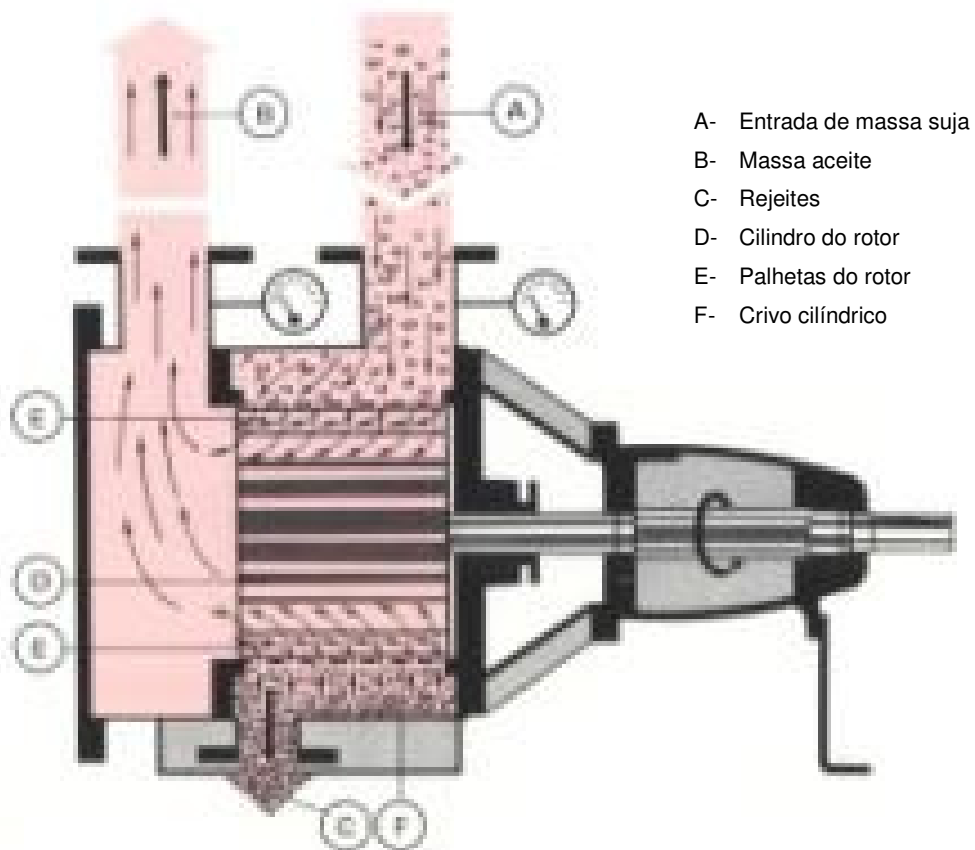


Figura 4.6 – Depurador CH5 em corte [15]

Na figura 4.7 podem-se visualizar os dois depuradores CH5 da Ponte Redonda. O princípio de funcionamento do depurador CH5 é em tudo semelhante ao funcionamento de uma bomba centrífuga, à exceção de o fluido a “bombear” ser obrigado a passar por um cilindro perfurado [15]. A diferença entre os dois depuradores CH5, está neste cilindro perfurado sendo que o primeiro por onde a pasta passa denomina-se CH5 Ranhuras, em que a dimensão dos furos por onde passa a pasta é de 0,35 mm, e o segundo denomina-se por CH5 Furos, em que a dimensão dos furos é de 3 mm.



Figura 4.7 – Depuradores CH5 da Ponte Redonda

À saída dos depuradores encontra-se um despastilhador J.M. VOITH (figura 4.8) para solucionar o problema das partículas não desfibradas. Este é constituído por um rotor e um estator de discos, operando a altas velocidades e pequenas aberturas.



Figura 4.8 – Despastilhador J.M.Voith da Ponte Redonda

4.3.4. Refinação

A refinação tem por finalidade conceder ao material fibroso uma estrutura adequada quanto à dimensão e fraccionamento da fibra, dando à fibra um determinado grau de hidratação, do qual depende o desenvolvimento de forças de ligação entre fibras. Com esta operação podem-se melhorar as características finais do papel, resistência à tracção, elasticidade, rebentamento, absorção de água, etc. [14].

É de salientar o trabalho importantíssimo dos refinadores, os quais modificam fisicamente as fibras e que, por tal razão, são da maior importância no desenvolvimento das características de resistência do papel [14].

Mas, como se utiliza papel velho, a fibra já vem refinada, fazendo com que esta operação seja minimizada e funcione apenas como uma operação de desintegração e não refinação, porque a maior preocupação é a separação das fibras e não fraccioná-las ainda mais.

Esta operação pode ser dividida em quatro etapas em que por acção das lâminas dos discos do refinador as fibras vão sofrer [14]:

1. destruição da primeira camada protectora das células (fibra) acompanhada de fibrilação superficial;
2. separação das fibras finas:
3. libertação dos grupos hidroxilo sobre a superfície externa da fibra e absorção de água;
4. esmagamento e hidratação que tornam as fibras mais elásticas e aumentam os pontos de contacto.

A entrada de pasta no refinador (figura 4.9), é feita tangencialmente ao eixo, passando depois por entre as lâminas do estator e do rotor, de forma a ser “batida”.



Figura 4.9 – Refinadores da Ponte Redonda

4.3.5. Depurador cabeça de máquina

Na Ponte Redonda na fase do processo da máquina de papel existe um refinador MASSON SCOTT à cabeça da máquina, para garantir todas as características físicas da pasta à entrada da máquina do papel.

Este equipamento (figura 4.10) enquadra-se na depuração, mas não na fase de depuração mencionada na secção 4.3.3, dado que este se encontra numa fase mais avançada do processo, mesmo antes da caixa de chegada, na máquina do papel. Apesar de ser um depurador a sua função é diferente dos equipamentos da fase de depuração, dado que este trabalha com pasta limpa.



Figura 4.10 – Depurador cabeça de máquina da Ponte Redonda

A sua função é desfazer pequenos aglomerados de fibra, controlando de certa forma a consistência à alimentação da máquina de papel. Estes pequenos aglomerados de fibra ocorrem devido à estabilização da pasta, no tinão, que se encontra depois do refinador, e antes de entrar na máquina de papel. Devido ao tempo de retenção no tinão a que esta pasta é sujeita, formam-se aglomerados indesejados, devido essencialmente a ligações preferenciais que ocorrem na pasta.

O princípio de funcionamento é muito semelhante ao dos depuradores CH5.

4.3.6. Adição de produtos químicos

Uma folha que contenha exclusivamente fibras celulósicas não possui as características desejadas para a utilização normal dos papéis pois produzida só com fibras de celulose, a folha é porosa, mal acabada, pouco resistente, quer em seco, quer, principalmente, a húmido; a sua opacidade é insatisfatória.

Para corrigir estas deficiências, são adicionados produtos químicos para atribuir ou melhorar certas propriedades dos papéis, ou para eliminar ou reduzir certos defeitos da operação do processo [15]. Segue-se a descrição dos produtos químicos utilizados na Ponte Redonda.

- **Anilina**

A anilina é adicionada no início do processo de fabrico da pasta, na fase de desfibração, no pulper, e tem como objectivo dar coloração ao papel.

- **Hipoclorito de sódio**

O hipoclorito de sódio é utilizado como agente anti-microbiano nos tanques de armazenamento de água de processo. Tem como objectivo minimizar a acção microbiana presente na água do processo.

- **Mirecide M/86 (Antimicrobiando)**

O Mirecide M/86 é utilizado como agente anti-microbiano no início do processo, adicionado no desfibrador e tem como objectivo minimizar a acção microbiana presente na pasta do papel.

- **Pax-18 (Polihidroxicloreto de alumínio)**

O Pax-18 é um coagulante que pode ser adicionado no início do processo de fabrico, na fase de desfibração, no pulper, e tem como objectivo actuar como agente de retenção. O agente de retenção tem como função o de agregar as fibras presentes e dispersas na pasta, pois com uma consistência de cerca de 15%, a fibra encontra-se pouco agregada dificultando a sua união, daí este produto proporcionar uma melhor e mais rápida ligação entre estas. Este produto químico não é utilizado em todo o tipo de papéis fabricados pela empresa, sendo utilizado nos papéis aqui em estudo.

- **Sulfato de Alumínio**

O sulfato de alumínio é também um coagulante que pode ser adicionado no início do processo de fabrico, na fase de desfibracção, no pulper, e tem como objectivo actuar como agente de retenção. Este produto químico é apenas utilizado em papéis crepados para embalagem em vez do Pax-18. A escolha do sulfato de alumínio para este tipo de papéis deve-se essencialmente ao melhor comportamento que apresenta como agente de retenção, e atendendo a que os papéis crepados comportam maiores resistências, exigem um agente de retenção mais eficiente, como é o caso do sulfato de alumínio.

- **Cola**

A cola é adicionada na parte final do processo, mesmo antes de entrar na máquina de papel, depois do depurador cabeça de máquina e antes da caixa de chegada. Esta é adicionada num pequeno depósito de expansão, que se encontra à saída do depurador cabeça de máquina. A escolha é estratégica pois provoca um pequeno turbilhão na pasta de modo a promover uma mistura homogénea.

- **Amido Catiónico (Polissacarídeo catiónico)**

O amido catiónico é adicionado no início do processo de fabrico, na fase de desfibracção, no pulper. Este produto químico é utilizado para melhorar as características de resistência do papel, nomeadamente a rigidez.

- **Anti-espuma (mistura de álcoois gordos)**

O anti-espuma é adicionado na fase de formação da folha, na caixa de chegada, na máquina de papel. O seu objectivo é evitar a formação de bolhas na pasta sobre teia, quando a folha começa a ser formada. As bolhas são um grande inconveniente nesta fase pois quando presentes na teia rebentam dando origem a falhas estruturais no papel.

4.4. Máquina do papel

Existem na indústria do papel diferentes tipos de máquina de papel, as de forma redonda e as de mesa plana. Nas de forma redonda, ao contrário das máquinas de papel de mesa plana, a suspensão fibrosa é alimentada na parte inferior da tela, fixando-se a esta, passando de seguida para as prensas. Nas máquinas de papel de mesa plana, a suspensão fibrosa é alimentada à superfície da tela pela caixa de chegada, percorrendo alguns metros antes de chegar às prensas. Neste trabalho, a máquina utilizada foi uma Fourdrinier de mesa plana.

A pasta, composta de fibras refinadas e alguns aditivos, depois de bem homogeneizada num tanque, é conduzida até à caixa de chegada. Antes de entrar na caixa de chegada, a pasta é diluída até à consistência desejada com água reciclada proveniente da drenagem da tela da própria máquina de papel.

Da caixa de chegada, a pasta é lançada na tela formadora da máquina, com capacidade de formar folhas com gramagens compreendidas entre 60 a 300 g/m², com uma largura de 2,50 m. Nesta tela é onde existe a maior percentagem de remoção de água existente na estrutura fibrosa com o auxílio das caixas aspirantes, roletes e hidrofoils.

Os roletes e hidrofoils, são equipamentos colocados estrategicamente, na máquina de papel, na parte inferior da tela que à sua passagem irão remover a água que vai atravessando a tela devido à sua porosidade. As caixas aspirantes, que se encontram a jusante dos roletes e hidrofoils têm a mesma função, o de remover água da tela, mas por efeito de sucção. Nesta parte da máquina, e por acção de duas bombas de vácuo, cria-se um gradiente de pressão negativo de forma a obrigar a água existente na pasta, a passar pela tela. Nesta fase a remoção terá de ser maximizada, para que a fase posterior, prensagem, seja mais eficiente [16].

A água é retirada primeiro por drenagem, depois por prensagem e finalmente secagem, por aquecimento.

A parte húmida da máquina de papel pode ser dividida em três partes principais, a caixa de chegada, a mesa de formação e as prensas. Posteriormente encontra-se a secagem e o enrolamento.

A velocidade máxima da máquina de papel situa-se nos 60 m/min com uma largura da tela de 3 m.

4.4.1. Parte húmida da máquina do papel

A parte húmida da máquina (figura 4.11) de papel compreende:

- i. Caixa de chegada

A caixa de chegada é o primeiro elemento da mesa plana e está localizada logo após o sistema de alimentação. As suas funções principais são: eliminar o excesso de turbulência no circuito e o fluxo irregular no alimentador, estabilizar a velocidade deste fluxo e enviar a pasta à tela.

Existem vários tipos de caixas, mas neste processo é usada uma caixa aberta.

ii. Mesa de formação

A mesa de formação (figura 4.12) dá início à formação da folha de papel. A pasta é alimentada à tela que se encontra em constante movimento e uma ligeira vibração. Ao deixar a tela, a folha de papel é ainda muito frágil porque contém 4 a 6 partes de água por cada parte de fibras [16].



Figura 4.11 – Suspensão fibrosa na mesa de formação da Ponte Redonda



Figura 4.12 – Mesa de formação plana da Ponte Redonda

A mesa de formação está instalada entre o rolo cabeça de máquina e os hidrofoils e serve de suporte à tela ao receber o jacto de pasta vindo da caixa de chegada.

De seguida descrevem-se os processos que ocorrem em cada um dos seus componentes.

- Rolo cabeça de máquina

O rolo cabeça de máquina serve de suporte à tela na parte inferior da caixa de chegada, evitando o enrugamento e a deflexão da tela. É feita em aço e revestida com fibra de vidro ou borracha para evitar a corrosão.

- Formação e drenagem

A água da suspensão fibrosa é removida por gravidade e com o auxílio de outros meios, como a sucção das caixas de vácuo e pressão das prensas.

O controlo da drenagem é muito importante, porque dele depende a qualidade da folha de papel que está a ser formada, influenciando a orientação das fibras e a formação da folha.

- Chuveiros limitadores

São jactos de água colocados sobre a tela, que cortam a folha e a limitam lateralmente.

- Roletes

Normalmente conhecidos como rolos de mesa, estes rolos criam uma sucção que provoca drenagem da água nos pontos de contacto com a tela, sendo proporcional ao diâmetro do rolo e à velocidade da tela. No caso de haver necessidade de reduzir sucção utilizam-se rolos ranhurados, já que a área de contacto com a tela é menor.

- Deflectores

A função principal dos deflectores é evitar que a água drenada pelos roletes volte para a tela. São colocados entre os roletes e servem ainda para sustentar a tela.

- Hidrofoils

São elementos estáticos de drenagem constituídos por uma lâmina, cuja inclinação varia entre 20 e 50%. Os hidrofoils utilizam o mesmo princípio hidrodinâmico dos roletes de drenagem para efectuar a sucção.

- Caixas de vácuo ou aspirantes

A drenagem por roletes e hidrofoils é pouco eficiente para um teor de sólidos entre 10 e 15%, daí o facto de se utilizar caixas aspirantes que são colocadas no fim da mesa, em toda a sua largura.

As quatro caixas de vácuo estão a uma pressão de 0,4 bar, fazendo aumentar a desidratação do papel, resultado da acção de duas bombas de vácuo.

A água removida do papel é aspirada por uma bomba de vácuo, que permite direccioná-la para o colector de água, promovendo-se deste modo a sua reutilização.

- Retorno da tela

O retorno da tela é a parte percorrida pela tela entre o último rolo e o rolo cabeça de máquina. Nesta fase, a tela descreve um percurso em ziguezague, sofrendo processos de lavagem, direccionamento e esticamento.

iii. Prensas

A folha nesta altura terá uma espessura bastante superior à que apresentará à saída da secaria, onde depois de deixar grande parte da água sobre a tela, é apertada entre cilindros que lhe reduzem a espessura (prensagem), aumentando a união entre fibras e extraíndo mais água [16].

A eficiência das prensas é tanto maior quanto maior for a eficiência da mesa de formação relativamente à remoção de água na suspensão fibrosa.

Na primeira prensa (figura 4.13) os eixos cilíndricos são sobrepostos. O cilindro superior é revestido a granito, com um diâmetro de 600 mm. O inferior, com diâmetro de 550 mm, é revestido a bonite (borracha) e é o que exerce uma pressão de 2,3 bar sobre o superior.



Figura 4.13 – Primeira prensa da Ponte Redonda

O segundo elemento de prensagem (figura 4.14) é um equipamento que tem dois cilindros que exercem pressão e um fixo, e os seus eixos são lado a lado. O de maior diâmetro (960 mm) é em ferro fundido e os de menor diâmetro (480 mm) são revestidos a borracha e exercem uma pressão de 2,6 e 2,7 bar.



Figura 4.14 – Segunda prensa da Ponte Redonda

Para a lavagem dos feltros utilizam-se jactos de água fresca a alta pressão e caixas aspirantes para a remoção da água e lixo. A utilização do flutuador irá permitir substituir a água fresca pela água clarificada obtida no tratamento.

As prensas utilizam raspadeiras para que se encontrem sempre limpas.

iv. Secaria

A secaria (figura 4.15) é constituída por dezasseis cilindros secadores e um arrefecedor, todos em aço carbono e divididos em três baterias.

O processo de secagem é conduzido em cilindros que são aquecidos através da injeção de vapor a diferentes pressões, utilizando-se para o efeito uma caldeira de vapor para a sua produção.

A diferentes valores de pressão estão relacionados diferentes consumos de energia, pela utilização da caldeira de vapor. A eficiência da secaria poderá ser melhorada quanto maior for a eficiência das duas prensas que se encontram à entrada da secaria, atendendo que o papel poderá apresentar diferentes teores de humidade na sua composição nesta fase o que leva a uma menor taxa de evaporação.

A primeira bateria é constituída por 5 cilindros, com 1520 mm de diâmetro, que utilizam 1,0; 1,4; 1,8; 1,8 e 1,8 bar de pressão de vapor. Esta fase de secagem consiste em elevar a temperatura até à temperatura de evaporação, sendo denominada por aquecimento de elevação.



Figura 4.15 – Secaria da Ponte Redonda

A segunda bateria é constituída por um cilindro de 2880 mm de diâmetro, utilizando vapor à pressão de 1,6 bar, denominado como cilindro friccionador, sendo este o que confere ao papel o acetinado de uma das faces. E um cilindro para acabamento com 2500 mm de diâmetro, utilizando vapor à pressão de 0,3 bar.

Por fim a terceira bateria, é constituída por nove cilindros, três com um diâmetro de 1120 mm e seis com um diâmetro de 960 mm, em que a pressão do vapor varia dos 1,0 aos 0,0 bar.

v. Enrolador

O enrolamento é feito com base no princípio de enrolamento por accionamento de superfície. Este sistema é constituído por um cilindro de aço e um par de braços móveis, nos quais se apoia os casquilhos onde será enrolado o papel.

Por cima do cilindro (figura 4.16) está colocado um casquilho auxiliar, apoiado em braços móveis, e a folha passa entre os dois antes de ser enrolado. O enrolamento faz-se forçando o casquilho contra o cilindro accionador.



Figura 4.16 – Enroladeira POP da Ponte Redonda

Quando a bobine atinge o tamanho máximo, rasga-se a folha, obrigando-a a enrolar-se sobre o casquilho auxiliar, sem que haja interferências na bobine pronta

4.5. Recuperação de fibra e água

A recuperação de fibras tem por finalidade, tal como o nome indica, recuperar todo o material fibroso existente nas águas provenientes da máquina de papel e tratar as águas de modo a poderem ser integradas no processo, sem afectar a qualidade.

Neste processo não há um equipamento específico para a recuperação de fibras, porque o circuito de águas é fechado, daí o interesse em incorporar no processo um sistema de flutuação. Na figura 4.17 é apresentado o processo de fabrico da Ponte redonda antes de se implementarem as medidas objecto deste trabalho.

Todas as águas são recirculadas e entram no processo através do sistema de águas para alimentar o desfibrador.

A água proveniente das caixas aspirantes da máquina vai para o decantador, seguindo para o tanque de alimentação do pulper.

A água retirada na máquina de papel (formação da folha, prensas e lavagem dos feltros) vai para o colectador geral, e posteriormente vai para a desfibradora.

As sobras de pasta da máquina vão para todos os tanques anteriores e para a desfibradora.

FLUXO PRODUTIVO DA EMPRESA PONTE REDONDA: PRÉ-MEDIDAS

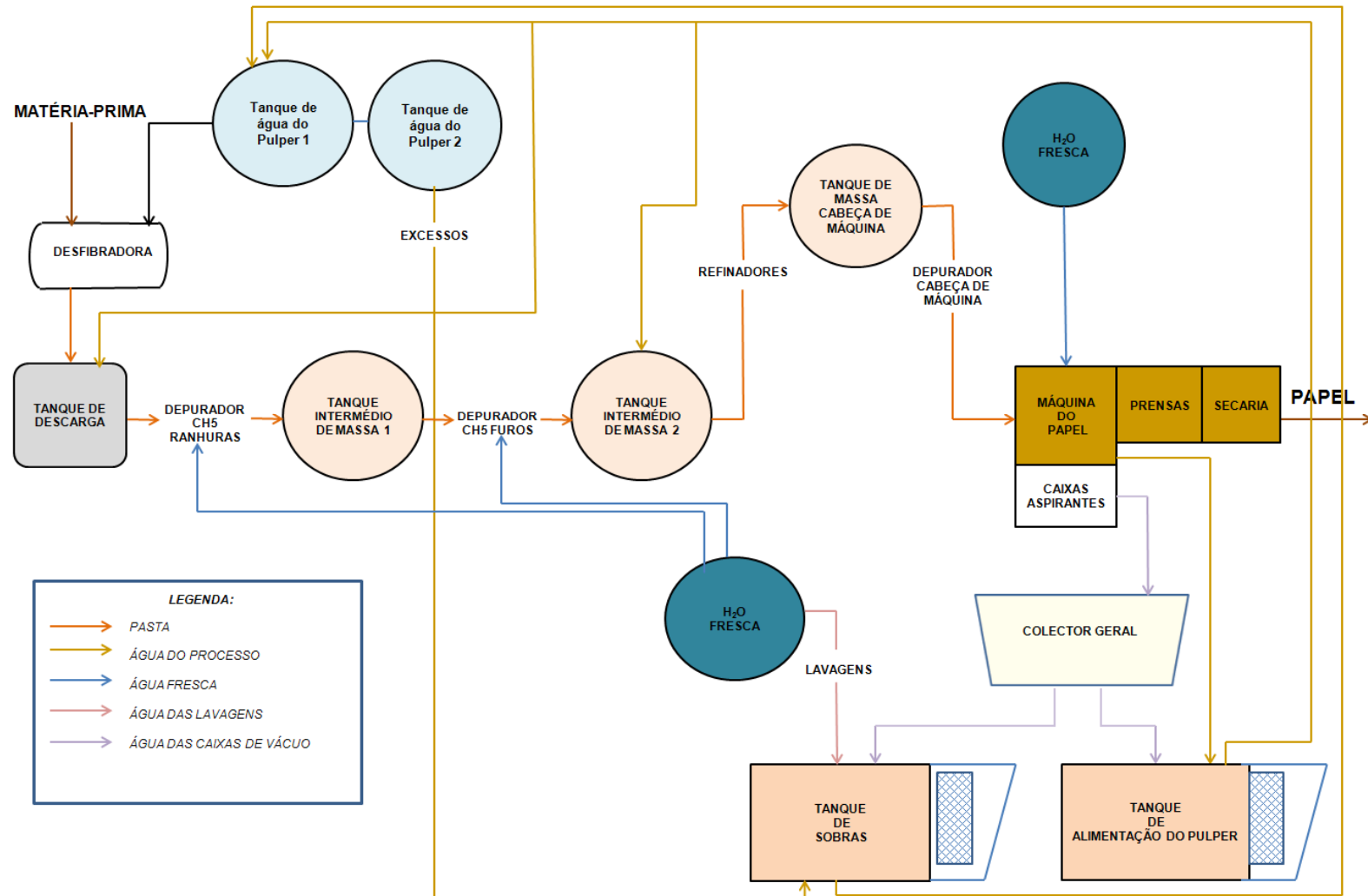


Figura 4.17– Fluxo produtivo da empresa Ponte Redonda (anterior à implementação das medidas)

5. Estudo laboratorial do papel

Para se conhecerem as características dos papéis fabricados, é necessário efectuar ensaios diversos, dependendo do tipo de papel em causa e da sua futura utilização. A seguir descreve-se os ensaios efectuados aos papéis aqui em estudo.

5.1. Introdução ao estudo laboratorial do papel

Grande parte dos papéis e cartões são geralmente comercializados com base nas características do seu fabrico e a sua utilização final.

O estudo das propriedades das pastas celulósicas baseia-se nas propriedades das fibras individuais e das pastas.

As propriedades das fibras são classificadas como morfológicas, físicas, químicas e topoquímicas, tal como se descreve a seguir:

- Morfológicas
 - comprimento médio da fibra;
 - largura da fibra;
 - espessura da parede;

- Físicas
 - absorção de água;
 - intumescimento;
 - resistência a húmido;
 - grau de polimerização;
 - índice de refração.

- Mecânicas
 - resistência intrínseca da fibra;
 - índice de ligação das fibras;
 - rigidez.

- Químicas
 - composição em celulose;
 - composição em hemicelulose;
 - composição em lenhina;
 - composição em extractivos.

- Topoquímicas

- distribuição de grupos moleculares especialmente perto da/ou na superfície.

O conjunto destas propriedades confere as características finais ao papel.

As características a analisar podem ser várias, dependendo da utilização do papel. Descrevem-se, a seguir, as características necessárias para o papel fabricado na Ponte Redonda para aplicação em sacos ou canelados, assim como os ensaios laboratoriais realizados de acordo com as normas em vigor e os equipamentos utilizados.

5.2. Características básicas e respectivos ensaios

Existem características que são comuns a qualquer tipo de papel fabricado. A estas características dão-se o nome de características básicas, e que se passam a descrever de seguida.

5.2.1. Gramagem

A produção de papel é expressa em quilograma (ou toneladas). Uma característica comum que o papel possui é a gramagem que se define como a relação entre a massa de uma amostra e a sua superfície.

Quando o cliente adquire o papel, tem interesse em saber qual a área de que dispõe. Daí ter sido necessário encontrar o parâmetro de medida que combine o peso e a superfície. Assim, a gramagem, medida internacional padrão expressa em gramas por metro quadrado permite que se conheça a quantidade de papel existente numa bobine, inclusive o seu comprimento. A gramagem das folhas (Liners) e das caneluras do cartão (Fluting) é muito importante, principalmente em termos económicos, mas influencia também indirectamente outras características físico-mecânicas do papel e do cartão.

O ensaio foi realizado após o acondicionamento das amostras em provetes com dimensões de 200×248 mm (0,050 m²), tal como se mostra na figura 5.1.



Figura 5.1 – Pesagem dos provetes numa balança digital

A norma utilizada para este ensaio é a NP EN ISO 536:1997 [17].

5.2.2. Espessura

É uma característica de muito interesse, nomeadamente para os impressores. Mede-se em mm ou μm .

A espessura do cartão canelado é um dos factores que tem uma grande influência na resistência à flexão do cartão.

Uma das consequências ao diminuir a espessura pode ser uma baixa qualidade da canelura que não tem capacidade para resistir à compressão dos rolos de alimentação, cilindros de impressão, etc., durante a transformação do cartão.

A espessura do papel é a distância entre as duas faces do papel medida na perpendicular sob condições determinadas. A espessura do papel foi medida com um micrómetro representado na figura 5.2.



Figura 5.2 – Medição da espessura do papel num micrómetro digital

A norma utilizada para este ensaio é a ISO 534:2005 [18].

5.3. Características de resistência

Nem todos os papéis fabricados têm o mesmo destino. Existem papéis fabricados para serem utilizados para diversos fins, sacos, cartão, papel decorativo, etc. Como tal as exigências no que respeita à sua resistência são diferentes em todos eles. Aqui apresentam-se os ensaios de resistência que se podem aplicar aos papéis em estudo.

5.3.1. Resistência à tracção e alongamento (SCT – short compressive strength)

O ensaio mais básico e mais fácil de entender é a resistência à tracção (R_t), representada pela equação 4.1. Neste parâmetro, o rasgamento, e o alongamento do papel influenciam a carga de rebentamento que, por isso, é também um indicador conveniente da “robustez” do papel.

Esta característica é medida numa tira de papel com 15 mm de largura colocada num aparelho que a estica até rebentar a amostra. Os resultados são expressos na força exigida para rebentar a amostra. Como é óbvio, o formato da amostra afectará os resultados. Daí a importância do seu cuidadoso controlo.

$$R_t = \frac{\text{força de ruptura (N)} * \text{comp. da amostra (m)}}{\text{largura da amostra (m)}} \text{ (N)} \quad (4.1)$$

No mesmo aparelho de ensaio mede-se o alongamento (Al), equação 4.2, ou seja, o grau de resistência ao “esticamento” antes de rebentar.

O alongamento exprime-se em percentagem do comprimento inicial:

$$Al = \frac{\text{Alongamento da amostra}}{\text{espaço entre garras}} * 100 \text{ (\%)} \quad (4.2)$$

A tracção e o alongamento são duas propriedades com muita importância para a utilização do papel na sua transformação. Nos impressores, o papel deve garantir facilidade em passar pelas prensas, nos fabricantes de sacos de outras embalagens é necessário que o papel garanta resistência ao seu manuseio: enchimento, transporte, manipulação, etc.

Este ensaio não foi realizado nas amostras dado não se ter tido acesso a este tipo de equipamento, o que não constitui um problema uma vez que os clientes não fazem exigência na realização deste ensaio.

A norma utilizada para este ensaio é a ISO 1924-2:2008 [19].

5.3.2. Resistência ao rebenamento

A resistência ao rebenamento é a pressão hidráulica necessária para fazer romper uma folha de papel quando aplicada uma força através de uma membrana de borracha. O valor da resistência ao rebenamento é equivalente à carga exercida até ruptura do papel.

Esta característica de resistência depende do grau de refinação e corte das fibras, gramagem, espessura, uso de aditivos e colas. Este parâmetro é também um indicador da “robustez” do papel, assim como o ensaio da resistência à tracção e alongamento.

O índice de rebenamento, equação 4.3, elimina a influência da pasta por m², uma vez que se admite que para uma dada quantidade de papel a razão Rb/m é constante. Na figura 4.3 apresenta-se o equipamento utilizado na sua determinação.

$$\text{Índice Rb} = \frac{\text{Resistência média (KPa)}}{\text{Gramagem (g/cm}^2\text{)}} \quad (\text{kPa.cm}^2.\text{g}^{-1}) \quad (4.3)$$



Figura 5.3 – Aparelho para determinação do índice de rebenamento

A norma utilizada para este ensaio é a ISO 2758:2001 [20].

5.4. Ensaio específicos

Atendendo a que os papéis podem ter aplicações diferentes, os ensaios a realizar terão de ser específicos e adequados à utilização que se pretende. Os ensaios aqui apresentados são os recomendados para os papéis em causa e suas possíveis aplicações.

5.4.1. Esmagamento em anel (RCT DT e RCT DM – ring crush test machine direction and transversal direction)

Para realizar estes ensaios cortam-se amostras com um comprimento de 152 mm e uma largura de 13 mm (figura 5.4), depois de o papel estar acondicionado (o papel deve encontrar-se dentro das condições de humidade e temperatura que refere a norma).



Figura 5.4 – Provetes de ensaio

A força de esmagamento em anel (RCT DT) é carga máxima que o papel disposto em forma de anel pode suportar sob uma compressão no sentido vertical.

O valor do RCT DT, referente à direcção transversal ao fabrico, do movimento da tela da máquina do papel, é da maior importância porque determina a contribuição da “cobertura” para a resistência do cartão à compressão vertical. Esta permite prever a capacidade de empilhamento das caixas de cartão canelado, em transporte ou em armazém.

A determinação do RCT pode ser limitada à direcção transversal do papel porque a direcção das caneluras é normalmente vertical nas faces da caixa que suportam as cargas verticais o que significa que a cobertura é verticalmente comprimida na sua direcção transversal de fabrico.

A força de esmagamento em anel (RCT DM) é a carga máxima que o papel disposto em forma de anel pode suportar sob uma compressão no sentido do movimento da tela da máquina do papel (direcção máquina) e determina a tensão que uma folha poderá suportar no sentido longitudinal. Este ensaio tem maior importância quando o papel vai ser utilizado

para fabrico de sacos, pois determina a resistência do papel não só no sentido transversal da máquina mas também no sentido máquina.

Este ensaio é realizado procedendo-se do seguinte modo: forma-se um anel com uma tira de papel, cortada no sentido transversal da folha e outras cortadas no sentido da direcção máquina respectivamente, e coloca-se verticalmente numa ranhura circular. Aplica-se então uma carga no bordo da tira e regista-se a carga máxima até ao esmagamento (figura 5.5).



Figura 5.5 – Determinação da força de esmagamento num compressómetro

A norma utilizada para este ensaio é a SCAN-P 34:71 [21].

5.4.2. Resistência ao esmagamento dos bordos (CCT DT – corrugated crush test transversal direction)

A resistência ao esmagamento dos bordos é o ensaio de esmagamento das caneluras. É um ensaio importante no fabrico de cartão canelado.

Para realizar estes ensaios cortam-se amostras (figura 5.6) com um comprimento de 152mm e uma largura de 13mm, depois do papel estar acondicionado (o papel deve encontrar-se dentro das condições de humidade e temperatura que refere a norma).

É muito importante que os cortes sejam limpos, paralelos e que as amostras sejam cortadas perpendicularmente às caneluras.

Mede-se o valor da resistência numa máquina de compressão colocando a amostra com as caneluras na vertical (figura 5.7 e 5.8).



Figura 5.6 – Corte da amostras na guilhotina de RCT



Figura 5.7 – Provetes de CCT DT e CMT



Figura 5.8 – Medição da CCT DT num compressómetro

A norma utilizada neste ensaio é a SCAN-P 4:81 [22].

5.4.3. Resistência ao esmagamento perpendicular (CMT-Corrugated medium test)

Para realizar estes ensaios cortam-se amostras com um comprimento de 152mm e uma largura de 13mm, depois de o papel estar acondicionado (o papel deve encontrar-se dentro das condições de humidade e temperatura que refere a norma).

A resistência ao esmagamento do cartão canelado avalia a resistência à compressão na vertical. É um ensaio de esmagamento das caneluras, no sentido longitudinal das caneluras.

Este ensaio determina a contribuição do papel na resistência quanto ao esmagamento perpendicular da folha. Nas figuras 5.9 e 5.10 apresentam-se os equipamentos utilizados para este ensaio.



Figura 5.9 – Ondulador de laboratório



Figura 5.10 – Compressómetro para determinação da CMT

A norma utilizada neste ensaio é a EN ISO 7263:2008 [23].

5.4.4. Capacidade de absorção de água (Cobb 60)

A absorção de água pelo papel pode ser importante em determinadas aplicações, visto que a resistência mecânica do papel diminui com a absorção de água. Este ensaio permite determinar a capacidade do papel em resistir à água.

Realiza-se utilizando provetes com dimensões de 135×135 mm (0,018 m²). Estes são submersos em água durante 60 segundos, passando-se de seguida sobre o provete, com o rolo de aço. Pesa-se e compara-se com o valor obtido em seco. Nas figuras 5.11, 5.12 e 5.13 apresentam-se os equipamentos utilizados para realizar este ensaio.



Figura 5.11 – Aparelho para determinação de Cobb



Figura 5.12 – Provete de Cobb



Figura 5.13 – Pesagem do provete na balança digital

A norma utilizada neste ensaio é a NP EN 20 535 [24].

6. Medidas implementadas

No âmbito deste trabalho foram implementadas três alterações ao processo. Foi instalado e adaptado um sistema de flutuação no processo da Ponte Redonda de forma a ser reutilizada a água tratada e permitir uma redução do uso de água fresca no processo. Implementou-se um sistema inovador de regulação de consistência da pasta fibrosa de forma a obter-se melhores características da suspensão fibrosa na mesa de formação e consequentemente melhores características físico-mecânicas ao papel fabricado. Foi realizado um estudo microbiológico ao processo e implementado um sistema de retenção para a realização de testes. Este foi incorporado antes da máquina do papel para proporcionar uma melhor formação da folha ao promover melhor ligação entre fibras nessa fase do processo e para se obter uma maior eficiência da máquina de papel, prensas e secaria, pelo aumento da remoção de água na mesa de formação.

6.1. Unidade de Flutuação

Com o objectivo de obter água clarificada para fins de lavagem e reutilização no processo de fabrico e também a recolha da polpa em suspensão, para ser reutilizada no processo, pretende-se colocar em funcionamento uma instalação de flutuação por ar dissolvido (DAF), “dissolved-air flotation”, cujo esquema de funcionamento se apresenta na figura 6.1.

Esta alteração ao processo constitui o principal factor de optimização do fabrico de papel na Ponte Redonda, a qual será avaliada detalhadamente.

6.1.1.A flutuação por ar dissolvido

A flutuação por ar dissolvido é um processo para separar sólidos de baixa densidade ou partículas líquidas de uma fase líquida. Para efectuar a separação utiliza-se um gás, normalmente o ar, em forma de bolhas, na fase líquida. A fase líquida é previamente pressurizada entre 4 a 6 bar onde é introduzido ar de modo a que seja obtida a saturação de ar na água. Segue-se uma despressurização da mistura saturada de ar na água até atingir a pressão atmosférica. A despressurização é obtida por intermédio de uma válvula redutora de pressão à saída do depósito de pressurização. Como a solubilidade dos gases diminui com o abaixamento da pressão formam-se múltiplas bolhas gasosas que promovem a flutuação dos materiais a separar. No tanque de flutuação, as bolhas de ar que vão envolver os sólidos obrigam à sua subida até à superfície, onde se concentram, permitindo a sua

separação do líquido através de raspadores de superfície. A água do processo fica deste modo clarificada e pode então ser reutilizada [25].

A flutuação por ar dissolvido é influenciada pelos seguintes factores: ocorrência de coagulação/floculação, tipo e concentração de sólidos em suspensão no líquido a tratar, relação ar/sólidos (A/S), velocidade de elevação das partículas, carga hidráulica, carga de sólidos e razão de recirculação [25].

6.1.2. Dimensionamento de uma instalação de flutuação

O equipamento de flutuação (figura 6.1) é constituído principalmente por uma bomba de pressurização, sistema de injeção de ar, válvula redutora de pressão e tanque de flutuação [26].

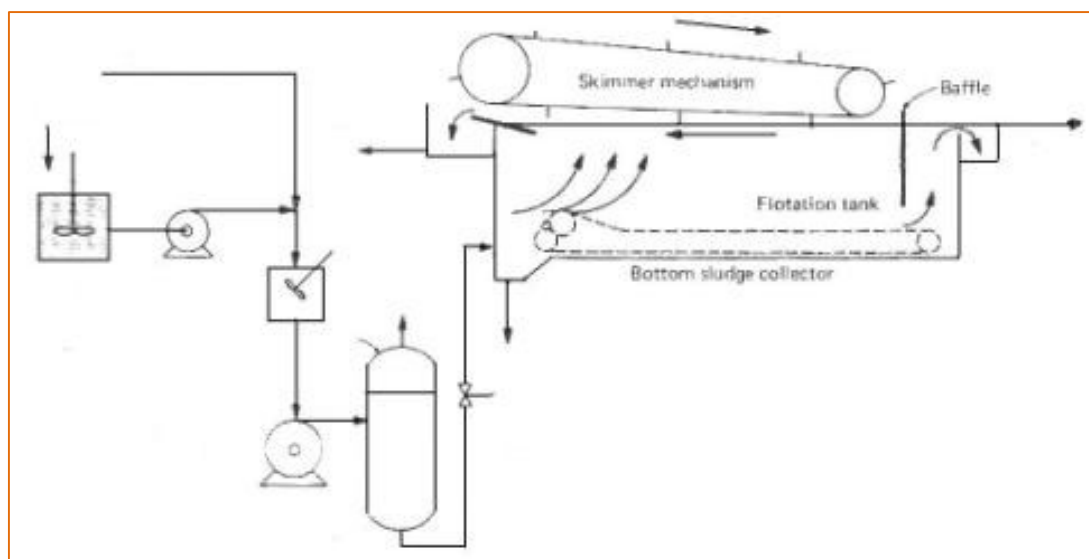


Figura 6.1 - Representação esquemática de um sistema de flutuação por ar dissolvido sem recirculação [26].

Para o dimensionamento dos equipamentos de flutuação um dos parâmetros principais é a relação A/S, definida como a massa de ar libertado por dia na despressurização por unidade de massa de sólidos suspensos na corrente líquida a tratar.

A relação A/S óptima deve ser determinada experimentalmente e pode ser obtida através de um gráfico do tipo da figura 6.2.

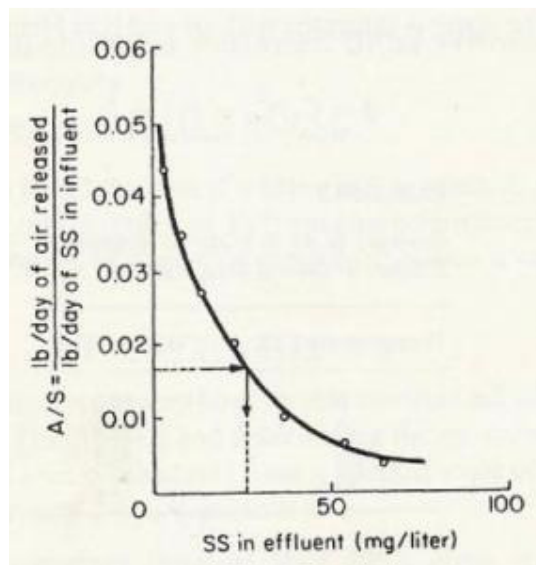


Figura 6.2 - Representação da razão A/S em função dos sólidos suspensos no efluente tratado [27]

6.1.3. Fundamentos do processo de flutuação

A flutuação depende em grande parte das características superficiais/interfaciais do sistema partículas e bolhas. A flutuação de partículas em suspensão é um fenómeno cinético composto por diversas etapas (ou microfénómenos). Assim, associando-se probabilidades a cada uma dessas etapas, obtém-se um modelo probabilístico, microcinético deste processo. A probabilidade de que a flutuação ocorra é dada por [28]:

$$P_f = P_c \cdot P_a$$

sendo

P_f = probabilidade de flutuação,

P_c = probabilidade de colisão;

P_a = probabilidade de adesão,

i. Probabilidade de colisão – P_c

Não existe uma teoria quantitativa que inclua ao mesmo tempo a influência da concentração de sólidos, distribuição de tamanho de bolhas e partículas, sob condições de regime laminar ou turbulento. A probabilidade de colisão é, portanto, função dos movimentos relativos de partículas e bolhas, controlado pelos seguintes factores [28]:

- F_d , força de cisalhamento devida ao movimento relativo entre o líquido e as

partículas;

- F_g , força de atracção gravitacional com maior importância para partículas densas, de tamanho intermediário e partículas grossas;
- inércia das partículas (partículas grossas);
- difusão ou movimento browniano (partículas ultrafinas).

ii. Probabilidade de adesão - P_a

O processo de adesão envolve as seguintes etapas [28]:

- Indução, intervalo de tempo entre a colisão e o posicionamento no local onde ocorre a adesão propriamente dita.
Tempo de indução, t_i , é da ordem dos milissegundos, depende do ângulo de contacto θ , das forças interfaciais e da energia de colisão e inclui o adelgaçamento inicial do filme ou película líquida.
- Ruptura do filme ou película líquida.
Tempo de ruptura, t_r , é da ordem dos microssegundos e depende basicamente do ângulo de contacto.
- Deslocamento do filme até o ponto de equilíbrio (restauração do equilíbrio ou tempo de expansão da linha trifásica). O tempo de deslocamento do filme, t_d , é da ordem dos milissegundos e depende de θ , do tipo de tensioactivo e da rugosidade das partículas.

A “captura” aumenta, portanto, com a diminuição do tamanho de bolhas e com o aumento do tamanho de partículas, depende do fluxo da área superficial de bolhas disponível (liftingpower), de parâmetros hidrodinâmicos (peso no campo gravitacional, pressão hidrostática e capilaridade, tensão, compressão e forças de cisalhamento), factores termodinâmicos associados à interacção hidrofóbica entre bolhas e partículas e de factores cinéticos como a energia mínima de colisão para destruir a camada líquida de água que antecede a adesão [27], como se mostra na figura 6.3

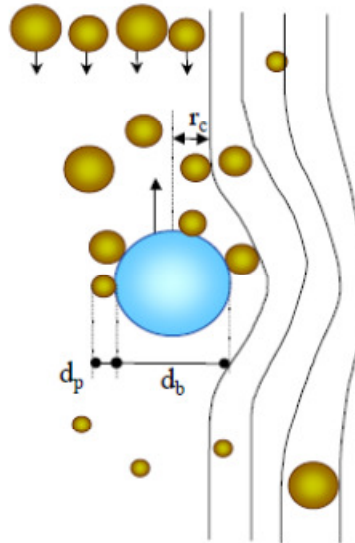


Figura 6.3 - Fenómeno de “captura” (colisão + adesão) de partículas de diâmetro d_p por bolhas de diâmetro d_b dentro de um raio crítico r_c [29].

6.1.4. Dimensionamento do flutuador da Ponte Redonda

A unidade de flutuação por ar dissolvido foi introduzida na fábrica de Papel de Ponte Redonda com o objectivo de recuperar as fibras da água do processo e assim permitir a sua reciclagem, bem como a reutilização da água clarificada. Este equipamento, tendo sido adquirido como usado, permite tratar apenas uma parte da água utilizada no processo, o que para a Ponte Redonda não constitui um problema, uma vez que se pretende apenas reutilizar uma quantidade de água que compense a água fresca utilizada em algumas fases do processo, principalmente na zona húmida da máquina do papel.

Assim, o dimensionamento do flutuador terá como objectivo principal conhecer a capacidade do equipamento introduzido no tratamento das águas do processo da Ponte Redonda.

Na figura 6.4 pode observar-se a instalação do flutuador DAF sem recirculação [27].

O flutuador instalado (figuras 6.4 e 6.5) terá como alimentação as águas do processo do fabrico do papel da Ponte Redonda. Para a alimentação do caudal necessário será dimensionada uma bomba com capacidade suficiente para pressurizar a água, no depósito de pressurização, a 4 bar de pressão. A água clarificada obtida será distribuída por duas tubagens idênticas, utilizando-se para o efeito duas bombas e terá dois destinos: alimentar em contínuo a caixa de nível do regulador de consistência e alimentar um tanque intermédio para posterior utilização no processo como se ilustra no esquema da figura 6.6.



Figura 6.4 - Instalação do Flutuador na Ponte Redonda



Figura 6.5 - Vista de cima do Flutuador

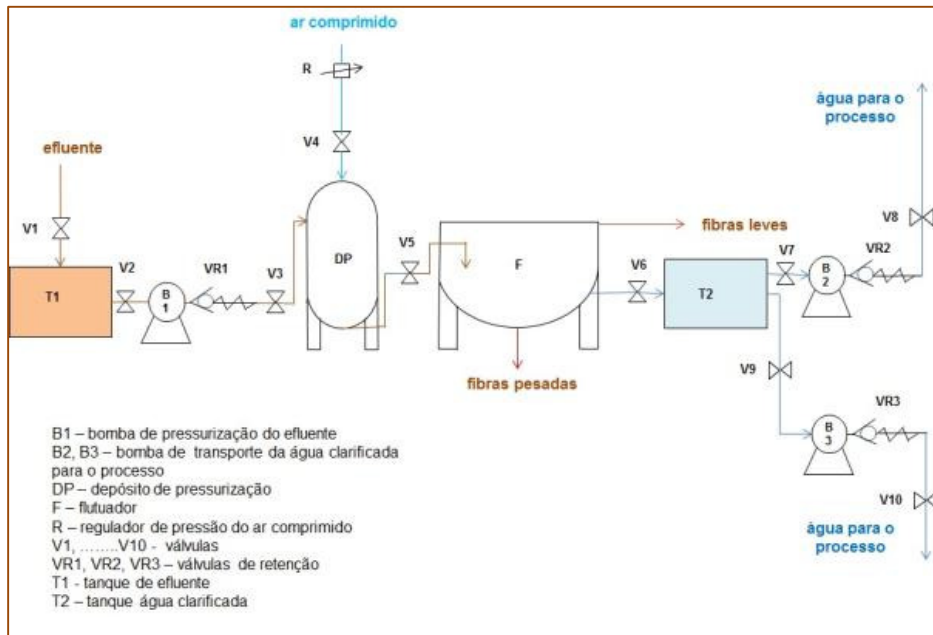


Figura 6.6 - Esquema da instalação de flutuação

O caudal médio diário de efluente (águas do processo), na Ponte redonda, é de cerca de 400 m³/d, pretendendo-se tratar cerca de 20% deste caudal. Foram realizados ensaios laboratoriais que permitiram concluir que a concentração de sólidos suspensos no efluente é de 1720 mg/L. Pretende-se efectuar o tratamento por flutuação de cerca de 80 m³/d de efluente. A quantidade média de sólidos a separar é cerca de 137,6 kg/d.

A equação 6.1 em que se baseia o dimensionamento de uma unidade de flutuação depende dos seguintes parâmetros: A/S, razão ar/sólidos; f, fracção de saturação (adimensional); S_a, solubilidade do ar na água a 20°C (cm³ de ar/L de água); X₀, concentração de sólidos suspensos totais do efluente (mg/L); P, pressão absoluta na câmara de pressurização (atm); ρ_a, massa específica do ar a 20°C (mg/mL) [25].

$$A/S = [\rho_{ar} * S_a * (f * P - 1)] / X_0 \quad (6.1)$$

$$\rho_a = 1,3 \text{ mg/mL}$$

$$S_a = 18,7 \text{ mL/L (20°C)}$$

$$f = 0,5$$

$$P = 4 \text{ atm}$$

$$X_0 = 1720 \text{ mg/L}$$

De acordo com os valores experimentais obtém-se: A/S = 0,014 mg ar/mg SS

O tempo de retenção, t_r, recomendado é de 0,5 h [29].

Então, de acordo com a equação 5.3, sendo V_f o volume de flutuação e Q o caudal médio que entra no flutuador, o volume do flutuador será $1,7 \text{ m}^3$.

$$tr = V_f / Q; \quad (6.2)$$

Procurou-se satisfazer o volume determinado, $1,7 \text{ m}^3$, na selecção do flutuador usado que foi adquirido. Tendo em consideração os dados do fabricante foi seleccionada uma altura de $0,7 \text{ m}$, o que de acordo com a equação 6.4 corresponde a uma área de flutuação de $2,3 \text{ m}^2$.

$$H = V_f / A; \quad (6.3)$$

Sendo o factor de carga, F_c , recomendado para este tipo de efluente de $6 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ [29], e tendo em consideração a equação 6.4 e a área determinada, $2,3 \text{ m}^2$, obtém-se um factor de carga de $1,45 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Sabendo que para o factor de carga recomendado, seria necessário um flutuador com uma altura de 3 metros, muito superior ao valor obtido, $0,7$ metros, considera-se este valor mais aceitável.

$$A = Q / F_c \quad (6.4)$$

A câmara de compressão tem a forma de um cilindro com uma altura de $2,7 \text{ m}$ e diâmetro de $0,4 \text{ m}$, o que representa um volume de $0,34 \text{ m}^3$. Considerando o caudal utilizado, $80 \text{ m}^3/\text{d}$. Pela fórmula 6.2 obteremos um valor de tempo de residência de $6,1$ minutos. Este valor encontra-se dentro dos valores recomendados para este tipo de sistema de flutuação [25].

6.1.5. Necessidades de ar comprimido

Considerando o parâmetro A/S , $0,014 \text{ mg ar/mg SST}$, de acordo com a equação 6.1, a necessidade mínima de ar comprimido é de $1,92 \text{ kg/d}$. Considerando que há perdas e necessidade de ajustes as necessidades estimadas serão de 3 kg/d ou $2,3 \text{ m}^3/\text{d}$ de ar à pressão atmosférica.

6.1.6. Unidade de floculação

O rendimento da instalação pode ser melhorado se for efectuada a adição de coagulante e de um floculante [25]. Esta situação deverá ser considerada após um estudo custo/benefício.

Após contacto com empresas de venda de produtos químicos, a Ponte Redonda optou pela compra de um floculante que apresentava um preço interessante e adequado ao tipo de efluente em causa.

O HIMOLOC DR 2500, da empresa DERYPOL, é um copolímero catiónico de acrilamida numa emulsão aquosa. O HIMOLOC DR apresenta-se como um produto inovador como floculante e com algumas vantagens, nomeadamente:

- produção de lamas e efluentes isentas de gorduras e solventes;
- custos de operação inferiores aos de um coagulante/floculante comum;
- a fabricação do HIMOLOC DR tem um impacto ambiental relativamente baixo (ISO 14001)
- facilidade de aplicação;
- melhora a eficiência global.

Relativamente ao coagulante a utilizar no sistema de flutuação, optou-se por utilizar o PAX-18, atendendo a que apresenta bons resultados, é recomendado pelo fornecedor para o efeito, e já é utilizado pela empresa como agente de retenção. Apresenta também uma relação preço/qualidade interessante.

A adição do coagulante e do floculante é feita por injeção directa na tubagem a montante da bomba de pressurização, proporcionando uma rápida mistura com o efluente devido às condições hidrodinâmicas que o escoamento na tubagem proporciona.

6.1.7. Dimensionamento das bombas

Como já referido na secção 6.1.4, é necessário dimensionar a bomba B1, para pressurizar o efluente no depósito de pressurização, DP, e as bombas B2 e B3 (figura 6.6). As bombas B2 e B3 são iguais e têm como finalidade transportar o efluente clarificado para destinos diferentes.

Atendendo a que a Ponte Redonda possui várias bombas, de diversos tipos, na secção de mecânica da empresa, foram utilizadas bombas que não estavam a ser utilizadas, e que apresentavam características idênticas às do dimensionamento aqui apresentado.

Para o dimensionamento das bombas, é necessário conhecer-se alguns dados relacionados com o circuito com que as bombas irão trabalhar. Será necessário determinar a altura manométrica e a potência das bombas para que estas possam ser adquiridas pela empresa.

i. Dimensionamento da bomba de pressurização B1

Na tabela 6.1 apresentam-se os dados relativos à bomba que irá alimentar o flutuador, e de seguida os cálculos necessários para determinar a sua potência (Anexo A) [30].

Tabela 6.1 - Cálculo da altura manométrica de B1 [30]

		QUANTIDADE	PERDAS [m]
ASPIRAÇÃO (SUCÇÃO) Diâmetro da tubagem: 100 mm	Desnível	0 m	0
	Comprimento da tubagem	2 m	0,05
	Curvas	0	0
	Válvula	1	0,04
ALTURA DE ELEVAÇÃO Diâmetro da tubagem: 100 mm	Desnível	1 m	1
	Comprimento da tubagem	10 m	0,05
	Curvas 90°	2	0,06
	Válvula	1	0,04
	Válvula de retenção	1	0,07
Pressurização máxima		6 kgf/cm ²	60
ALTURA MANOMÉTRICA			61,31
ALTURA MANOMÉTRICA AJUSTADA			65

Considerou-se adequado uma bomba para um caudal de 10 m³/h, tendo já em conta uma margem de segurança. A potência da bomba será calculada pela equação 5.5 [30]:

$$P = (\rho \cdot Q_m \cdot H) / (75 \cdot \eta) \quad (5.5)$$

P = Potência da bomba em cv

ρ = Massa volúmica do efluente (=1002 kg/m³)

Q_m = Caudal (m³/s)

η = Rendimento. (para cálculo considera-se igual a 0,5)

P = 4,8 cv = 3,5 kW

Considera-se uma bomba centrífuga de potência de 4 kW, caudal de 10 m³/h e altura manométrica de 65 m. A bomba a seleccionar terá de ter características de construção que permita bombear o efluente sem acumulação de fibra na turbina e empanque (vedação).

ii. Dimensionamento das bombas B2 e B3

Na tabela 6.2 apresentam-se os dados [30] relativos às bombas que estarão á saída do flutuador e que irão conduzir a água clarificada para dois destinos diferentes: tanque de água clarificada e caixa de nível do regulador de consistência.

Tabela 6.2 - Cálculo da altura manométrica de B2 e B3 [30]

		QUANTIDADE	PERDAS [m]
ASPIRAÇÃO (SUCÇÃO)	Desnível	0 m	0
Diâmetro da tubagem: 100 mm	Comprimento da tubagem	5 m	0,05
	Curvas 90°	0	0
	Válvula	1	0,04
ALTURA DE ELEVAÇÃO	Desnível	6 m	6
Diâmetro da tubagem: 100 mm	Comprimento da tubagem	50 m	0,05
	Curvas 90°	4	0,15
	Válvula	1	0,04
	Válvula de retenção	1	0,07
PRESSURIZAÇÃO MÁXIMA		0 kgf/cm ²	0
ALTURA MANOMÉTRICA			6,4
ALTURA MANOMÉTRICA AJUSTADA			10

O caudal para as 2 bombas é de 20 m³/h para permitir um escoamento com folga e além disso permitir, em caso de avaria duma das bombas, a operação de flutuação decorra sem paragem. O cálculo da potência das bombas baseou-se na equação 5.5 [30].

As bombas funcionarão em descontínuo por acção das sondas de nível colocadas estrategicamente no tanque de água clarificada. Estas bombas são accionadas quando o nível do tanque atinge um nível máximo operando até atingir o nível mínimo.

Pelo cálculo da potência das duas bombas obtém-se um resultado de 1,48 cv. Como tal considera-se adequada uma bomba centrífuga de potência 1 kW, caudal de 20 m³/h e altura manométrica de 10 m., visto que a altura máxima ajustada considerando curvas, válvulas e outros factores limitadores não excedem no total os 10 metros.

6.1.8. Caracterização da água clarificada

A água clarificada após o processo de flutuação foi caracterizada, no que diz respeito aos seguintes parâmetros: pH, condutividade, CQO e SST [30]. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 6.3, e os tratamentos dos dados encontram-se de seguida [31].

A amostragem é um factor importante quando se pretende obter uma amostra para ensaios. Neste trabalho a amostra foi retirada de uma mangueira com pouco uso que está ligada directamente ao tanque de água clarificada. A selecção deste ponto baseou-se na facilidade de acesso e teve em conta a representatividade da amostra recolhida.

Tabela 6.3 - Caracterização da água clarificada à saída do flutuador

	Temperatura (°C)	pH	Condutividade (mS/cm)	CQO (g O ₂ /L)	SST (mg/L)
Amostra 1	29,8	6,26	19,8	21	1256 mg/L
Amostra 2	29,8	6,26	19,8	21	1272 mg/L
Média	29,8	6,26	19,8	21	1264 mg/L

O pH é um parâmetro que influencia o equilíbrio iónico, na corrosão dos equipamentos e tem influência no rendimento de um sistema de flutuação. O valor de 6,26 obtido para água clarificada está dentro do intervalo de valores considerado normal e aceitável para o coagulante e floculante utilizado [29].

A condutividade está relacionada com a concentração de sais solúveis nos efluentes e é definida como a capacidade de uma solução em conduzir corrente, sendo esta directamente proporcional ao número de iões presentes no efluente. Um valor elevado de condutividade leva a uma diminuição do tempo de vida dos equipamentos. Neste caso o valor de condutividade não é demasiado elevado [32].

O valor da CQO avalia indirectamente a quantidade de matéria orgânica na amostra [32], que sendo neste caso de um efluente da indústria de papel, é proporcional à quantidade de fibras presentes no efluente e de outros tipos de compostos orgânicos tais como, anilinas, amidos, colas, etc. Assim, os efluentes da indústria de papel reciclado apresentam concentrações de CQO bastante elevadas, tal como se comprova através do valor apresentado na tabela 6.3.

O valor de SST num efluente da indústria de papel dá-nos informação sobre a quantidade de fibras em suspensão presentes. A percentagem de remoção de sólidos suspensos após a flutuação é de 26,5%, considerando que o efluente da Ponte Redonda apresenta valores médios de 1720 mg/L.

A taxa de remoção de sólidos pode considerar-se um indicador da quantidade de fibras removida e portanto, matéria-prima com possibilidade de ser recuperada.

6.1.9. Utilização da água clarificada

A água clarificada proveniente do tratamento pelo sistema de flutuação terá como destino:

- regadeira da tela;
- regadeira dos feltros;
- empanques de depuração;
- lavagens diversas

Como se pode observar na tabela 6.4, o consumo de água fresca no processo de fabrico de papel (em 2010), para estas fases representa cerca de 93% da água fresca consumida, sendo que cerca de 78% é utilizada para as regadeiras da tela.

Tabela 6.4 - Aplicações da água fresca utilizada no processo

ORIGENS DE ÁGUA FRESCA (m ³ /ano) – ANO 2010							
Regadeiras da tela (m ³)	Regadeiras dos feltros (m ³)	Empanques da depuração (m ³)	Gerador de vapor (m ³)	Bomba de pressão (m ³)	Bicos de corte da folha húmida (m ³)	Lavagens (m ³)	TOTAL (m ³)
4844	121	549	99	137	179	318	6247

A utilização da água clarificada nestas fases é uma boa opção atendendo a que permite obter uma poupança de água para a empresa de cerca de 5514 m³ por ano, assim como um circuito de águas de processo otimizado.

Para o tipo de aplicações em causa, e apesar de actualmente ser utilizada água fresca, estas actividades no processo não necessitam de uma água “muito tratada”. A empresa não pretende tratar toda a água do processo, mas sim o suficiente para este tipo de utilização, e com uma qualidade que seja aceitável, ou seja, não se pretende atingir o máximo da eficiência do sistema de flutuação. Daí a opção de adquirir um sistema de flutuação usado não constituir um problema para a empresa.

Na figura 6.7 pode-se observar o novo fluxo produtivo posterior às medidas implementadas no decorrer do trabalho. Nesta figura está representada o circuito da água clarificada, nomeadamente para a máquina do papel, para os depuradores e para o regulador de consistência.

NOVO FLUXO PRODUTIVO DA EMPRESA PONTE REDONDA : PÓS-MEDIDAS

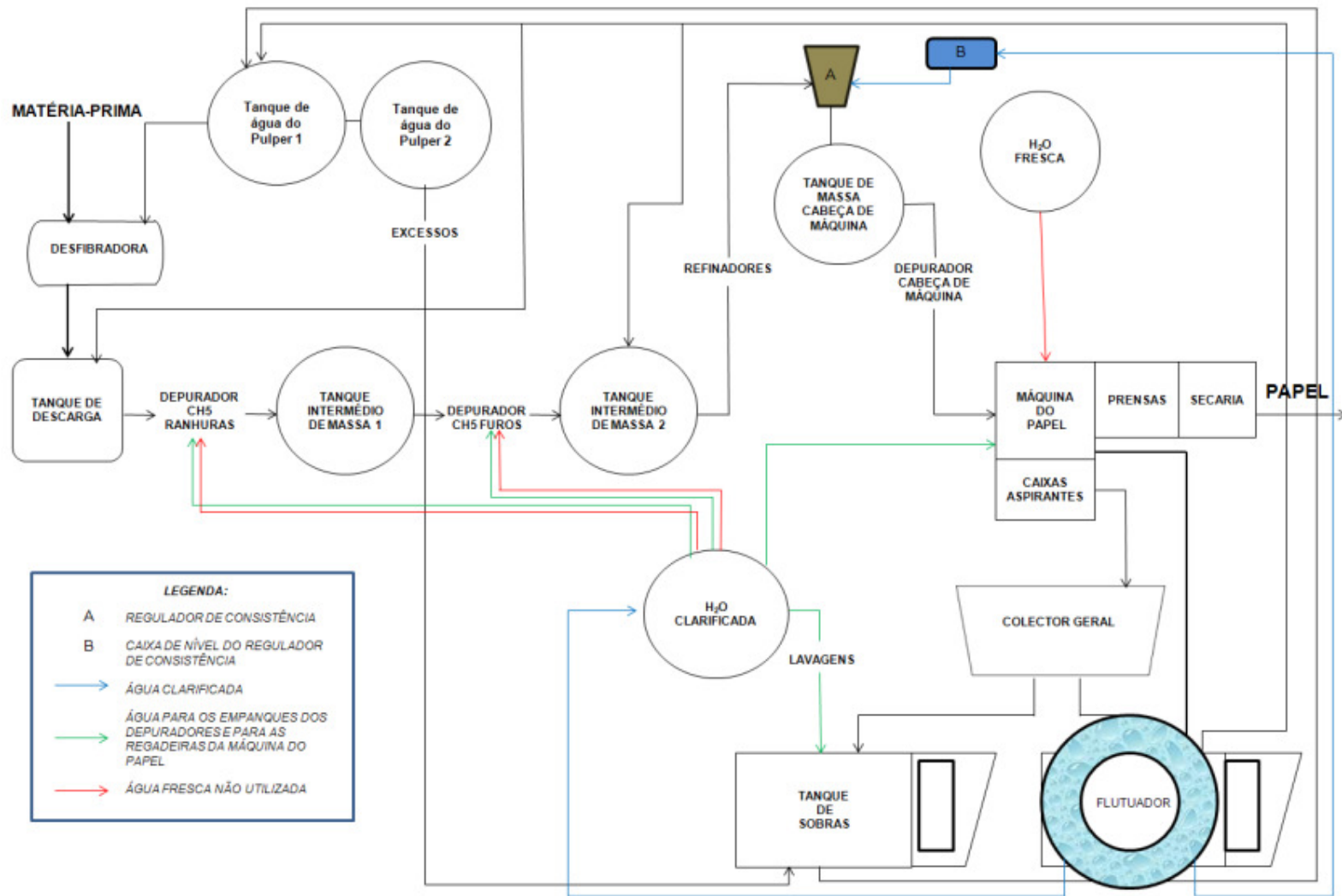


Figura 6.7– Fluxo produtivo da empresa Ponte Redonda pós-medidas

6.1.10. Conclusões sobre o funcionamento da unidade de flutuação

Verificou-se que com a implementação do sistema de flutuação se obteve uma água clarificada com qualidade adequada para os usos previstos, atendendo a que a sua aplicação correspondeu às expectativas. Na depuração, os resultados foram idênticos aos obtidos quando se utilizava água fresca, e o mesmo se verificou na máquina do papel. Para as lavagens foi uma solução excelente. O valor estimado de poupança de água fresca será de 5514 m³ por ano, o que representa 88% do consumo anual.

Atendendo a que se pretende efectuar o tratamento por flutuação de cerca de 80 m³/d de efluente, com uma quantidade média de sólidos a separar, SST, de cerca de 137,6 kg/d, e que a quantidade de sólidos removidos foi de 36,5 kg/d, o tratamento apresentou, no que diz respeito aos SST, uma eficiência de 26,5%. Considerando os valores obtidos de remoção de SST, pode-se concluir que o flutuador se encontra a trabalhar com uma eficiência relativamente baixa para um sistema típico de flutuação, o que poderá ser devido ao facto de que, e por uma questão económica, o doseamento do coagulante e floculante ser muito inferior ao aconselhado pelos fornecedores do coagulante o que para a empresa é aceitável e não constitui problema. No entanto, este valor de eficiência pode ser melhorado a qualquer momento, sempre que for do interesse da empresa.

Será necessário utilizar a água clarificada pelo menos mais um ano, para se poder determinar se, o facto de se trabalhar com estas eficiências de remoção, conduzirá, a médio prazo, a algum efeito indesejável nos equipamentos, nas condutas de alimentação, entre outros.

6.2. Regulador de consistência

Foi implementado um sistema inovador de regulação de consistência da pasta fibrosa, antes da máquina do papel, e depois da fase de refinação. O objectivo deste sistema é melhorar as características da suspensão fibrosa na mesa de formação.

6.2.1. Introdução ao sistema de regulação de consistência

A consistência é a percentagem de material sólido seco absoluto contido na pasta. Esta pode ser determinada, secando-se uma amostra de pasta de peso conhecido até peso constante, de acordo com a equação 6.6 [14].

$$\text{Consistência total} = \frac{\text{Peso seco da amostra}}{\text{Peso total da amostra}} * 100 (\%) \quad (6.6)$$

O processo de fabrico de papel opera com uma determinada consistência da pasta, dependendo dos equipamentos utilizados, como é o caso dos desfibradores que podem trabalhar com consistências de 4% a 15%, e do tipo de fabrico do equipamento. Mas mais importante do que trabalhar com uma consistência de 15% na desfibradora, é procurar uma consistência constante e a mais baixa possível na alimentação à máquina, para que a distribuição das fibras em toda a superfície do papel seja a mais regular

Na alimentação à máquina do papel, a consistência deverá ser baixa, inferior a 5%. Daí a presença de chuveiros de água fresca na caixa de chegada para facilitar uma melhor formação do papel na tela, como apresentado na figura 6.8. Quanto menor a consistência melhor será o desempenho do sistema, fazendo com que este seja mais estável.

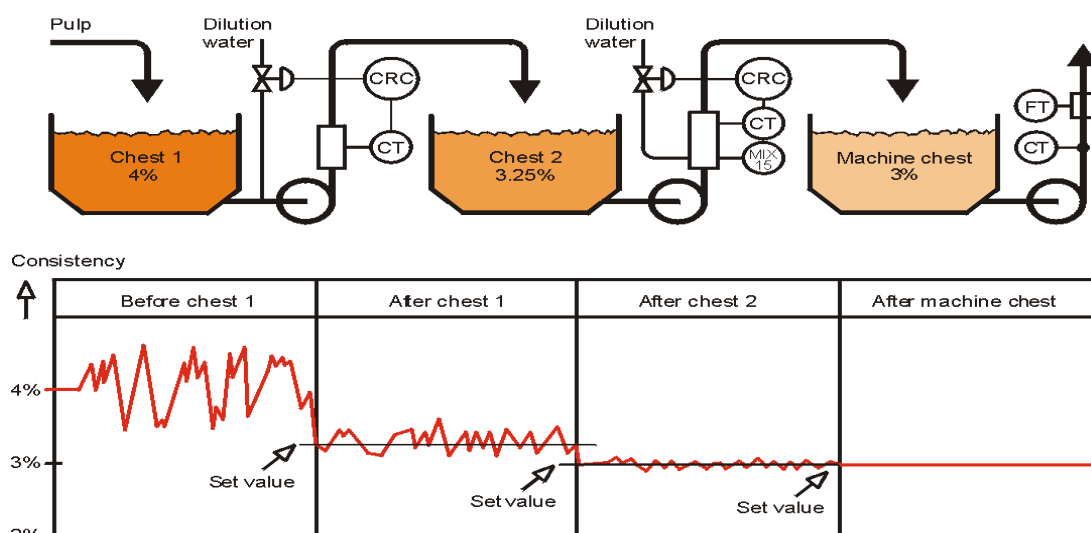


Figura 6.8 – Consistência à entrada da máquina do papel vs estabilidade do processo [33]

No entanto, manter uma consistência constante à alimentação à máquina do papel é difícil, o que se comprova nos ensaios realizados à resistência do papel fabricado.

Conhecendo-se a necessidade da Ponte Redonda, em produzir um papel de melhor qualidade, é importante a procura de um sistema que permita controlar a consistência à entrada da máquina do papel. Daí neste trabalho se ter desenvolvido essa actividade, nomeadamente no contacto de empresas especializadas nesta área, para procurar e implementar essa solução.

A solução foi encontrada e implementada. O equipamento seleccionado e comercializado pela empresa BTG, foi o MBT 2300. No Anexo B pode-se encontrar informação técnica do sistema e do seu funcionamento.

6.2.2.Princípio de funcionamento dos reguladores de consistência

Um sistema de regulação de consistência é um sistema inovador que permite, em contínuo, controlar e ajustar a consistência da pasta. Em resumo, o sistema é composto por um transmissor de consistência, um regulador de consistência e uma caixa de ligações do transmissor de consistência, conforme figura 6.9.

Numa tubagem utilizada como meio de transporte da pasta é colocado um transmissor de consistência que faz a leitura da consistência da pasta à sua passagem. Este equipamento tem uma palheta (figura 6.10) no interior da tubagem, que ao passar a pasta é sujeito a uma maior ou menor pressão de trabalho. Essa maior ou menor pressão de trabalho provocará um maior ou menor ângulo, produzindo-se um sinal entre 4 mA e 20 mA [33].

Esse sinal será enviado para a caixa de ligações do transmissor de consistência, onde previamente se introduziu uma curva de calibração, e se definiu um “setpoint”, valor este correspondente ao desejado para a consistência da pasta. Para o valor de 4 mA é-lhe atribuído um valor mínimo, e para 20 mA um valor máximo admissível. Ao receber o sinal a consola irá comparar o valor recebido e ajustar a consistência da pasta enviando essa informação ao regulador de consistência, que irá abrir ou fechar uma válvula [33]. Esta válvula está ligada a uma caixa de nível contendo água clarificada, proveniente do flutuador, de modo a permitir um ajustamento para o valor de consistência da pasta desejado.

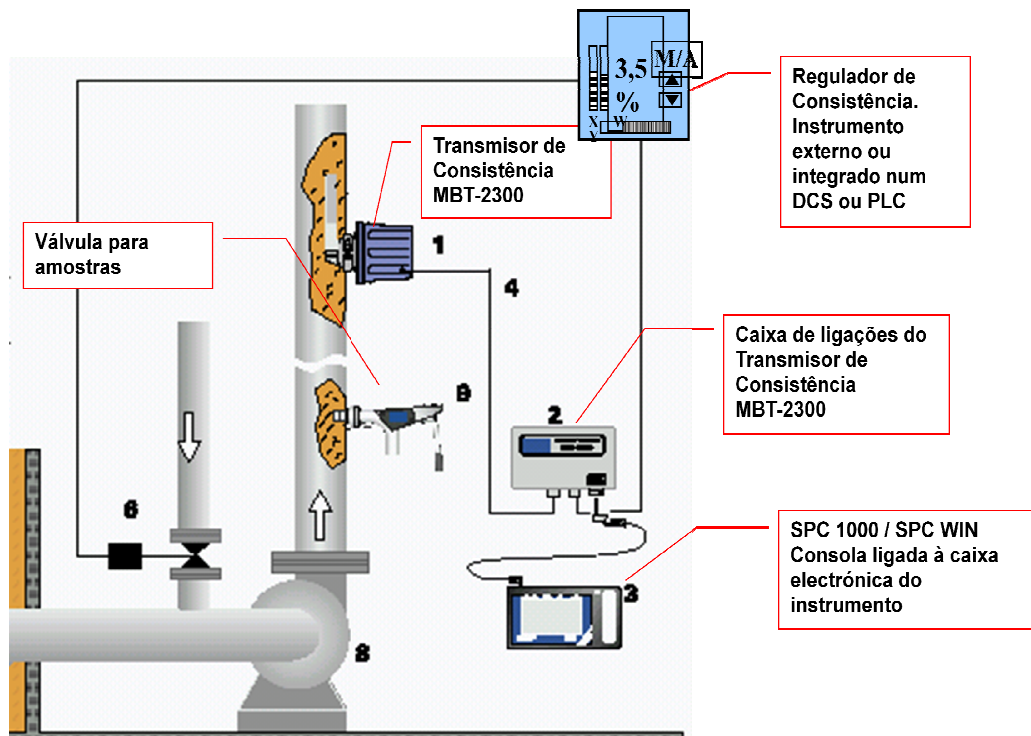


Figura 6.9 – Instalação típica de um Regulador de Consistência (Anexo B)



Figura 6.10 – Palheta do transmissor de consistência (Anexo B)

6.2.3. Sistema de regulação de consistência Ponte Redonda

Para o processo da Ponte Redonda foi escolhido o sistema de regulação de consistência MBT-2300 da marca BTG. O MBT-2300 usa o princípio da força de corte para medir a consistência com um sensor activo. É um transmissor inteligente baseado num micro-processador que é totalmente configurado por um terminal portátil ligado a qualquer ponto do sinal de saída de 4-20 mA. No entanto, a maioria dos parâmetros podem ser introduzidos através de um teclado na caixa de ligações do transmissor de consistência. O transmissor é ligado através de um sistema de 3 condutores para a saída analógica e alimentação de baixa tensão.

A escolha teve em consideração o sector do papel e a gama de consistências com que a Ponte Redonda trabalha normalmente (figura 6.11).

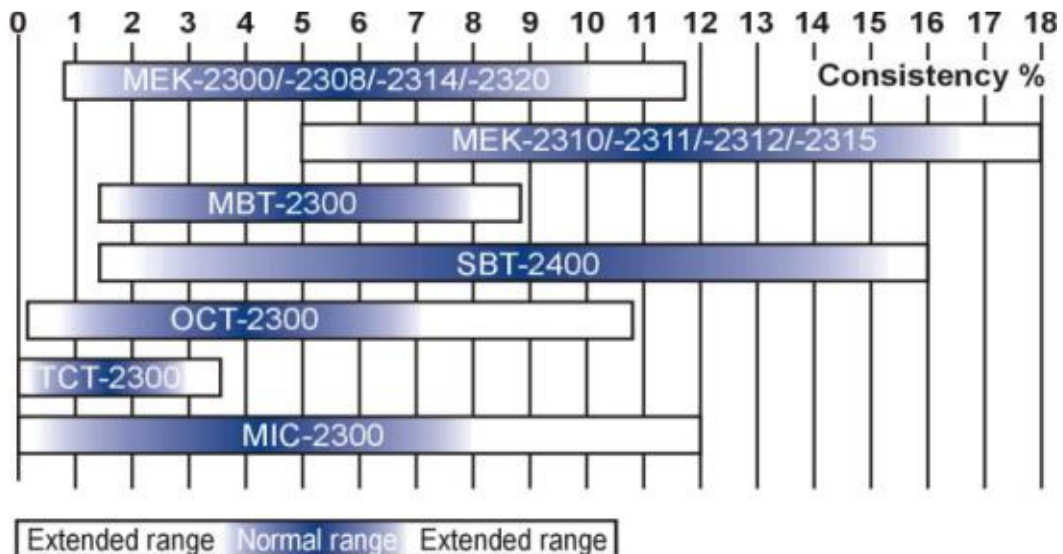


Figura 6.11 – Gama de consistências [34]

Atendendo a que se pretendia implementar um sistema que controlasse a consistência da pasta à entrada da máquina do papel, optou-se por colocar o equipamento à saída da operação de refinação. A escolha teve em consideração o que a Ponte Redonda pretendia e as sugestões da empresa BTG que vendeu o sistema.

A pasta ao sair da fase de refinação é encaminhada para um tinão por via de uma tubagem. O Transmissor de consistência MBT-2300 foi colocado nessa tubagem (figura 6.12 e figura 6.13) para ajustar a consistência enquanto se procedia à alimentação da máquina do papel.

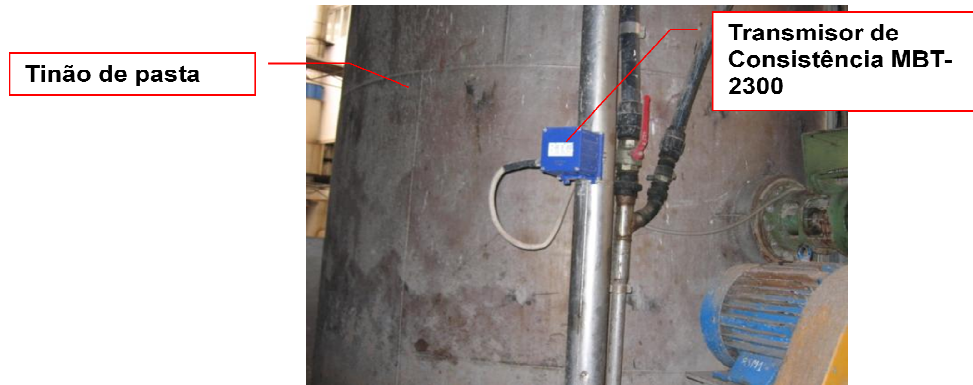


Figura 6.12 – Regulador de consistência MBT-2300 da Ponte Redonda

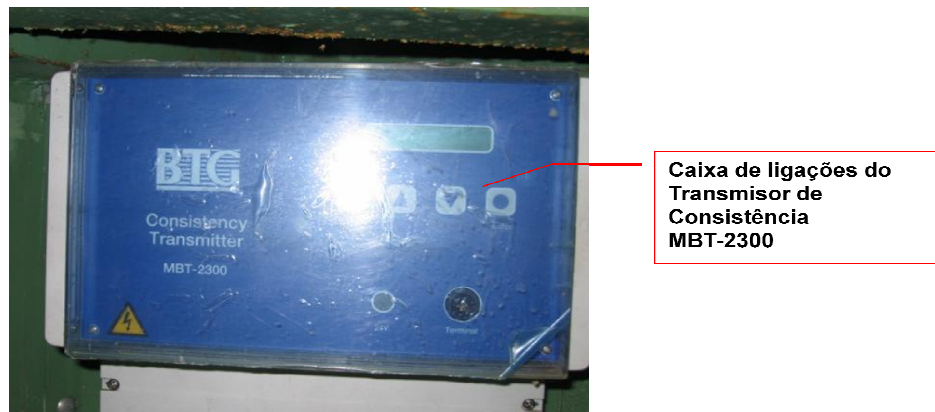


Figura 6.13 – Caixa de ligações MBT-2300 da Ponte Redonda

O sistema de regulação de consistência ficou a trabalhar conforme previsto e aparentemente os resultados serão os esperados. No entanto, essa conclusão só poderá ser tirada após a análise dos papéis, que se apresenta na secção 7.

6.3. Tratamento químico e microbiológico.

Um tratamento químico e microbiológico é fundamental para qualquer processo que utilize matéria orgânica como matéria-prima, pois está sujeito à acção microbiana com consequências que podem prejudicar o processo. Foi elaborado um estudo com o auxílio de uma empresa líder no sector, de forma a determinar a melhor solução para a Ponte Redonda.

Num processo de fabrico de papel são necessários produtos químicos para obter um melhor desempenho do processo e melhor qualidade do papel. A pasta utilizada para o seu fabrico é composta praticamente apenas por fibras de celulose e água. Estas fibras são matéria orgânica que se decompõe facilmente pela acção microbiana, provocando efeitos indesejados na pasta e no papel.

A pensar nestas questões, foi também objecto deste trabalho procurar uma solução para otimizar a formação da folha e melhorar mais as propriedades físico-mecânicas do papel, e controlar a acção microbiana presente na pasta do papel.

Depois de um pequeno levantamento de necessidade nesta matéria, concluiu-se que seria interessante introduzir um sistema de retenção à entrada da máquina do papel e efectuar um controlo microbiano a todo o processo de fabrico de papel.

6.3.1. Sistema de retenção

Constatou-se que a máquina de papel necessitava de um sistema de retenção à entrada, apesar de já serem utilizados agentes de retenção no início do processo, na fase de desfibração. Um sistema de retenção à entrada da máquina do papel vem proporcionar à pasta uma melhor e mais reforçada ligação entre fibras. Deste modo a formação da folha na tela será otimizada, fornecendo-lhe uma resistência acrescida e dando origem a um papel com melhores resistências.

Os objectivos deste sistema serão o de otimizar a parte húmida da máquina do papel, de forma a melhorar as qualidades finais do papel, nomeadamente no CMT, tracção, rebentamento, etc., e conduziria a: [34]

- aumento de drenagem na mesa de formação;
- redução da consistência nas caixas de chegada;
- melhoria na formação da folha;
- melhoria das características físico-mecânicas finais do papel
- redução do consumo de vapor
- aumento de velocidade de máquina

Para o efeito foi contactada uma empresa, NALCO, que procedeu a um estudo no sentido de fornecer este tipo de sistema. A empresa elaborou um estudo e propôs à empresa implementá-lo, apresentando um orçamento à Ponte Redonda. No Anexo C podem ser encontrada as respectivas conclusões e proposta da empresa NALCO.

Posteriormente, foram realizados testes pela empresa para comprovar que o sistema seria uma boa opção na procura deste tipo de optimização. Os testes foram realizados na parte húmida da máquina de papel por incorporação dos produtos químicos antes da caixa de chegada, nomeadamente no depurador cabeça de máquina (figura 6.14).

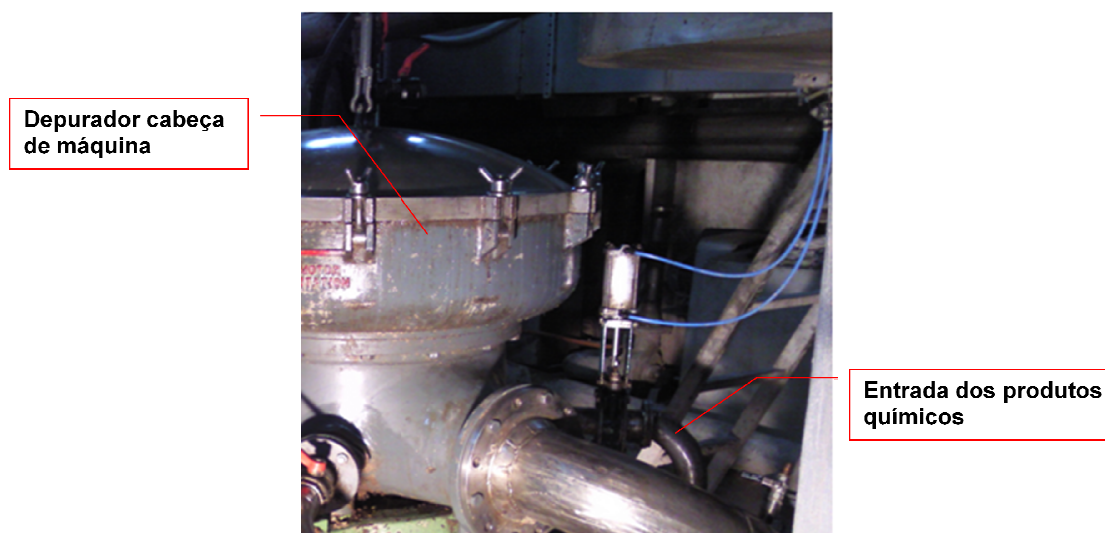


Figura 6.14 – Incorporação de produtos químicos

Na figura 6.15 apresenta-se o resultado dos ensaios realizados nos laboratórios da NALCO, utilizando alguns agentes químicos comercializados por esta empresa e que seriam indicados pela mesma, designadamente ref.74553, ref.74508, ref.74525, ref.74580, ref.7607 e ref.74305.

Constatou-se que a drenagem foi potenciada, independentemente do produto químico ou combinação testada a drenagem do papel e a turbidez da água drenada melhoraram.

Para valores superiores de drenagem, esta permite incrementar a velocidade da máquina de papel levando a um aumento de produção.

A turbidez é um indicador de que as fibras se agregaram melhor, levando a concluir que a água proveniente da drenagem tem uma menor quantidade de fibras presentes

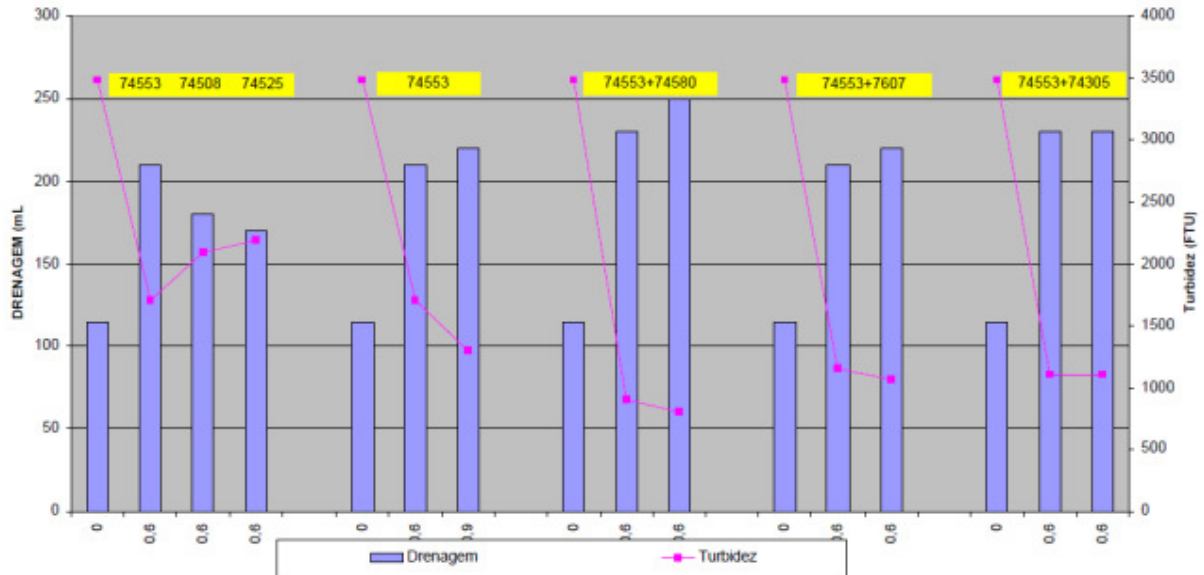


Figura 6.15 – Resultado dos ensaios químicos (Anexo C)

6.3.2. Tratamento microbiológico

Constatou-se que seria necessário procurar uma solução mais eficiente ao nível do tratamento microbiológico, pois apenas é feita adição de hipoclorito de sódio e Mircide. No processo de fabricação de papel podem ser encontrados vários tipos de microrganismos provenientes do próprio processo ou da água fresca de abastecimento (figura 6.16).

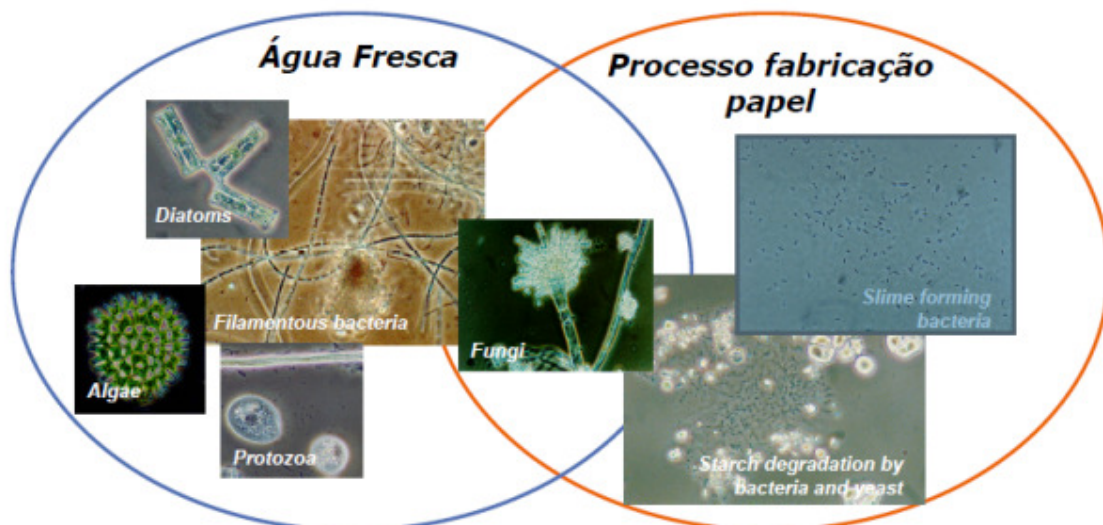


Figura 6.16 – Tipos de microrganismos presentes no processo de fabrico de papel [34]

Os problemas causados por estes microrganismos podem ser vários, conforme apresentado na tabela 6.5, e poderão prejudicar a união entre as fibras pela sua eliminação, enfraquecendo as que se vão formando, afectando a qualidade dos papéis produzidos [26].

Tabela 6.5 - Problemas causados pelos microrganismos presentes no processo (Anexo C)
[34]

Tipo de microrganismo	Modo de actuação	Problemas causados
Bactérias Aeróbias	<ul style="list-style-type: none"> • Produzem lodo de uma forma activa; • Alguns são formadores de esporos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Os depósitos de lodo podem causar rupturas, buracos e manchas; • Esporos no produto final
Bactérias Facultativas	<ul style="list-style-type: none"> • Produzem lodo; • Produzem ácido acético e lácteo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Problemas de drenagem na máquina do papel; • Variações de pH por deterioração da pasta; • Deterioração dos aditivos (descida de pH e perda de viscosidade).
Bactérias Anaeróbias	<ul style="list-style-type: none"> • Produzem ácidos gordos voláteis (butano e propano); • Produzem H₂S; • Formam esporos (Clostridia). 	<ul style="list-style-type: none"> • Mau cheiro no produto final (papel); • H₂S é muito tóxico, e conhecido pelo mau cheiro que provoca; • H₂S causa sérios problemas de corrosão por formar FeS (<i>deposição negra</i>).

Os métodos normalmente utilizados para um controlo microbiológico que podem ser encontrados são [26]:

- Biocidas não-oxidantes
- Oxidantes
- Dispersantes
- Enzimas
- Limpezas Químicas

Em resultado do levantamento de necessidades, e da existência de microrganismos, foram executadas algumas lavagens aos tinões, tanques e circuitos, aproveitando-se algumas paragens da máquina do papel e foi realizada manutenção aos agitadores do tinões (Anexo C).

6.3.3. Conclusões dos testes químicos e microbiológicos efectuados

Após levantamento de necessidades concluiu-se que além da necessidade de incorporar um novo produto químico no processo de fabrico, será necessário adoptar algumas medidas para um eficaz tratamento microbiológico, que serão:

- A. Reduzir áreas de estancamento no sistema
 - Gestão apropriada das pastas e desperdícios;
 - Gestão apropriada de Caudais / renovação de circuitos;
 - Desenho apropriado dos tinões e tanques (para evitar estratificação);
 - Instalação de agitadores.
- B. Minimizar grandes volumes;
- C. Programar limpezas apropriadas.

O estudo apresentado pela empresa vem confirmar que a solução é viável. O estudo apresentou claras melhorias na turbidez da água removida na tela da suspensão fibrosa, demonstrando uma água com menos matéria suspensa, fibra, e ao mesmo tempo melhores valores para a drenagem na tela o que representa uma maior eficiência das caixas aspirantes, hidrofoils e roletes da máquina do papel, na remoção de água e melhor formação da folha numa fase importante para o efeito.

Conclui-se que é necessário um tratamento microbiológico mais eficaz pois devido à acção microbiana a água do processo apresenta actualmente ainda algum mau cheiro, atribuindo ao papel fabricado, odores desagradáveis, e que é indesejável para o cliente.

7. Resultados dos ensaios físico-mecânicos ao papel

Os ensaios físico-mecânicos foram realizados em dois momentos. Um primeiro momento anterior às medidas adoptadas neste trabalho (Anexo D e E) e o outro momento posterior às medidas implementadas neste trabalho (Anexo E e F). Os ensaios foram realizados num laboratório externo, atendendo que a Ponte Redonda não possui condições para os executar.

Pretendeu-se com estes dois momentos avaliar se as medidas implementadas tiveram algum impacto na qualidade do papel, nomeadamente na resistência apresentada por dois tipos de papel, o Fluting de 110 g/m², e o Test-Liner 80 g/m².

7.1. Introdução

O papel do tipo Fluting e o papel do tipo Test-Liner são papéis diferentes e têm aplicações diferentes, como referido anteriormente, logo os parâmetros a avaliar na realização dos ensaios serão diferentes.

Para o papel Fluting sendo este um papel utilizado como folhas intermédias nos sacos para embalagens e nas caneluras do cartão, são avaliados os seguintes parâmetros:

- Gramagem do papel;
- Espessura do papel;
- Rebentamento do papel;
- A resistência ao esmagamento dos bordos (CCT DT);
- A resistência ao esmagamento perpendicular (CMT).

Para o papel Test-Liner e sendo este papel utilizado como folhas de superfície quer no fabrico de sacos para embalagem quer no fabrico de cartão canelado, são avaliados os seguintes parâmetros:

- Gramagem do papel;
- Espessura do papel;
- Rebentamento do papel;
- A força de esmagamento em anel (RCT DT e RCT DM);
- Cobb/60.

Com se pode verificar existem parâmetros comuns, nomeadamente gramagem do papel, espessura do papel e rebentamento do papel. A gramagem do papel e a espessura do papel, efectua-se para confirmar se o papel produzido tem a gramagem que se pretendia obter no seu fabrico. O rebentamento do papel, faz sentido efectuar em qualquer papel visto que é um parâmetro que avalia a sua resistência quanto ao rebentamento e é muito

importante pois quer os sacos quer os cartões (fabrico de caixas) são sujeitas a um esforço físico considerável,

Os parâmetros CCT DT e CMT são efectuados apenas do papel tipo Fluting. Como apresentado no capítulo 5, ambos os parâmetros avaliam a resistência das caneluras, daí estes parâmetros serem importantes para este tipo de papel.

Os parâmetros RCT DT, RCT DM e Cobb/60 são determinados no papel do tipo Test Liner dado que estes papéis estão em contacto directo com o meio ambiente e sujeito a outras interferência, que os papéis do tipo Fluting não estão. O parâmetro Cobb/60 é importante pois como os papéis do tipo Test-Liner estão em contacto com o meio ambiente, este deverá apresentar uma absorção de água a mais reduzida possível.

Os parâmetros RCT DT e RCT DT, avaliam a resistência do papel. São parâmetros que dão uma indicação do comportamento dos papéis à compressão como referido no capítulo 5. A diferença entre estes dois parâmetros deve-se ao facto que o RCT DT avalia a resistência do papel no sentido transversal em relação à direcção do movimento da máquina do papel, e o RCT DM, avalia a resistência do papel no sentido da direcção do movimento da máquina do papel.

7.2. Fluting de 110 g/m²

Na tabela 7.1 estão representados os valores obtidos dos ensaios efectuados ao papel do tipo Fluting de 110 g/m², antes de implementadas as medidas objecto do trabalho.

Na tabela 7.2 estão representados os valores obtidos dos ensaios efectuados ao papel do tipo Fluting de 110 g/m², depois de implementadas as medidas objecto do trabalho.

Para cada ensaio estão indicadas as normas que são aplicadas, conforme apresentado no capítulo 5.

Tabela 7.1 - Resultados dos ensaios pré-medidas: Fluting

Ensaio	Norma / ISO	Unidade	Resultado médio
Gramagem do papel	NP EN ISO 536	g/m ²	112 ± 0,7
Espessura do papel	NP 1549	mm	254 ± 20,4
Rebentamento do papel	ISO 2758	kPa	110 ± 5,4
CCT DT	NP 687	kN/m	0,77 ± 0
CMT	NP EN ISO 7263	N	87 ± 11,9

Tabela 7.2 - Resultados dos ensaios pós-medidas: Fluting

Ensaio	Norma / ISO	Unidade	Resultado médio
Gramagem do papel	NP EN ISO 536:1997	g/m ²	112 ± 1,2
Espessura do papel	ISO 534:2005	mm	244 ± 10,7
Rebentamento do papel	ISO 2758:2001	kPa	126 ± 8,4
CCT DT	NP 687	kN/m	0,82 ± 0
CMT	NP EN ISO 7263	N	134 ± 12,6

7.3. Test-Liner de 80g/m²

Na tabela 7.3 estão representados os valores obtidos dos ensaios efectuados ao papel do tipo Test-Liner de 80 g/m², antes de implementadas as medidas objecto do trabalho.

Na tabela 7.4 estão representados os valores obtidos dos ensaios efectuados ao papel do tipo Test-Liner de 80 g/m², depois de implementadas as medidas objecto do trabalho.

Para cada ensaio indicam-se as normas aplicadas, conforme apresentado no capítulo 5.

Tabela 7.3 - Resultados dos ensaios pré-medidas: Test-Liner

Ensaio	Norma / ISO	Unidade	Resultado médio
Gramagem do papel	NP EN ISO 536:1997	g/m ²	75 ± 2,5
Espessura do papel	ISO 534:2005	mm	162 ± 5,4
Rebentamento do papel	ISO 2758:2001	kPa	164 ± 16,8
CCT DT	NP 687	kN/m	0,66 ± 0
RCT DT	SCAN-P 4:81	kN/m	0,26 ± 0,029
RCT DM	SCAN-P 34:71	kN/m	0,42 ± 0,044
Cobb/60	NP EN 20 535:1995	g/m ²	36 ± 0

Tabela 7.4 - Resultados dos ensaios pós-medidas: Test-Liner

Ensaio	Norma / ISO	Unidade	Resultado médio
Gramagem do papel	NP EN ISO 536:1997	g/m ²	79 ± 0,7
Espessura do papel	ISO 534:2005	mm	164 ± 0,7
Rebentamento do papel	ISO 2758:2011	kPa	176 ± 0,7
CCT DT	NP 687	kN/m	0,8 ± 0,7
RCT DT	SCAN-P 4:81	kN/m	0,41 ± 0,7
RCT DM	SCAN-P 34:71	kN/m	0,56 ± 0,7
Cobb/60	NP EN 20535:1995	g/m ²	33 ± 0,7

7.4. Conclusões dos ensaios físico-mecânicos aos papéis

Em ambos os papéis os resultados dos ensaios na situação pós-medidas são melhores quando comparados na situação pré-medidas. Seria de esperar um aumento da resistência dos papéis, o que de um modo geral foi atingido.

O papel do tipo Fluting em ambas as situações apresentou a mesma gramagem, de 112 g/m². Todos os parâmetros de resistência do papel, nomeadamente rebentamento do papel, CCT DT e CMT, melhoraram. Com a implementação do Regulador de Consistência no processo de fabrico, seria de esperar um aumento das resistências, nomeadamente no rebentamento e compressão, o que se verificou para todos os ensaios.

O papel do tipo Test-Liner apresentou em ambos os ensaios, diferente gramagem, tendo-se obtido no momento pré-medidas um valor de 75 g/m², e um valor superior de 79 g/m², obtido no momento pós-medidas. O facto de o papel ter um valor de gramagem superior leva a que naturalmente tenha valores de resistências maiores, daí que a análise aos valores obtidos tenha isso em consideração.

No entanto o aumento em percentagem da gramagem é inferior aos valores em percentagem dos parâmetros efectuados ao papel, o que indica que esse aumento deve-se não só ao facto do papel ter mais peso, mas sim também porque o seu fabrico também teve influência nos resultados, o que seria de esperar.

No ensaio de absorção de água, houve também uma melhoria, dado que o papel do tipo Test-Liner absorveu menos 8% de água. É um ótimo resultado, atendendo a que normalmente os papéis fabricados na indústria da reciclagem do papel não conseguem realizar este ensaio, visto que, antes dos 60 segundos do ensaio o papel apresenta ruptura, impossibilitando a conclusão do ensaio.

8. Conclusões

No processo de fabrico de papel da Ponte Redonda fabricam-se vários tipos de papéis. O papel do tipo Test-Liner e do tipo Fluting são os mais comuns, e de maior importância para o processo de fabrico de sacos da empresa. O papel do tipo Test-Liner é normalmente utilizado nas primeiras folhas dos sacos ou nas coberturas interiores do cartão canelado e o papel Fluting é utilizado nas folhas intermédias dos sacos ou das caneluras, no caso de cartão canelado. Deste modo o trabalho incidiu sobre estes dois tipos de papéis, no sentido de introduzir medidas para melhorar as características físico-mecânicas dos papéis.

Para o efeito implementaram-se medidas que foram objecto deste trabalho, nomeadamente a introdução de um sistema de flutuação, de um sistema de regulação de consistência da suspensão fibrosa e pesquisa de soluções inovadoras no tratamento químico e microbiológico no processo de fabrico.

O processo de fabrico de papel reciclado utiliza cerca de 400 m³/dia de água, sendo que mais de 90% desta é reutilizada sem qualquer tratamento físico-químico prévio, e a restante é perdida por evaporação e no papel à saída do processo. A concentração de sólidos suspensos neste efluente é de 1720 mg/L. Por cada tonelada de papel produzido o processo necessita da mesma quantidade em água fresca, que no caso da Ponte Redonda ronda os 40 a 60 m³/dia. No ano de 2010 o processo consumiu um total de 6247 m³ de água fresca, sendo grande parte desta água passível de ser substituída por água clarificada, proveniente de um flutuador. Atendendo a este factor a empresa optou por adquirir um flutuador que, no âmbito deste trabalho, foi introduzido no processo e colocado a funcionar. No entanto a empresa não tem necessidade de tratar toda a água do processo nem de efectuar um tratamento completo, daí ter tido esse aspecto em consideração aquando da aquisição do flutuador. Com a introdução do flutuador e utilizando a água clarificada para os destinos previstos verificou-se que o valor estimado de poupança de água fresca é de 5514 m³ por ano., representando uma poupança de 88% por ano. Obtém-se também das lamas ricas em fibra um valor anual de 8030 kg, considerando a eficiência actual do flutuador.

Os refinadores, depurador cabeça de máquina, caixa de chegada da máquina de papel, entre outros, permitem, de um modo geral, regular a consistência da pasta: no entanto, não é possível assegurar uma consistência constante na alimentação à máquina do papel. Para ultrapassar esse problema do processo da Ponte Redonda optou-se, por implementar um sistema que assegurasse essa consistência e numa fase final do processo de preparação da pasta. Esse sistema inovador é um regulador de consistência que vem proporcionar à máquina do papel uma alimentação em fibra mais constante. Com a sua implementação as características físico-mecânicas do papel puderam ser melhoradas, como se confirmou com os resultados obtidos nos ensaios dos papéis.

No fabrico de papel, uma folha que contenha exclusivamente fibras celulósicas não possui as características desejadas para a utilização normal dos papéis. Para corrigir estas deficiências, são adicionados produtos químicos para atribuir ou melhorar as propriedades dos papéis. Assim, pensou-se que seria interessante introduzir no processo um agente de retenção numa fase posterior à preparação da pasta e antes da chegada à máquina de papel, de forma a garantir uma melhor agregação das fibras, e melhor drenagem na tela, proporcionando uma melhor ligação entre fibras na direcção máquina e direcção transversal. Este efeito vem também assegurar um aumento da eficiência das prensas, favorecendo uma melhor formação da folha, além de uma possível poupança em energia na fase de secagem do papel, atendendo a que um papel com menor teor de humidade não necessita de uma temperatura de secagem tão elevada

Para tal contactou-se uma empresa líder no sector, e reconhecida na indústria papeleira para procurar uma solução para o que se pretendia. Foi implementado por essa empresa um sistema para efectuar testes de modo a verificar se a solução seria viável. O estudo apresentou claras melhorias na turbidez da água removida na tela da suspensão fibrosa, demonstrando uma água com menos matéria suspensa, fibra, e ao mesmo tempo melhores valores para a drenagem na tela o que representa uma maior eficiência das caixas aspirantes, hidrofoils e roletes da máquina do papel, na remoção de água e melhor formação da folha numa fase importante para o efeito. Para verificar se as medidas implementadas tiveram influência na qualidade do papel realizaram-se ensaios aos dois tipos de papéis produzidos, concretamente o Fluting de 110 g/cm² e o Test-Liner de 80 g/cm². Os ensaios foram realizados em dois momentos, antes e após a implementação das medidas, e avaliaram-se os parâmetros, gramagem, espessura, resistência ao rebentamento, resistência ao esmagamento dos bordos (CCT DT), resistência ao esmagamento perpendicular (CMT), força de esmagamento em anel (RCT DM e RCT DT) e absorção de água.

Atendendo a que os papéis em causa têm aplicações diferentes, os ensaios foram diferentes para os dois papéis. Para o papel do tipo Fluting realizaram-se todos os ensaios excepto o RCT DT, RCT DM e absorção de água, e para o papel do tipo Test-Liner realizaram-se todos os ensaios excepto o CCT DT e CMT.

Os resultados apresentaram melhorias em todos os ensaios, o que seria previsível, atendendo às medidas implementadas, principalmente do regulador de consistência.

O papel do tipo Fluting apresentou uma gramagem constante de 112 g/m². Em todos os parâmetros de resistência deste papel, obtiveram-se melhores resultados, representando uma melhoria clara na qualidade do papel.

O papel do tipo Test-Liner apresentou uma gramagem, no momento de pré-medidas, um valor de 75 g/m², e um valor no momento de pós-medidas de 79 g/m². O facto de o papel

ter um valor de gramagem superior leva a que naturalmente tenha valores de resistências maiores. Os resultados dos ensaios demonstram uma melhoria em todos os parâmetros, o que seria previsível apenas pelo facto de apresentar uma gramagem superior em pós-medidas. No entanto, e em termos percentuais, o aumento dos parâmetros de resistência são superiores ao aumento da gramagem. Nos ensaios de absorção de água, dado que o papel absorveu menos 8% de água significa um papel melhor formado, sendo um óptimo resultado, atendendo a que normalmente os papéis fabricados na indústria da reciclagem do papel não conseguem realizar este ensaio, visto que, antes dos 60 segundos do ensaio o papel apresenta ruptura, impossibilitando a conclusão do ensaio.

Pode-se concluir que com as medidas implementadas, se conseguiu uma suspensão fibrosa mais bem formada, e que a força de ligação entre fibras melhorou proporcionando uma melhor formação da folha e consequentemente uma folha de papel com propriedades físico-mecânicas mais interessantes.

9. Sugestões para trabalhos futuros

Concluiu-se com este trabalho que se forem adoptados medidas mais rigorosas no tratamento das águas do processo, na linha do processo, nomeadamente conseguindo um aumento da eficiência do flutuador e implementando um sistema de tratamento químico e microbiológico inovador, actualizado, adaptado à realidade da empresa e que assegure uma melhor retenção à caixa de chegada da máquina, entre outras, poderão ser conseguidas melhorias ainda mais interessantes e que vão de encontro com o objectivo principal da empresa: o fabrico de papel para as suas próprias necessidades, no que diz respeito aos sacos de papel multi-folhas.

Como tal sugerem-se actividades para trabalhos a serem desenvolvidos no futuro, nomeadamente:

- a realização de ensaios utilizando-se pasta de papel com diferentes consistências de forma a entender como o processo da Ponte Redonda responde à utilização do regulador de consistência em diferentes situações.
- a realização de ensaios ao papel após implementação da proposta da empresa NALCO, isto é a colocação de um sistema de retenção à cabeça de máquina, na máquina do papel, e de um sistema microbiológico no processo mais eficaz, pois concluiu-se que os resultados dos testes foram muito positivos.
- a análise às lamas do flutuador produzidas de forma a se saber se as fibras aí existentes apresentam uma boa estrutura fibrosa, assim como avaliar os efeitos no papel produzido da incorporação dessas fibras e determinar a sua taxa máxima de incorporação no início do processo.
- um estudo económico, com vista a determinar se seria interessante aumentar a eficiência do flutuador ao máximo admissível para uma máxima remoção de fibras dispersas no efluente, avaliando-se deste modo o valor destas fibras para o processo como matéria-prima.
- um estudo laboratorial de coagulação/floculação no sentido de otimizar as condições de aplicação do coagulante e do floculante, assim como avaliar o comportamento de outros produtos alternativos.

Referências bibliográficas

- [1] PERSU II, 2007, Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2016 (versão PDF do documento descarregada em 22 de Outubro de 2011).
- [2] Sistema de Identificação de Papel Recuperado da Europa <http://www.recoveredpaperid.eu> (acedido em 22 de Outubro de 2011).
- [3] Associação Nacional de Recuperação e Reciclagem de Papel e Cartão, <http://recipac.wordpress.com> (acedido em 22 de Outubro de 2011).
- [4] Confederation of European Paper Industries, <http://www.cepi.org> (acedido em 22 de Outubro de 2011).
- [5] Recovered Paper Identification System, 2010, European Declaration On Paper Recycling – Monitoring Report 2010. (versão PDF do documento descarregada em 22 de Outubro de 2011).
- [6] CELPA, 2009, Boletim Estatístico - Indústria Papeleira Portuguesa. (versão PDF do documento descarregada em 22 de Outubro de 2011).
- [7] European Recovered Paper Association, <http://www.erpainfo> (acedido em 22 de Outubro de 2011).
- [8] Associação da Indústria Papeleira, <http://www.celpta> (acedido em 22 de Outubro de 2011).
- [9] Tewari P.K., Batra V.S., Balakrishnan M., 2009, Efficient water use in industries: Cases from the Indian agro-based pulp and paper mills, Journal of Environmental Management 90 (2009) 265-273.
- [10] Laurijssen J., Frans J., Gram, Worrell E., Faaij A., 2010, Optimizing the energy efficiency of conventional multi-cylinder dryers in the paper industry, Energy 35, 3738-3750
- [11] Vieira M.G.A., Rocha S.C.S., 2007, Drying conditions influence on physical properties of recycled paper, Chemical Engineering and Processing 46, 955–963.

- [12] Rahman M.O., Hussain A., Scavino E., Basri H., Hannan M.A., 2011, Intelligent computer vision system for segregating recyclable waste papers , *Expert Systems with Applications* 38, 10398–10407.
- [13] Figueiredo Á., 1963, *Curso de Técnica Papeleira*. Gremio Nacional de Industriais de Fabricação de Papel.
- [14] Clark J.Á., 1978, *Pulp technology and Treatment for Paper*. Miller Freeman Publications, INC.
- [15] Holik H. (Ed.), 2006, *Handbook of paper and Hanbook*. Wiley-VCH.
- [16] Nuttall G.H., M.A. (Cantab.), 1968, *Theory and Operation of The Fourdrinier Paper Machine*. SC. Phillips & Co. Ltd.
- [17] NP EN ISO 536:1997, Determinação da Gramagem.
- [18] ISO 534:2005, 2005, Determinação da Espessura e Massa Volúmica de folhas simples ou folhas sobrepostas.
- [19] ISO 1924-2:2008, 2008, Determinação da Resistência à Tracção (Alongamento constante).
- [20] ISO 2758:2001, 2001, Determinação da resistência ao Rebentamento.
- [21] SCAN-P 34:71, 1971, Ring Crush Test.
- [22] SCAN-P 4:81, 1981, Corrugated Crush Test.
- [23] EN ISO 7263:2008, 2008, Papel para canelura de cartão canelado - Determinação da resistência ao esmagamento plano após canelura em laboratório.
- [24] NP EN 20 535, 1995, Papel e cartão. Determinação da absorção de água.
- [25] Morais C. e Esteves T., 2009, Apontamentos disponibilizados no âmbito da disciplina de *Processos Físico-Químicos*, ISEP.

- [26] Metcalf&Eddy, Inc , 1991, *Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse*, 3^a Ed., McGraw-Hill, Inc.
- [27] Ramalho, R. S., 1996, *Tratamiento de Aguas Residuales*. Editorial Reverté, SA.
- [28] Rubio, J., Souza, M.L. e Smith, R.W., 2002, Overview of flotation as wastewater treatment technique. *Minerals Engineering*, 15(3), 139-155.
- [29] Napier-Reid, <http://www.napier-reid.com> (acedido em 27deSetembro de 2011).
- [30] Peragallo R.T., 2002, *Fluidos Térmicos*. Hemus Editora Limitada.
- [31] APHA, AWWA e WEF, 1998, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, , 20^a edição.
- [32] Figueiredo S. e Costa R., 2009, *Apontamentos disponibilizados no âmbito da disciplina de Laboratório de Tecnologia Ambiental*. ISEP.
- [33] <http://www.btg.com/application.asp?cat=prod&langage=1&apli=7>, acedido em 2 de Outubro de 2011.
- [34] <http://sp-eu.nalco.com/eu/industries/pulp-paper.htm>, acedido em 3 de Outubro de 2011.

Anexos

Anexo A – Tabelas auxiliares para a determinação das perdas de carga

PERDAS DE PRESSÃO POR ATRITO EM TUBULAÇÕES																
Valores para tubos novos de forma fundido ou galvanizados em metros por 100 m de tubo																
VAZÃO			DIÂMETRO NOMINAL													
lts./seg.	lts./min.	m ³ /hora	20mm ¾ pol.	25 1	32 1. ¼	40 1. ½	50 2	65 2. ½	80 3	100 4	125 5	150 6	200 8	250 10	300 12	
0,28	16,7	1	7,5	2,70	6,75	0,22	0,08									
0,42	25,0	1,5	16,0	6,00	1,60	0,50	0,17									
0,56	33,4	2	27,0	10,00	2,70	0,80	0,28	0,07								
0,84	50,0	3	58,0	21,30	8,00	1,80	0,60	0,18	0,05							
1,11	66,5	4	100,0	27,00	10,00	3,00	1,05	0,27	0,10							
1,39	83,4	5		55,00	15,50	4,70	1,60	0,42	0,15	0,05						
1,67	100	6		80,00	22,00	6,50	2,20	0,60	0,20	0,07						
2,22	133	8			37,00	11,50	3,90	1,00	0,35	0,13						
2,78	167	10			58,00	17,00	5,70	1,50	0,50	0,20	0,06					
3,47	209	12,5			85,00	25,00	8,50	2,30	0,80	0,28	0,09					
4,16	250	15				37,00	12,50	3,30	1,10	0,40	0,13	0,05				
4,85	291	17,5				47,00	16,00	4,20	1,40	0,50	0,17	0,06				
5,55	334	20				63,00	21,50	5,70	2,00	0,70	0,23	0,09				
6,95	416	25				95,00	33,00	8,50	3,00	1,10	0,35	0,13				
8,34	500	30					45,00	12,00	4,70	1,50	0,50	0,20	0,05			
9,72	584	35					61,0	16,00	5,70	2,00	0,65	0,24	0,08			
11,10	666	40					78,0	20,50	7,00	2,50	0,80	0,30	0,08			
12,50	750	45					100,0	26,00	9,00	3,10	1,00	0,40	0,10			
13,90	834	50						32,00	11,00	3,80	1,26	0,50	0,12			
16,70	1000	60						45,00	16,00	5,50	1,80	0,70	0,16	0,05		
19,5	1170	70						60,00	21,00	7,20	2,40	0,90	0,21	0,07		
22,2	1335	80						78,00	26,50	9,20	3,10	1,20	0,27	0,09		
25,0	1500	90							34,00	12,00	3,80	1,40	0,35	0,12		
27,8	1670	100							40,00	14,00	1,70	1,80	0,42	0,14		
33,4	2000	120							58,00	20,00	6,60	2,50	0,60	0,20	0,08	
38,9	2335	140							80,00	27,00	9,00	3,30	0,80	0,26	0,10	
44,5	2670	160								35,00	11,50	4,25	1,00	0,34	0,13	
50,0	3000	180								43,00	14,00	5,30	1,25	0,42	0,17	
55,6	3335	200								50,00	17,50	6,50	1,50	0,50	0,20	
61,1	3670	220								60,00	20,50	8,00	1,80	0,60	0,24	
66,7	4000	240														
83,4	5000	300									38,00	14,00	3,30	1,10	0,45	
97,2	5835	350										19,00	4,50	1,50	0,60	
111,0	6670	400											5,80	1,90	0,80	
125,0	7515	450											7,00	2,40	1,00	
138,7	8340	500												2,00	1,20	

Cortesia KSB Bombas Hidráulicas S/A.

Figura A.1 – Perdas de carga numa tubagem [30]

PERDAS DE PRESSÃO EM CURVAS DE 90°															
Em Metros															
VAZÃO			DIÂMETRO NOMINAL												
lts. seg.	lts. min.	m ³ hora	mm pol.	25 1	32 1. ¼	40 1. ½	50 2	65 2. ½	80 3	100 4	125 5	150 6	200 8	250 10	300 12
0,28	16,7	1		0,01											
0,42	25,0	1,5		0,02	0,01										
0,56	33,4	2		0,06	0,02										
0,84	50,0	3		0,12	0,04	0,02									
1,11	66,6	4		0,25	0,08	0,03									
1,39	83,4	5		0,32	0,12	0,04									
1,67	100	6		0,40	0,16	0,05	0,03								
2,22	133	8			0,28	0,12	0,04								
2,78	167	10			0,45	0,20	0,08	0,03							
3,47	209	12,5				0,25	0,12	0,04							
4,16	250	15				0,40	0,16	0,06	0,02						
4,86	291	17,5				0,50	0,24	0,09	0,03						
5,55	334	20				0,80	0,30	0,10	0,04	0,03					
6,95	416	25					0,40	0,18	0,08	0,04					
8,34	500	30					0,60	0,24	0,10	0,05					
9,72	584	35					0,80	0,30	0,15	0,06	0,02				
11,1	666	40						0,45	0,18	0,07	0,03				
12,5	750	45						0,55	0,22	0,08	0,04				
13,9	834	50						0,60	0,26	0,12	0,06	0,02			
16,7	1000	60							0,40	0,16	0,08	0,03			
19,5	1170	70							0,60	0,22	0,10	0,05			
22,2	1335	80							0,80	0,26	0,12	0,06	0,02		
25,0	1500	90								0,32	0,14	0,07	0,03		
27,8	1670	100								0,50	0,18	0,08	0,03		
33,4	2000	120								0,80	0,26	0,12	0,04		
38,9	2335	140									0,34	0,16	0,06	0,02	
44,5	2670	160									0,45	0,24	0,08	0,03	
50,0	3000	180									0,60	0,28	0,09	0,04	
55,6	3335	200									0,80	0,32	0,12	0,05	0,02
69,5	4165	250										0,60	0,16	0,07	0,03
83,4	5000	300										0,80	0,22	0,10	0,06
97,2	5835	350											0,32	0,15	0,07
111	6670	400											0,40	0,20	0,10
125	7515	450											0,60	0,25	0,12
138,7	8340	500											0,80	0,30	0,15

(Cortesia KSB Bombas Hidráulicas S/A.

Figura A.2 – Perdas de carga em curvas [30]

PERDAS DE PRESSÃO EM VÁLVULAS DE PÉ															
Em Metros															
VAZÃO			DIÂMETRO NOMINAL												
lts. seg.	lts. min.	m ³ hora	mm pol.			40 1. 1/2	50 2	65 2. 1/2	80 3	100 4	125 5	150 6	200 8	250 10	300 12
0,28	16,7	1													
0,42	25,0	1,5													
0,56	33,4	2													
0,84	50,0	3				0,10									
1,11	66,6	4				0,15	0,10								
						0,20	0,15	0,10							
1,39	83,4	5				0,25	0,15	0,10							
1,67	100	6				0,30	0,20	0,15	0,10						
2,22	133	8				0,40	0,25	0,20	0,15	0,10					
2,78	167	10				0,45	0,30	0,25	0,20	0,15					
3,47	209	12,5				0,50	0,40	0,30	0,25	0,20	0,10				
4,16	250	15						0,40	0,30	0,20	0,15				
4,86	291	17,5						0,50	0,35	0,25	0,20				
5,55	334	20						0,60	0,40	0,30	0,25	0,10			
5,95	416	25						0,50	0,35	0,30	0,30	0,15			
6,34	500	30						0,60	0,40	0,30	0,30	0,20			
9,72	584	35							0,50	0,45	0,35	0,25	0,10		
11,1	666	40							0,60	0,45	0,35	0,25	0,10		
12,5	750	45							0,60	0,45	0,35	0,25	0,15		
13,9	834	50							0,70	0,45	0,30	0,30	0,15	0,10	
16,7	1000	60								0,50	0,35	0,20	0,20	0,10	
19,5	1170	70								0,60	0,40	0,25	0,10		
22,2	1335	80								0,70	0,45	0,30	0,15	0,10	0,10
25,0	1500	90									0,50	0,35	0,15	0,10	0,10
27,8	1670	100									0,60	0,40	0,20	0,15	0,15
33,4	2000	120									0,65	0,45	0,25	0,25	0,15
38,0	2325	140											0,50	0,30	0,20
44,5	2670	160											0,55	0,35	0,25
50,0	3000	180											0,60	0,40	0,30
55,6	3335	200											0,65	0,45	0,35
69,5	4165	250												0,50	0,40
83,4	5000	300													0,60
97,2	5835	350													0,65
111	6670	400													0,70
125	7515	450													0,75
138,7	8340	500													0,80

Cortesia KSB Bombas Hidráulicas S/A.

Figura A.3 – Perdas de carga em válvulas [30]

PERDAS DE PRESSÃO EM VÁLVULAS DE RETENÇÃO																
Em Metros																
VAZÃO			DIÂMETRO NOMINAL													
lts. seg.	lts. min.	m ³ hora	mm pol.	25 1	32 1, 1/2	40 1, 1/2	50 2	65 2, 1/2	80 3	100 4	125 5	150 6	200 8	250 10	300 12	
0,28	18,7	1		0,02												
0,42	25,0	1,5		0,06	0,02											
0,56	35,4	2		0,15	0,06											
0,84	60,0	3		0,30	0,10	0,04										
1,11	66,6	4		0,60	0,20	0,07										
1,39	83,4	5		0,90	0,30	0,11										
1,67	100	6		1,00	0,40	0,15	0,07									
2,22	133	8			0,70	0,30	0,11									
2,78	167	10			1,10	0,50	0,20	0,06								
3,47	209	12,5			0,60	0,30	0,30	0,10								
4,16	250	15				1,00	0,40	0,15	0,06							
4,86	291	17,5				1,30	0,60	0,22	0,08							
5,55	334	20				2,00	0,70	0,25	0,11	0,07						
6,95	418	25					1,10	0,45	0,20	0,08						
8,34	500	30					1,50	0,60	0,25	0,12						
9,72	584	35					2,00	0,75	0,25	0,15	0,06					
11,1	666	40						1,10	0,45	0,18	0,08					
12,5	750	45						1,40	0,55	0,20	0,10					
13,9	834	50						1,50	0,65	0,30	0,15	0,05				
16,7	1000	60							1,00	0,40	0,20	0,06				
18,5	1170	70							1,50	0,55	0,25	0,12				
22,2	1335	80							2,00	0,65	0,30	0,15	0,06			
25,0	1500	90								0,60	0,35	0,19	0,07			
27,8	1670	100								1,20	0,45	0,21	0,08			
33,4	2000	120								2,00	0,65	0,30	0,10			
38,0	2335	140									0,85	0,40	0,15	0,05		
44,5	2870	160									1,10	0,60	0,20	0,08		
50,0	3000	180									1,50	0,70	0,22	0,10		
55,6	3335	200									2,00	0,80	0,30	0,13	0,06	
69,5	4165	250										1,30	0,40	0,18	0,08	
83,4	5000	300										2,00	0,55	0,25	0,15	
97,2	5835	350											0,60	0,35	0,18	
111	6670	400											1,00	0,50	0,25	
125	7515	450											1,50	0,60	0,30	
138,7	8340	500											2,00	0,70	0,35	

Cortesia KSB Bombas Hidráulicas S/A.

Figura A.4 – Perdas de carga em válvulas de retenção [30]

Anexo B – Folheto técnico do Regulador de Consistência MBT-2300

MBT-2300

Transmissor de Consistência

Transmissor de Consistência Inteligente, com Sensor Activo

- Alta precisão e reprodutibilidade da medida
- Sensibilidade mínima ao fluxo numa grande gama de trabalho
- Desenho robusto para grande duração e com um mínimo de manutenção
- O sensor está completamente protegido por um deflector
- Fácil de calibrar
- Quatro gamas de medida programáveis independentemente
- Linearização automática do sinal de saída
- Completa documentação da calibração e pesquisa de avarias através de uma impressora ou do PC
- Instalação simples - baixo custo de instalação

Generalidades

MBT-2300 o usa o princípio da força de corte para medir a consistência com um sensor activo. O princípio de medida através da força de corte torna o transmissor virtualmente insensível às variações normais na composição da fibra, à refinação, às cargas, ao teor de licor negro, à velocidade do fluxo, ao ar existente, à pressão, etc. Assim, o método de medida com sensor activo é menos sensível à variação da velocidade do fluxo quando comparado com os transmissores de palheta estática.

MBT-2300 é um transmissor inteligente baseado num micro-processador que é totalmente configurado por um terminal portátil - o SPC-1000 - ligado a qualquer ponto do laço do sinal de saída de 4-20 mA. Contudo, a maioria dos parâmetros podem ser introduzidos através de um teclado na caixa de junção. As comunicações com um Sistema de Controlo Distribuído são feitas através de um sinal superimposto de acordo com o protocolo standard Hart®.

Transmissor é ligado através de um sistema de 3 condutores para a saída analógica e alimentação de baixa tensão. A alimentação de corrente pode ser feita para vários transmissores a partir de uma estação de alimentação central, ou a partir de uma fonte de alimentação local com caixa de junção montada em cada transmissor (opção).

Transmissor MBT-2300 faz parte da família de transmissores inteligentes de BTG. Um terminal portátil pode configurar vários transmissores diferentes.

Ver também o folheto técnico D218.55 sobre o terminal portátil SPC-1000.



Transmissor de consistência MBT-2300 com caixa de junção e terminal portátil

Dados técnicos

Generalidades

Tipo	Transmissor electrónico inteligente de consistência MBT-2300.
Fabricante	BTG, Säffle, Suécia.
Princípio de medida	Medida da força de corte. Medida do tempo do movimento de um sensor activo.
Gama de medida	Aprox. 1,5-8% de consistência dependendo do tipo de pasta e do elemento sensor (ver também dimensões da tubagem).



Limites da gama	Min. aprox. 0,5%, máx. aprox. 5% de consistência, dependendo do tipo de pasta, da consistência normal e do elemento sensor.
Sensibilidade	Melhor que $\pm 0,0075\%$, dado em percentagem da consistência e de acordo com as amostras de laboratório tomadas sob condições controladas.
Repetibilidade	Melhor que $\pm 0,3\%$ de toda a deflexão da escala - sob condições estáveis de funcionamento.
Velocidade do fluxo	Min. 0,1 m/s, máx. 5 m/s.
Padronização	Qualidade assegurada de acordo com a norma ISO 9001. Desenhado de acordo com os padrões relevantes CE.
Directiva de Baixa tensão 73/23/EEC	EN 61010-1 Abril 93
Directiva EMC 89/336/EEC	EN 50081-2 Ago. 93 EN 50082-2 Março 95
Peso	Transmissor: 5,5 kg Cabo standard : 1,2 kg Caixa de junção : 1,6 kg Adicionar 0,4 kg para a fonte de alimentação.

Transmissor

Montagem	Flange soldável na tubagem. Fornecida como acessório.
Diâmetro min. da tubagem	Depende do elemento sensor.

Elemento sensor	Diâmetro min. da tubagem	Gama de consistência
L	125 mm	1,5 - 5%
LM	100 mm	1,5 - 5%
S	100 mm	3 - 8%
SM	80 mm	3 - 8%
LC	125 mm	1,5 - 5%

A gama de consistência medida depende do tipo de fibra e do seu comprimento entre outras coisas, sendo os valores apresentados apenas uma indicação. O sensor tipo LC está especialmente desenhado para os tipos de pasta com baixa força de corte, tais como as pastas recicladas. Contactar a BTG para mais informação sobre a gama de medida.

Pressão de funcionamento	DIN PN 25 (360 psi a 68°F)
Temperatura do meio	Min. 1 °C / 10 °C dependendo da selagem do eixo seleccionada. Máx. 100 °C.
Temperatura ambiente	Min. -20 °C, máx. 60 °C. Deverá haver ar de arrefecimento para evitar temperaturas extremamente altas. Consumo de ar aprox. 0,5 NI/min.
Temperatura de armazenagem	Min. -20°C (-4°F).
Protecção	Equivalente a IP65, NEMA 4x
Material:	
Carcaça	Alumínio fundido pintado com epóxi/poliuretano.
Partes em contacto com o meio	Aço inox SS 2343 (standard), equivalente a AISI 316, DIN X5 Cr Ni Mo 18.22, B.S.316 S16/En 58J ou liga de níquel, Hastelloy C-276.
Selagem do eixo	Borracha de carboneto de flúor, universal para pH 1-12 (standard) ou borracha de silicone para meios de baixa temperatura, fraca agressividade química, ou borracha EPDM para pH > 10 particularmente para meios com alto teor de licor negro.

Parte electrónica

Sinal de saída - analógico	4-20 mA, galvanicamente isolado. Corrente limitada a 21 mA. Carga do laço de sinal: Tensão de alimentação/carga 24 V DC/máx. 1100 Ω . Carga mínima (nominal) para a comunicação com o terminal portátil 250 Ω .
Sinal de saída - digital	Sinal superimposto através do laço do sinal de saída de 4-20 mA de acordo com o protocolo standard Hart [®] e modem BELL 202. Segue os comandos universais Hart.
Elemento sensor bloqueado	Indicado pelo valor máx. do sinal de saída (20 mA).
Consumo de potência	Máx. 1400 mA incluindo o terminal portátil (aprox. 1000 mA excluindo).

Gamas de medida - analógicas	Quatro, programáveis individualmente, ligáveis externamente através de um interruptor de código binário. Também acessíveis através da cadeia de comunicações. 2 saídas de contacto opticamente isoladas.	Caixa de junção	Feita em policarbonato termoplástico com tampa transparente. Prato metálico no interior para protecção contra interferências. Visor e teclas para informação e operação.
Função de alarme - analógica	Sinal de saída no limite da gama de medida: < 4 mA : vai para 4 mA. > 20 mA : vai para 20 mA.	Tensão de alimentação	Fonte de alimentação incorporada ou regulada a 24 V DC a partir de alimentação exterior. Potência máx. de saída 40 VA, corrente constante máx. de 1800 mA à temperatura ambiente de 50 °C. Aprovada de acordo com UL, CSA, VDE.
Resposta	Constante de tempo sem amortecimento eléctrico - 2 s.	Classe de protecção	Caixa de junção: IP65, NEMA 4x, UL, CSA.
Amortecimento	Programável entre 2 e 99 s.	Acessórios	
Comunicações	Teclado e visor na caixa de junção. Usando o terminal portátil SPC-1000 de BTG ligado à caixa de junção. As comunicações são impostas através do laço de corrente de 4-20 mA. Directamente com o DCS. Ver Sinal de Saída - digital. Permite os comandos universais Hart. Preparado para a comunicação Fieldbus, por exemplo Profibus ou Fieldbus Foundation.	<p>Conjunto de montagem para soldagem incluindo: canhão soldável, mola de aperto, junta tórica, flange cega e perfil guia.</p> <p>Ferramentas especiais para manutenção.</p> <p>Terminal portátil SPC-1000.</p> <p>Amostrador, SLS-1000.</p> <p>Programa de documentação para PC.</p> <p>Impressora e papel de impressão.</p>	
Ligação	10 m de cabo com conector incluído no fornecimento, Outros comprimentos a pedido até ao máx. de 100 m. Este cabo é ligado ao encaixe do terminal na caixa de junção.		

Instalação típica

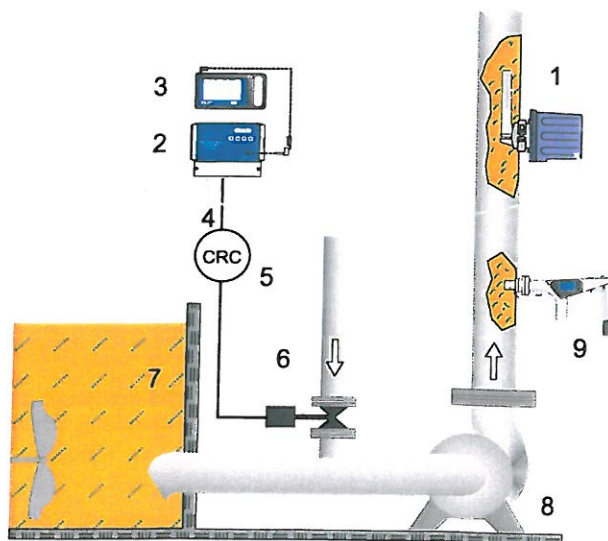


Fig 1 Laço típico de controlo da consistência

- 1 Transmissor de consistência MBT-2300
- 2 Caixa de junção JCT-1100
- 3 Terminal portátil SPC-1000
- 4 Sistema de 3 condutores para a saída analógica
- 5 Controlador/impressora (DSC)
- 6 Válvula da água de diluição
- 7 Suspensão fibrosa
- 8 Bomba de pasta
- 9 Válvula de amostragem de BTG tipo MPS-1000

Princípio de medida

MBT-2300 funciona de acordo com o princípio de medida da força de corte. A principal diferença entre este transmissor e o tradicional transmissor de palheta estática é que o elemento sensor (11) é activo e funciona com um movimento para cima e para baixo usando a sua própria força para cortar a suspensão fibrosa. Dado que toda a parte frontal do sensor está protegida por um deflector (10), esta técnica de medida é virtualmente insensível às variações de fluxo mantendo o máximo de sensibilidade à consistência.

O elemento sensor (11) está fixo num eixo (8) o qual roda em torno de um fulcro (9) onde está localizada uma selagem. Uma bobine e um interruptor de onda (4) estão também ligados ao eixo. Quando a bobine está no interior do imã permanente (5) cria-se uma força de momento quando a corrente é ligada à bobine. O eixo e o elemento sensor começam a mover-se na suspensão fibrosa. Depois do elemento sensor se ter movido entre A e B, a corrente é desligada por 2 segundos. Invertendo a polaridade da corrente, inverte-se o movimento sensor temporariamente e ele volta ao ponto A sendo depois a sequência repetida.

Um sensor óptico (3) está fixo no suporte (6). Quando o elemento sensor faz o seu movimento de A para B, a onda luminosa do sensor é interrompida pelo interruptor da onda (4) e o sinal do fotodetector é quebrado.

Dependendo da consistência da suspensão, o tempo do movimento entre A e B variará (quanto maior a consistência maior será o tempo do movimento). O tempo do movimento é medido pelo sensor óptico. O tempo durante o qual a onda é interrompida corresponde ao tempo do movimento.

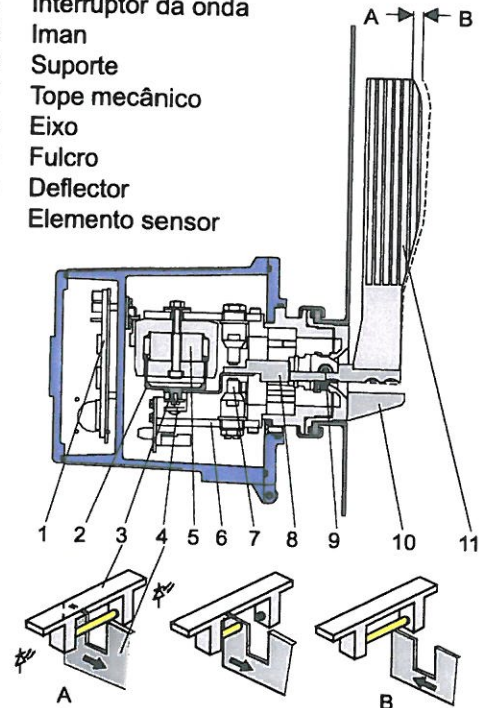
O sensor está sempre em movimento. Um certo número de movimentos constitui a base para um valor médio. Este número depende do factor de amortecimento seleccionado.

O valor do tempo médio é convertido electronicamente num sinal de saída de 4-20 mA. Este sinal de saída é calibrado e linearizado automaticamente com amostras de laboratório.

Os cálculos e as conversões são feitas no microprocessador da unidade. A placa de circuito está montada numa área separada e protegida do transmissor.

Fig 2 MBT-2300 - Princípio

- 1 Placa de circuito
- 2 Bobine
- 3 Sensor óptico
- 4 Interruptor da onda
- 5 Imã
- 6 Suporte
- 7 Tope mecânico
- 8 Eixo
- 9 Fulcro
- 10 Deflector
- 11 Elemento sensor



Dimensões e montagem

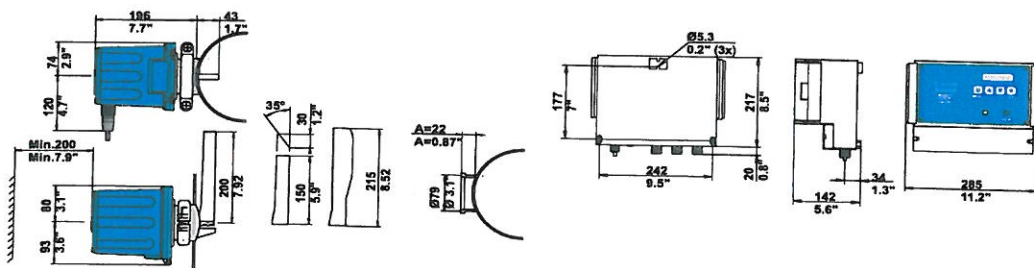


Fig 3 Dimensões e montagem

Hart® é uma marca registada da Hart Communication Foundation

A BTG reserva-se do direito de introduzir melhorias técnicas.

Argentina	Phone: +54-382-2771 Fax: +54-111 1497
Australia	Phone: +61-2-945 00 180 Fax: +61-2-945 00 190
Austria	Phone: +43-1-865 45 30 Fax: +43-1-865 36 03
Benelux	Phone: +31-76-581 2288 Fax: +31-76-571 4205
Brazil	Phone: +55-11-224 8655 Fax: +55-11-3224 0546
Canada	Phone: +1-514-894-8522 Fax: +1-514-894-4746
Chile	Phone: +56-2-232 1391 Fax: +56-2-231 5965
China	Phone: +86-10-6802 9508 Fax: +86-10-6802 9562
Denmark	Phone: +45-759-40 777 Fax: +45-759-42 266
Finland	Phone: +358-9-229 3010 Fax: +358-9-256 0980
France	Phone: +33-1-44 67 84 00 Fax: +33-1-44 67 84 15
Germany	Phone: +49-7243 550 30 Fax: +49-7243 53 03 19
India	Phone: +91-22-857 5089 Fax: +91-22-857 1913
Indonesia	Phone: +62-21 557 96613 Fax: +62-21 557 96618
Italy	Phone: +39-2-576 80 81 Fax: +39-2-576 04 524
Japan	Phone: +81-3-3255-8151 Fax: +81-3-3255-8155
Korea	Phone: +82-2-502-6060 Fax: +82-2-507-6060
New Zealand	Phone: +64 9 535 1200 Fax: +64 9 535 1199
Norway	Phone: +47-32-26 03 30 Fax: +47-32-26 03 20
Pakistan	Phone: +92-42-51 66 670 Fax: +92-42-51 64 372
Philippines	Phone: +63-2 899 37628 Fax: +63-2 899 3306
Portugal	Phone: +351-213 880 993 Fax: +351-213 880 993
Singapore	Phone: +65-377 4501 Fax: +65-377 4501
South Africa	Phone: +27-31 467 0483 Fax: +27-31 467 0483
Spain	Phone: +34-(93)-322 9361 Fax: +34-(93)-419 12 32
Sweden	Phone: +46-533 426 00 Fax: +46-533 125 00
Thailand	Phone: +66 2-510 4950 Fax: +66 2-948 86 80
Taiwan R.O.C	Phone: +886-4-3280295 Fax: +886-4-3236937
Turkey	Phone: +90-212-248 88 22 Fax: +90-212-232 27 92
UK	Phone: +44-208-5156050 Fax: +44-208-5156099
USA	Phone: +1-800-624-2326 Fax: +1-770-447-8440
Venezuela	Phone: +58-43-45 29 76 Fax: +58-43-45 74 44

www.btg.se

©BTG 2001

Anexo C – Proposta da empresa NALCO - RDF & MICROBIOLOGA

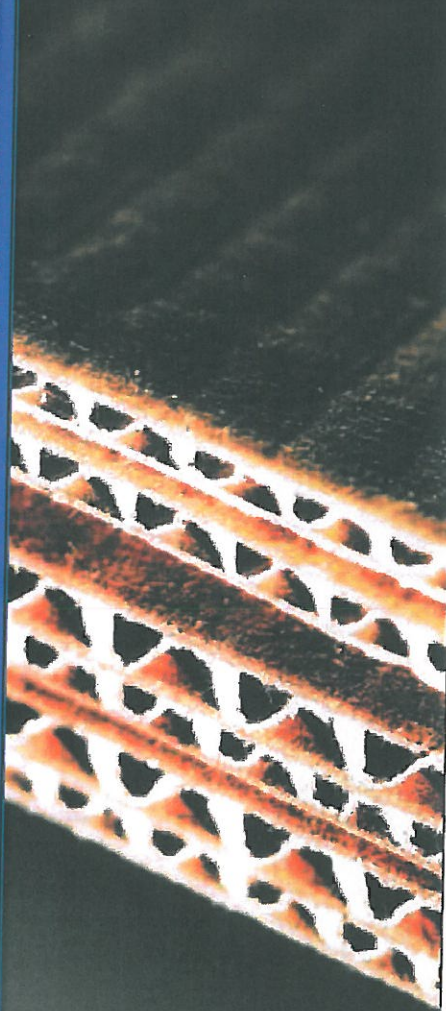
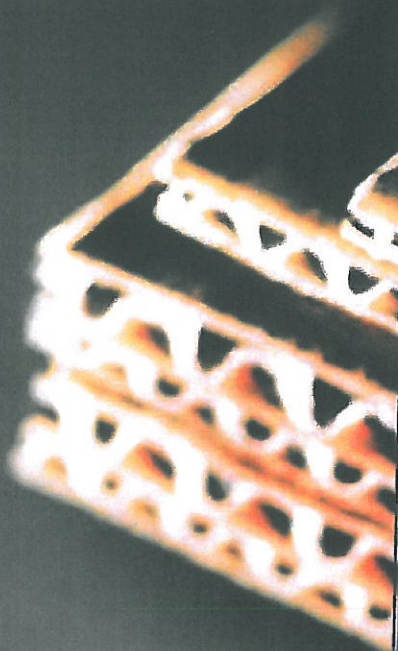


People you trust, delivering results.

PROPOSTA - RDF & MICROBIOLOGIA

PONTE REDONDA

Board and Packaging Grades



SITUAÇÃO ACTUAL

- Máquina: Fourdrinier
- Tipo Papel: Board
- Composição: 100% Papel Reciclado
- Produção: 38 t/dia
- Gramagem: 70 – 160 g/m²

Actual programa de Retenção

- As máquinas de Papel não têm qualquer sistema de Retenção
- Não Existe qualquer Tratamento Microbiológico

SITUAÇÃO ACTUAL

Programa de Máquina

- 80-60 Grs/m²
- Velocidade de Máquina 95 m/min

Informação Adicional

- Consistência Caixa Nível: 12,7 grs
- Consistência Caixa Chegada: 10 Grs
- Consistência das águas Coladas 2,6 Grs
- Temperatura: 28 - 30 °C
- Condutividade: 7 800 µS/cm
- pH: 5,9 - 6,2
- ORP: -120 - +2 mv

RDF

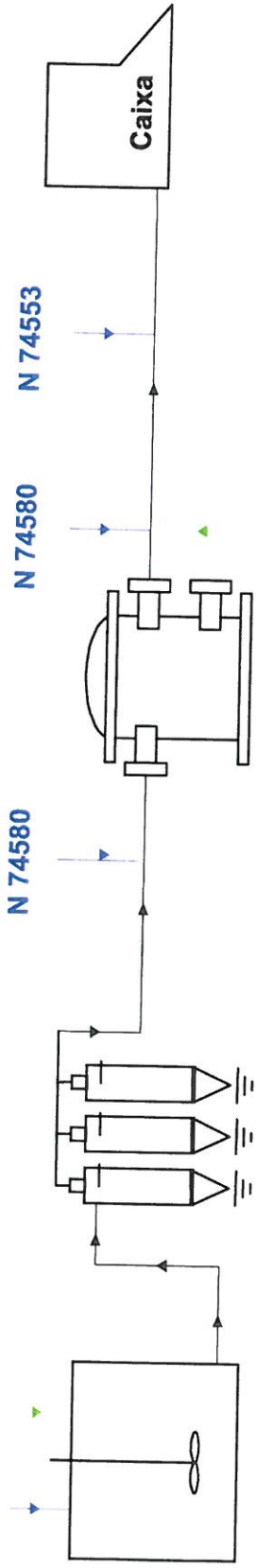
OBJECTIVO

O presente estudo tem como objectivo, desenhar um programa químico para optimização da parte húmida da máquina de papel, de forma a melhorar as qualidades finais do papel **Formação, CMT, tração, Rebentamento**, etc.:

- Aumento de drenagem na mesa de formação
- Redução da consistência nas caixas de chegada
- Melhorar formação
- Aumentar Características finais
- Redução do Consumo de Vapor
- Aumento de Velocidade de Máquina

Programa RDF

Programa Nalco Ponto de Dosagem

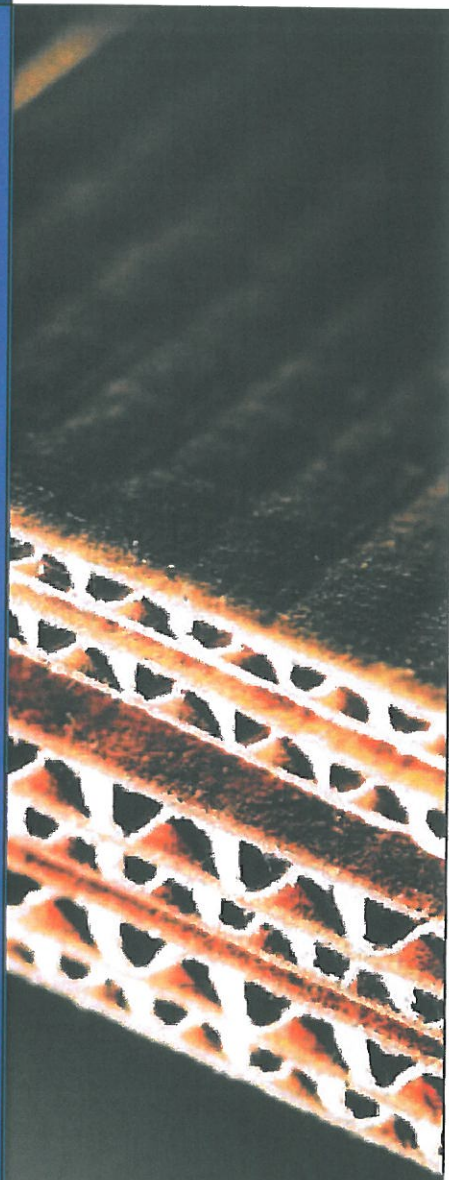
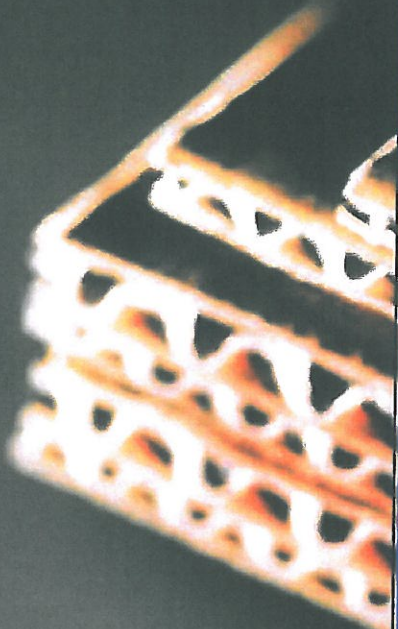




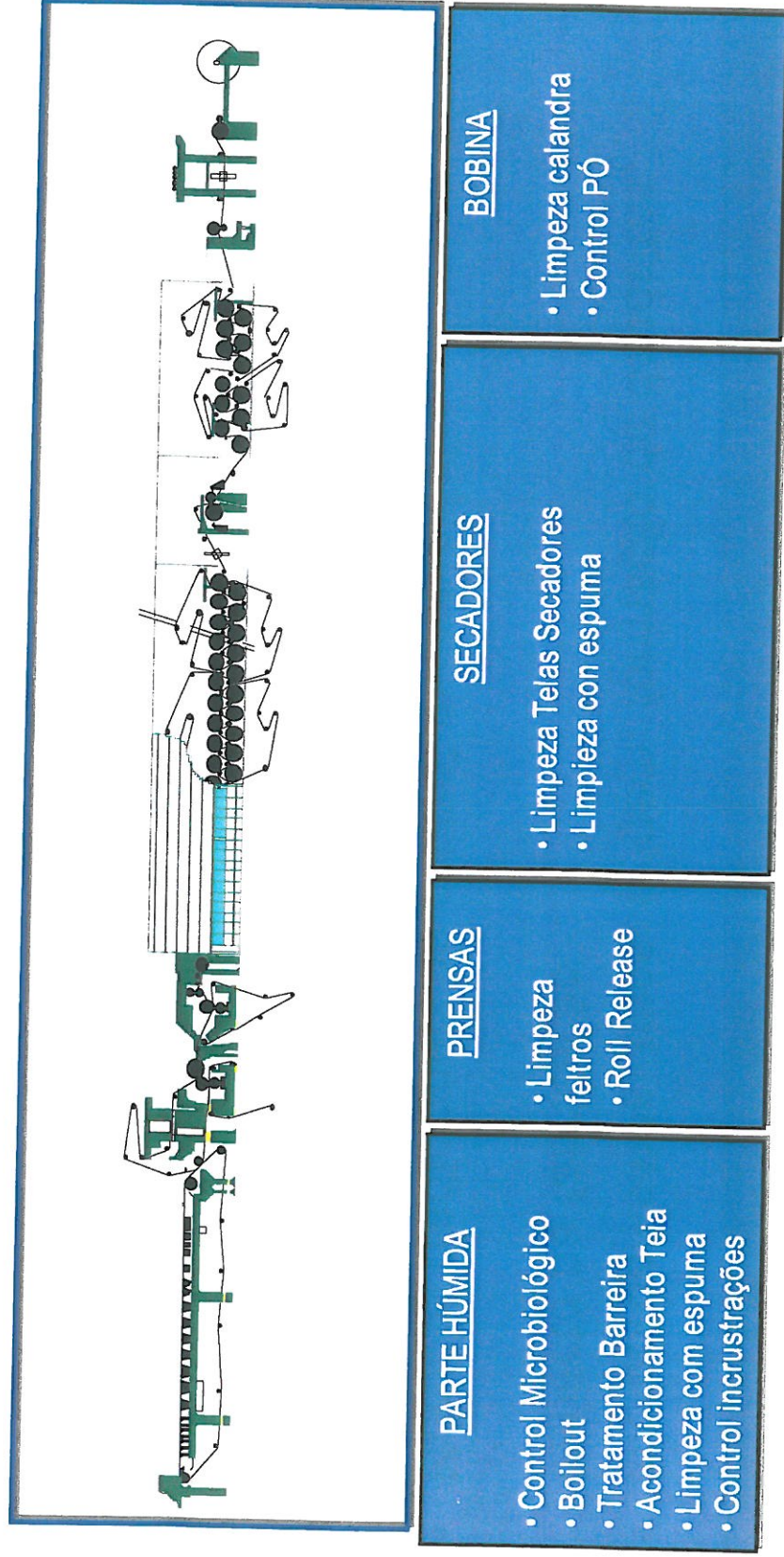
People you trust, delivering results.

Microbiologia

Board and Packaging Grades



Control de Depósitos



Conteúdo

- Microorganismos, tipos, origem, formação de depósitos, impacto na fabricação
- Métodos tradicionais de control microbiológico
- Optimização do control de depósitos.
- Limpezas periódicas.

ENFOQUE PARA O TRATAMENTO

PASO 1 CONTROL MICROBIOLÓGICO

PASO 2 Monitorização proactiva

PASO 2 Limpeza

HOUSE KEEPING

- Reduzir areas de estancamento no sistema
 - Gestão apropriada das pastas e desperdícios
 - Gestão apropriada de Caudais / renovação de circuitos
 - Designo apropriado de tinas e tanques (para evitar estratificação)
 - Instalação de agitadores
- Minimizar grandes volumes
- Programar limpezas (Boil-Out) Apropriados

SITUAÇÃO ACTUAL

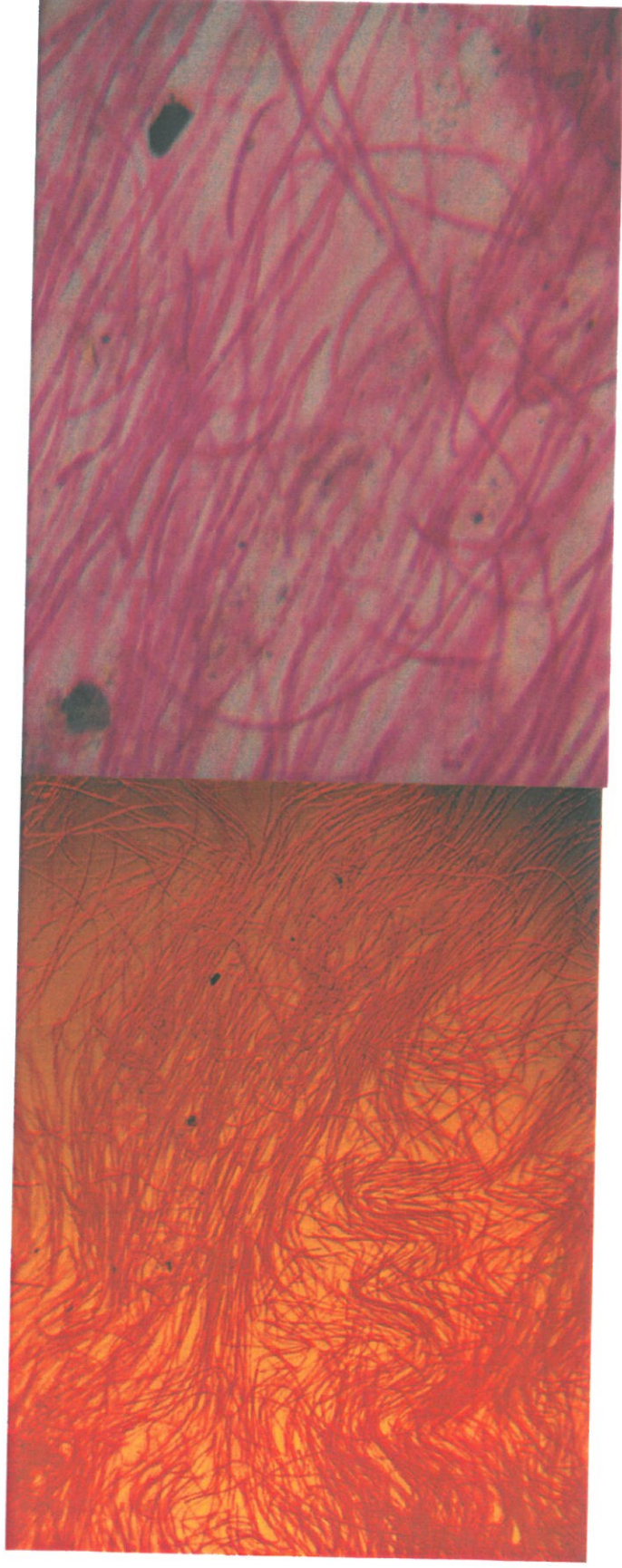
Amostra	pH	Condutividade	T°C	ORP
T. Pasta Esp.	6,0	8100	31	-55
T. Stock	6,0	8080	31	-15
Cx Nivel	6,1	7680	30	-3
Cx Chegada	6,1	7680	29	-44
AC	6,2	7800	30	-20
Água Canal	6,3	7500	27	2
Água Limpa	5,9	7960	28	-120
Água Pulper	6,2	3700	28	-40
Água Fresca	6,8	385	17	260

SITUAÇÃO ACTUAL

AMOSTRA	A. TOTAIS	FUNGOS	LEVEDURAS
T. Pasta Esp.	2x10 ⁸	3x10 ⁴	13x10 ²
T. Stock	2,6x10 ⁷	2x10 ⁴	9x10 ²
Cx Nivel	1x10 ⁸	6x10 ⁴	11x10 ²
Cx Chegada	3,4x10 ⁹	3x10 ⁴	13x10 ²
AC	3,3x10 ⁷	9x10 ⁴	15x10 ²
Água Canal	2x10 ⁸	1x10 ⁴	14x10 ²
Água Pulper	3,2x10 ⁷	4x10 ⁴	7x10 ²
Água Fresca	1x10 ² 10 ⁴	0	0

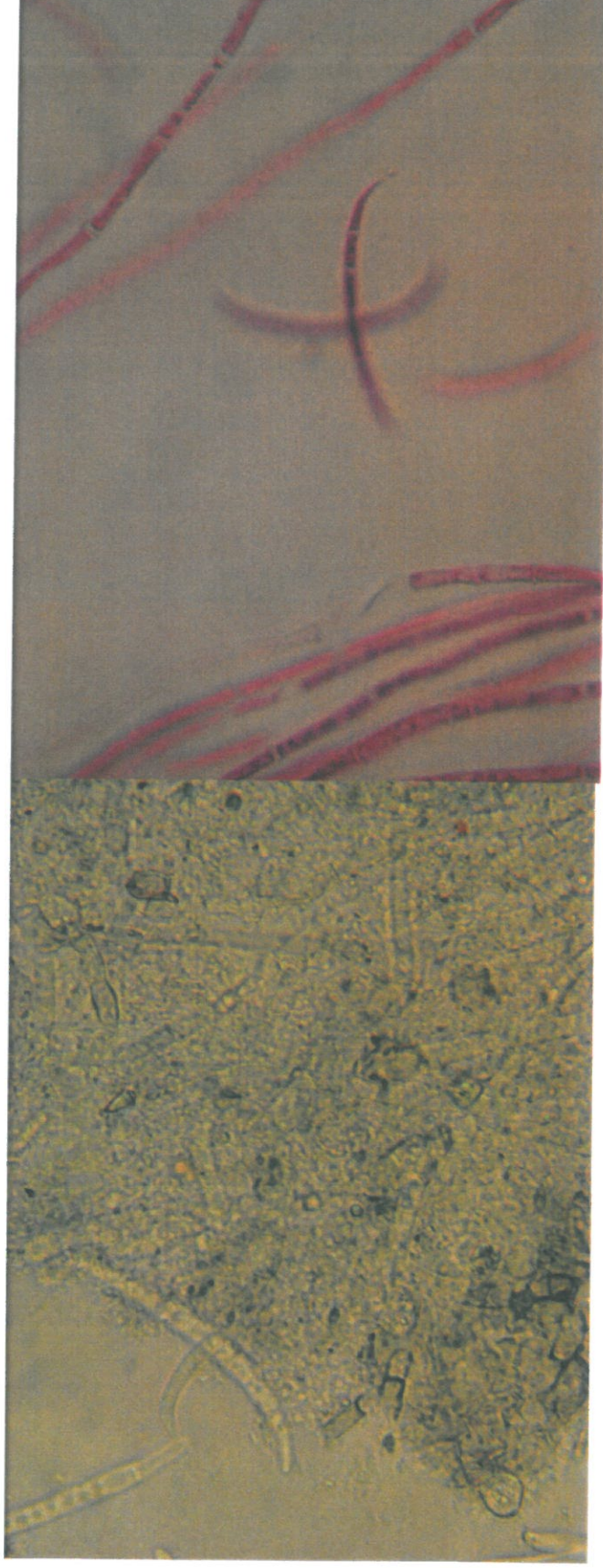
SITUAÇÃO ACTUAL

- Fotos de Slime de CX e Mesa de Formação



SITUAÇÃO ACTUAL

- Fotos de Slime de CX e Mesa de Formação



Anexo D – Resultados dos ensaios pré-medidas do papel tipo Fluting 110 g/cm²

Relatório Média

Máquina Nr. Máquina papel **ID Especificação** Tudo **Cliente / Fornec.** Ponte Redonda **Data** 20-05-2011 14:38:00
Enco. nr. / Bobine Fluting 1 **Gramagem** 110 g/m² **Referência** Fluting **Operador** Pedro

Nome Propriedade	Unidade	Média	d.p.	Min	Max	OK	Rej. Baixo	Rej. Alto
Gramagem papel	g/m ²	112	0.7	111	112	2		
Espessura Papel	mm	254	20.4	241	290	5		
Reb Papel (ISO 2758)	kPa	110	5.4	102	117	5		
CCT DT	kN/m	0.77	0	0.77	0.77	1		
CMT	N	87	11.9	65	106	10		

Anexo E – Resultados dos ensaios pós-medidas do papel tipo Fluting 110 g/cm²

Relatório Média

Maquina Nr. Máquina papel **ID Especificação** Tudo **Cliente / Fornec.** Ponte Redonda **Data** 13-10-2011 15:49:00
Enco. nr. / Bobine Fluting 2 **Gramagem** 110 g/m2 **Referência** Fluting **Operador** Pedro

Nome Propriedade	Unidade	Média	d.p.	Min	Max	OK	Rej. Baixo	Rej. Alto
Gramagem papel	g/m2	112	1.2	111	113	4	-	
Espessura Papel	mm	244	10.7	228	257	5		
Reb Papel (ISO 2758)	kPa	126	8.4	112	134	5		
CCT DT	kN/m	0.82	0	0.82	0.82	1		
CMT	N	134	12.6	111	157	10		

Anexo F – Resultados dos ensaios pré-medidas do papel tipo Test-Liner 80 g/cm²

Relatório Média

Máquina Nr. Máquina papel **ID Especificação** Tudo **Ciente / Fornec.** Ponte Redonda **Data** 20-05-2011 15:21:00
Enco. nr. / Bobine Test Liner 1 **Gramagem** 80 g/m2 **Referência** Test Liner **Operador** Pedro

Nome Propriedade	Unidade	Média	d.p.	Min	Max	OK	Rej. Baixo	Rej. Alto
Gramagem papel	g/m2	75	2.5	72	77	3	-	-
Espessura Papel	mm	162	5.4	156	168	5		
Reb Papel (ISO 2758)	kPa	164	16.8	132	195	10		
CCT DT	kN/m	0.66	0	0.66	0.66	1		
RCT DT	kN/m	0.26	0.029	0.23	0.3	5		
RCT DM	kN/m	0.42	0.044	0.36	0.48	5		
Cobb/60	g/m2	36	0	36	36	1		

Anexo G – Resultados dos ensaios pós-medidas do papel tipo Test-Liner 80 g/cm²

Relatório Média

Máquina Nr. Máquina papel **ID Especificação** Tudo **Cliente / Fornec.** Ponte Redonda **Data** 13-10-2011 15:03:00
Enco. nr. / Bobine Test Liner 2 **Gramagem** 80 g/m2 **Referência** Test Liner **Operador** Pedro

Nome Propriedade	Unidade	Média	d.p.	Min	Max	OK	Rej. Baixo	Rej. Alto
Gramagem papel	g/m2	79	1.2	78	80	3	-	-
Espessura Papel	mm	164	9.1	150	175	5	-	-
Reb Papel (ISO 2758)	kPa	176	10.1	164	200	10	-	-
CCT DT	kN/m	0.8	0	0.8	0.8	1	-	-
RCT DT	kN/m	0.41	0.03	0.37	0.45	5	-	-
RCT DM	kN/m	0.56	0.047	0.49	0.61	5	-	-
Cobb/60	g/m2	33	0	33	33	1	-	-

