



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Joel André Costa Nunes

Estudo dos rendimentos de formas e de recuperadores na Prado Karton

Relatório de Estágio

Orientado por:

Manuel Alberto Rosa - Instituto Politécnico de Tomar

Relatório de estágio apresentado ao Instituto Politécnico de Tomar
para cumprimento dos requisitos necessários
à obtenção do grau de Mestre
em Tecnologia Química

Resumo

O presente relatório diz respeito ao estágio curricular do Mestrado em Tecnologia Química. O estágio foi realizado na empresa Prado Karton - Companhia de Cartão S.A. localizada em Tomar, decorreu entre os meses Fevereiro e Junho do ano 2017, com o Engenheiro Rui Correia como coordenador no local de estágio e o Doutor Manuel Rosa como orientador no Instituto Politécnico de Tomar.

O estágio realizado teve como objectivo a observação e descrição do processo de fabrico de cartão multiplex na fábrica Prado Karton, o cálculo dos rendimentos respeitantes às formas redondas e o cálculo respeitante aos rendimentos dos recuperadores de fibra do processo.

Para a execução destes objectivos procedeu-se ao uso dos laboratórios da empresa, retirando amostras no local de vários tipos de massas diferentes e em diferentes períodos de tempo, para obtenção dos resultados pretendidos.

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que as formas redondas e os recuperadores de fibra que se encontram na fábrica Prado Karton estão a funcionar como já era esperado, e que os resultados obtidos estavam dentro do previsto.

Palavras-chave: Prado Karton, Formas redondas, Recuperadores de Fibras, Rendimentos, Fabrico de Cartão

Abstract

This report concerns the curriculum internship of the Master's Degree in Chemical Technology. The internship was held at Prado Karton - Companhia de Cartão SA located in Tomar, between February and June of 2017, with Engineer Rui Correia as the on-site coordinator and Doctor Manuel Rosa as supervisor at the Polytechnic Institute of Tomar.

The purpose of the internship was to observe and describe the process of manufacturing multiplex carton at the Prado Karton plant, calculating the respective productivities for the formers and calculating the productivities of the fiber recuperators.

In order to carry out these objectives, the on-site laboratories were used, taking samples of various types of different masses at different locations and different periods of time, in order to obtain the desired results.

From the results obtained it can be concluded that the formers and the fiber recuperators that are in the factory Prado Karton are working as already expected, and that the obtained results were within the predicted outcomes.

Keywords: Prado Karton, Cylinder machine, Fiber Recuperators, Productivity, Cardboard Making

Agradecimentos

Para começar gostaria de agradecer ao meu orientador e professor Manuel Alberto Rosa, pela ajuda e pelo tempo que dispôs para me orientar este trabalho.

Seguidamente gostaria de agradecer ao Engenheiro Rui Correia que foi orientador na Prado Karton e que me ajudou a entender o necessário sobre o funcionamento dos aparelhos de modo a ser possível a realização do trabalho.

Gostaria também de agradecer a todos os funcionários na fábrica que me ajudaram muito a entender o funcionamento desta, de modo a que eu conseguisse usar o material necessário para completar deste trabalho.

Finalmente gostaria de agradecer aos meus amigos e família por nunca terem desistido de mim e me terem apoiado incondicionalmente mesmo nos tempos mais difíceis.

Índice

1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. A Empresa (Prado Karton, 2017)	1
1.3. Processo tecnológico de produção de cartão	3
1.3.1. Tipos de Formas redondas.....	3
1.3.2. Outros tipos de equipamentos de formação	5
1.3.3. Refinação.....	9
1.3.4. Formação.....	11
1.4. Operações no processo de fabrico da Prado Karton	12
1.4.1. Zona de desintegração	12
1.4.2. Zona de Refinação.....	14
2. Parte experimental	18
2.1. Metodologia experimental.....	18
2.1.1. Determinação das concentrações de pasta	18
2.1.2. Testes laboratoriais de garantia da qualidade do produto final.....	19
2.1.3. Determinação da gramagem do cartão	19
2.1.4. Determinação da espessura	20
2.1.5. Determinação da humidade	21
2.1.6. Determinação da rigidez Taber	21
2.1.7. Teste do destacamento entre camadas.....	22
2.1.8. Determinação da rugosidade Bendsen	22
2.1.9. Teste Cobb de determinação da absorção de água.....	23
2.1.10. Determinação dos rendimentos das formas redondas	24
2.1.11. Determinação dos rendimentos dos recuperadores de fibra.....	25
3. Resultados e Discussão	27
3.1. Rendimentos das formas redondas	27
3.2. Rendimentos dos recuperadores de fibra.....	35
4. Conclusões e considerações finais	39
5. Bibliografia	40

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Média, desvio padrão e Coeficiente de variação, referentes aos dados adquiridos das formas.	28
Tabela 2 - Média, desvio padrão e Coeficiente de variação, referentes ao cálculo do rendimento das formas para o interior.....	29
Tabela 3 - Média, desvio padrão e Coeficiente de variação, referentes ao cálculo do rendimento das formas para o interior, sem os resultados da 6ª e 10ª análise.....	29
Tabela 4 – Média, desvio padrão e Coeficiente de variação, referentes ao cálculo do rendimento das formas para a cobertura.	30
Tabela 5 - Média, desvio padrão e Coeficiente de variação, referentes ao cálculo do rendimento das formas para o verso.....	31
Tabela 6 - Média, desvio padrão e Coeficiente de variação, referentes ao cálculo do rendimento das formas para o verso, sem os resultados da 1ª,2ª e 6ª análise.	32
Tabela 7 - Média, Desvio padrão e coeficiente de variação, dos resultados dos recuperadores de fibras em relação ao “Sokraft”.	35
Tabela 8 – Média, desvio padrão e coeficiente de variação, dos resultados dos recuperadores de fibras em relação ao “lusoplex”	36
Tabela 9 - Resultados dos recuperadores de fibras em relação ao “Lusoprint” e ao “Pack Plus”.	37

Índice de Figuras

Figura 1 – Esquema de uma máquina de produção de cartão do tipo “Stevens Former with vacuum” (Casey, 1980).....	4
Figura 2 - Esquema de uma máquina de produção de cartão do tipo “Multi Former”. (Casey, 1980)	5
Figura 3 - Esquema de uma máquina de produção de cartão do tipo “Inverform”.....	6
Figura 4 - Esquema de uma máquina de produção de cartão do tipo “Bel Bond Former”...	7
Figura 5 - Esquema de uma máquina de produção de cartão do tipo “Ultra Former”.	8
Figura 6 - Esquema de uma máquina de produção de cartão do tipo “Top Former”.....	8
Figura 7 – Massa não refinada à esquerda, e à direita o mesmo tipo de massa mas refinada (J.Biermann, 1996).....	10
Figura 8 – Refinador cónico.....	11
Figura 9 – Refinador de discos.....	11
Figura 10 - Diagrama de blocos da zona de desintegração em correspondência às massas necessárias (interior, cobertura e Verso)	14
Figura 11 - Esquema de schopper-riegler(Dienes, Kemény, Egyházi, & Réczey, 2005) ...	15
Figura 12 – Esquema de um depurador hidrociclónico (Separador ciclónico, 2018)	16

1. Introdução

1.1. Enquadramento

O presente relatório diz respeito ao estágio curricular do Mestrado em Tecnologia Química o estágio foi realizado na empresa Prado Karton - Companhia de Cartão S.A. localizada em Tomar, decorreu entre os meses Fevereiro e junho do ano 2017, com o Engenheiro Rui Correia como coordenador no local de estágio e o Doutor Manuel Rosa como orientador no Instituto Politécnico de Tomar.

O estágio teve como principais objectivos:

- i) Observação e descrição do processo de fabrico do papel.
- ii) Cálculo do rendimento das máquinas de formas redondas, respectivamente ao verso, ao interior e à cobertura do cartão.
- iii) Cálculo dos rendimentos dos recuperadores de fibra do processo.

O presente relatório, pretende descrever as atividades de estágio realizadas nos meses referidos, e os dados obtidos destas.

1.2. A Empresa (Prado Karton, 2017)

A Prado Karton é uma empresa que se dedica ao fabrico de cartões planos de embalagem e similares, designados por cartões multiplex. Localiza-se na margem direita do rio Nabão, na união de freguesias da Pedreira e de Além da Ribeira, no concelho de Tomar.

A origem da fábrica remonta aos primórdios da industrialização do país. A 2 de Junho de 1772, por alvará do Marquês de Pombal, no reinado de D. José I, deu-se início à fabricação de papel, no lugar do Prado (arredores de Tomar). Foi o começo de uma realidade empresarial, de que resultaria, em 1875, a “Companhia do Papel do Prado”, pela junção da

Fábrica de Tomar com a Fábrica do Penedo, criada na Lousã em 1716, sob o reinado de D. João V. Destacam-se até aos tempos atuais os seguintes marcos históricos da Empresa.

- i) Em 1940 é iniciada a fabricação de diferentes tipos de papéis, tais como o papel selado, papel de lotaria, marcas de água, etc. Utilização de matérias-primas recicladas de origem vegetal (sacos de cimento, trapo, algodão, linho, cordas). Auto-suficiência energética (motor Diesel);
- ii) Entre 1950 e 1960 a empresa passou a operar 4 máquinas de papel: 2 planas e 2 redondas e a empresa tornou-se pioneira na formação profissional e no recrutamento de técnicos noutras fábricas papeleiras;
- iii) Em 1977 deu-se a especialização estratégica e a instalação da linha de produção de Cartão Multiplex, com uma máquina "Bruderhaus" (Alemanha) entretanto adquirida;
- iv) Em 1983 o capital é transferido ao Grupo Portucel;
- v) Entre 1990 e 1998 atingem-se as 100 toneladas de capacidade produtiva diária (líquida) e ocorre a modernização do sistema de corte: (2 cortadeiras automáticas); linha de Plastificação automática (paletes e bobines); modernização do equipamento de medição do Laboratório e controle das características físico-mecânicas dos cartões.
- vi) Entre 2000 e 2002 ocorrem grandes investimentos destinados a melhorar a qualidade e aumentar a eficiência produtiva, sendo os mais importantes nas áreas:
 - Formadores;
 - Secaria;
 - Revestimento;
 - Capacidade produtiva, aumentada até 40.000 t/ano (120 t/dia).
- vii) Em 2017 pouco tempo após a conclusão do presente estágio a administração da Prado Karton decidiu avançar com o pedido de insolvência da sociedade, depois de não ter sido possível apresentar um plano de recuperação que garantisse a sua viabilidade (Notícias, 2017).

1.3. Processo tecnológico de produção de cartão

1.3.1. Tipos de Formas redondas

O primeiro modelo de forma redonda que teve sucesso industrial foi o “Stevens Former”. O princípio básico é a formação rápida porque a suspensão fibrosa é disparada sobre a tela de formação (forma redonda) (Casey, 1980). Este tipo de formas, ao contrário das tradicionais, não está mergulhado na suspensão fibrosa aproveitando apenas uma depressão criada por perda barométrica no interior da forma redonda para aspirar a suspensão e depositá-la sobre a tela de formação da forma. Este tipo de forma possui uma caixa de chegada hidráulica especialmente equipada com um distribuidor e rolos rectificadores que injecta a suspensão fibrosa numa percentagem de consistência que varia entre 0,15 e os 0,8% através de um lábio colocado na proximidade da tela de formação da forma redonda, o interior da forma também possui uma zona no local onde a suspensão fibrosa é depositada sobre a forma, que é sujeita a uma leve depressão para melhorar a formação da base da folha. A velocidade de fabrico pode ser bastante mais alta do que no caso das formas tradicionais, basicamente é igual à velocidade do disparo da suspensão fibrosa através do lábio da caixa de chegada e que pode ser regulada através da variação do caudal. A regulação de velocidade da suspensão fibrosa pode ainda ter como objectivo melhorar a distribuição das fibras no sentido de M.D. (sentido de máquina) e no C.D. (sentido transversal) de forma a melhorar as propriedades mecânicas da folha relativamente às formas tradicionais. Em geral neste tipo de formas, ocorre perto de 25% da drenagem total no ponto em que a suspensão fibrosa toca a tela de formação e a consistência da suspensão fibrosa à saída do lábio oscila entre 0,6% e 1% podendo a velocidade da máquina chegar aos 365m/min.

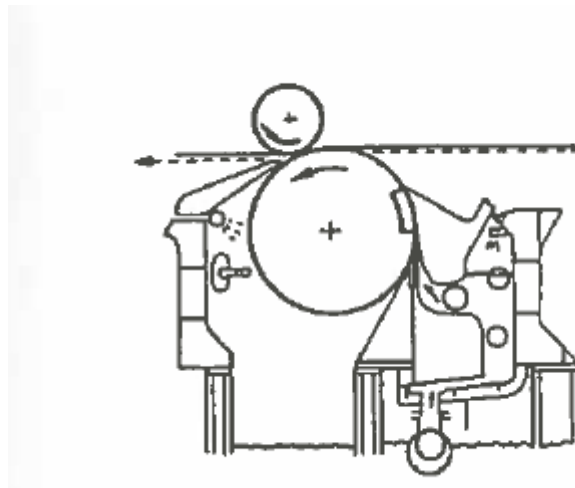


FIGURA 1 – ESQUEMA DE UMA MÁQUINA DE PRODUÇÃO DE CARTÃO DO TIPO “STEVENS FORMER WITH VACUUM” (CASEY, 1980)

O “Rotoformer” pertence à mesma família de formas redondas do “Stevens former”, sendo também um design com caixa de chegada hidráulica e sucção/aspiração com vácuo aplicada sob a tela de formação da forma redonda. Neste caso, o cilindro da forma redonda tem três zonas de vácuo crescente para uma drenagem mais eficiente. O sistema “Multi-former” também usa uma caixa de chegada hidráulica e várias caixas de vácuo são usadas para providenciar uma drenagem rápida da folha. Ainda da mesma família de sistemas de formas redondas otimizadas com caixas de chegada hidráulicas e drenagem com vácuo, é a Beloit hydraulic former (Casey, 1980).

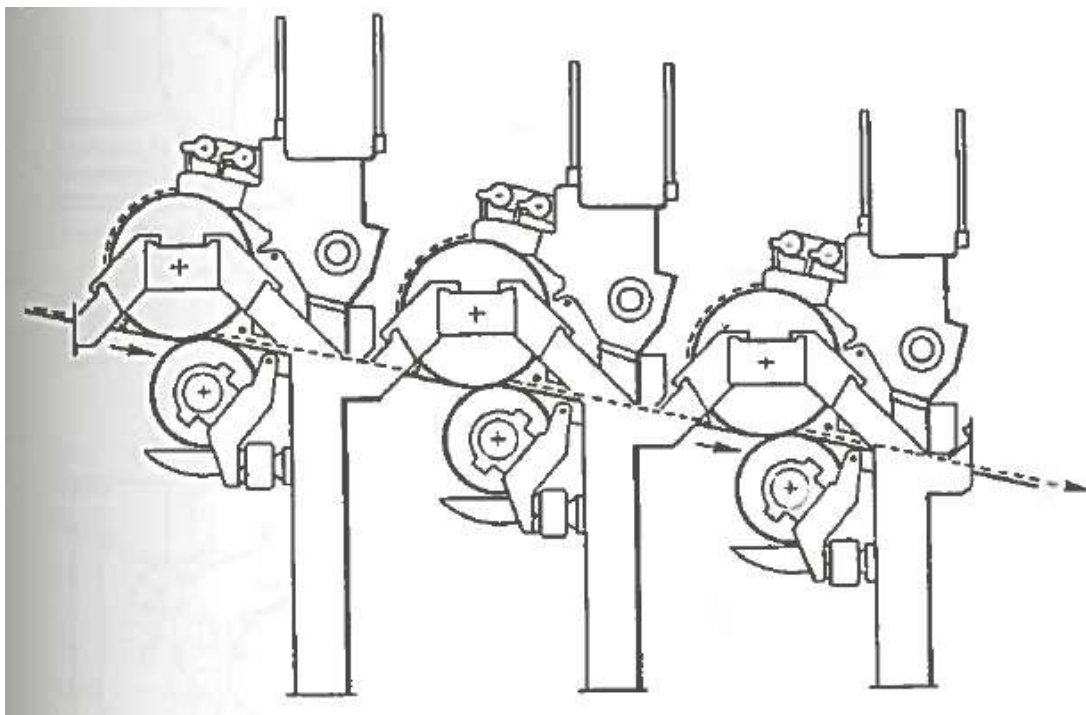


FIGURA 2 - ESQUEMA DE UMA MÁQUINA DE PRODUÇÃO DE CARTÃO DO TIPO “MULTI FORMER”. (CASEY, 1980)

1.3.2. Outros tipos de equipamentos de formação

Outro tipo de máquinas de produção de cartão multiplex é o “Inverform”, desenvolvido e patenteado em Inglaterra este não é usado comercialmente. Este design usa duas telas de formação horizontais para formar a folha, sendo a água maioritariamente removida através da tela superior enquanto a folha é comprimida entre ambas. A água é removida da tela superior através de uma raspadeira. Na zona inferior a tela é longa e contínua, enquanto que a zona superior encontra-se dividida em várias telas, uma para cada secção (Casey, 1980). A pasta entra na caixa de chegada de cada secção a 1% de consistência e sai com 12% de consistência. A vantagem principal deste tipo de formação é a sua velocidade, que pode chegar até aos 215 m/mim. Sendo outras vantagens a variação do tipo de pasta que permite a utilização de diferentes tipos de pasta (crua, branqueada ou reciclada) em diferentes secções. Outras vantagens são maior uniformidade, maior gramagem e maior lisura das faces do produto final. Na zona final de formação do “Inverform” existe uma prensa de sapata com caixa de vácuo que acentua a curva de desidratação. Comparando este tipo de formação com outros, trata-se de equipamentos mais complexos que requerem

manutenção considerável e ainda de uma alimentação com pastas com graus de limpeza superiores. A operação e condução deste tipo de equipamento é geralmente mais difícil. O “Inverform” era essencialmente uma formação constituída tipicamente por 5 telas de formação superiores assentes sobre uma única grande tela de formação inferior.

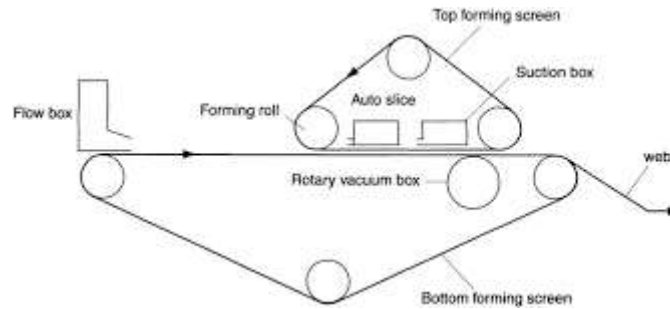


FIGURA 3 - ESQUEMA DE UMA MÁQUINA DE PRODUÇÃO DE CARTÃO DO TIPO “INVERFORM”.

O “Bel Bond Former” aproxima-se do “Inverform” de um modo muito mais simples, este tipo de formador é consistido por uma tela superior muito curta com uma caixa de vácuo que pressiona a tela superior contra a inferior num percurso em curvatura em que é simultaneamente prensado num nip estendido conhecido como sapata. Neste tipo de formador foi possível atingir sucesso comercial com um valor de gramagem normal de 80 a 90 g/m². Perto de 75% da drenagem é executada pela tela superior para o interior da caixa de vácuo da pensa em sapata. Este tipo de formador oferece uma versatilidade considerável devido ao seu design compacto (Casey, 1980).

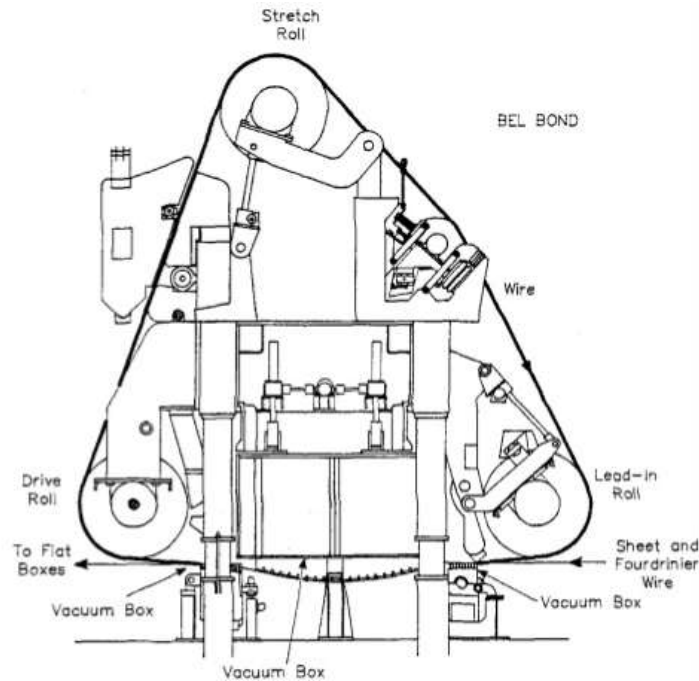


FIGURA 4 - ESQUEMA DE UMA MÁQUINA DE PRODUÇÃO DE CARTÃO DO TIPO “BEL BOND FORMER”.

O “Ultra Former” foi o primeiro design a colocar as fibras diretamente num feltro. A pasta é lançada de uma caixa de chegada para um *nip* formado pela junção entre a tela de formação e um feltro que suporta as camadas formadas anteriormente. No “Super Ultra Former” utiliza-se uma mesa plana Fourdrinier de curtas dimensões com caixas de vácuo com o objetivo de reduzir a humidade da teia para evitar esmagamento da folha a altas velocidades da máquina, quando a teia entra no *nip* que é formado com o feltro e o cilindro da prensa. Velocidades de 490 m/min podem ser atingidas, e testes com uma versão onde se usa dupla tela de formação, executados em laboratórios chegaram aos 700 m/min (Casey, 1980).

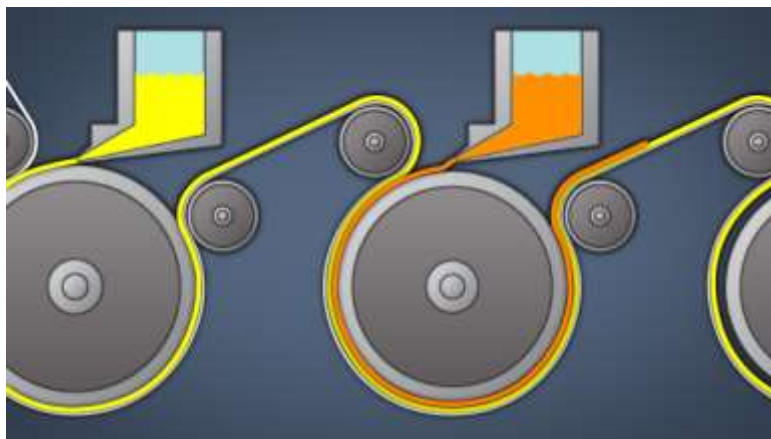


FIGURA 5 - ESQUEMA DE UMA MÁQUINA DE PRODUÇÃO DE CARTÃO DO TIPO “ULTRA FORMER”.

Parte dos tipos de formação acima abordados, podem ser utilizados com o uma mesa plana Fourdrinier tradicional. Pode ser usada uma formação equipada com caixas de chegada de alta performance e uma mesa plana com uma elevada capacidade de extracção de água à folha. Outro desenho seria o uso de um formador de mesa plana Fourdrinier com um formador “on-top” ou seja um “top former”, que não é mais do que outro formador sobre a mesa plana Fourdrinier. Normalmente o Fourdrinier convencional deposita a camada inferior e posteriormente, novas camadas superiores são adicionadas por formadores “on-top” até ao número máximo de camadas constituintes do cartão multiplex que neste processo podem ser quatro. Para cartões multiplex com mais de quatro camadas, é necessária outra mesa plana Fourdrinier que possibilitará o aumento de camadas até oito (Casey, 1980).

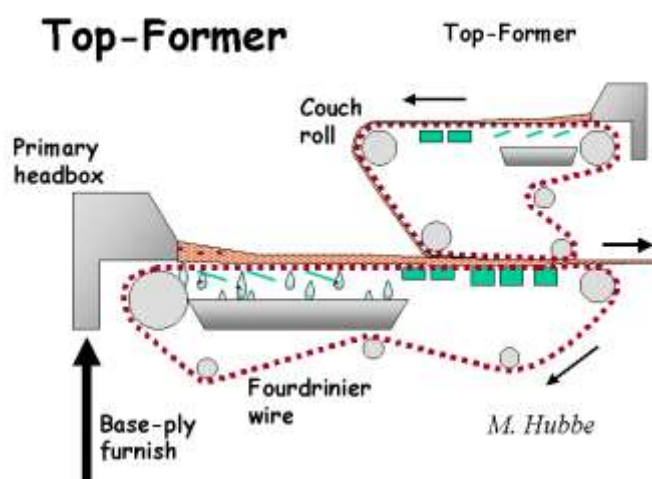


FIGURA 6 - ESQUEMA DE UMA MÁQUINA DE PRODUÇÃO DE CARTÃO DO TIPO “TOP FORMER”.

1.3.3. Refinação

A refinação de uma pasta é um tratamento mecânico das fibras com o objectivo de se otimizar as propriedades físicas e mecânicas do produto final.

A refinação das fibras antes do início da formação do papel é muito importante, pois aumenta a força de ligação entre fibras através do processo de fibrilação. A refinação aumenta a área da superficial das fibras, e faz com que as fibras sejam mais flexíveis para se acomodarem entre elas, provocando o aumento da área de superfície de ligação, o que por sua vez leva à formação de uma folha mais densa. Durante a refinação, as fibras individuais também são enfraquecidas e o seu tamanho é reduzido através de corte. Para fibras muito longas, este corte melhora a formação da folha na máquina, mas na maioria dos casos é um efeito indesejado da operação de refinação. Consequentemente a refinação é um balanço entre a melhoria das ligações entre fibras e a diminuição da capacidade de ligação das fibras individuais devido à diminuição do tamanho.

A maioria das propriedades que estão relacionadas com as forças presentes nas folhas de papel ou cartão, aumentam com a refinação da pasta pois estas dependem das ligações entre fibras. Uma excepção é a resistência ao rasgamento que depende largamente da força de fibras individuais, por outras palavras, esta resistência diminui com o processo de refinação. A partir de um certo grau de refinação, o factor limitante das forças envolvidas, não são as ligações entre fibras, mas a força de cada fibra individual. A refinação posterior a este grau de refinação passa a ter como consequência a diminuição de outras propriedades diferentes da resistência ao rasgamento. A refinação normalmente aumenta a flexibilidade da folha e a sua densidade.

Uma das consequências da refinação é a introdução de água no interior das paredes das fibras, aumentando assim a flexibilidade das mesmas. Isto acontece devido à quebra das ligações internas de hidrogénio que se encontram presentes nas células, sendo que esta quebra causada pela adição e interferência das moléculas de água.

A terceira acção causada pela refinação é a delaminação da parede da célula o que aumenta a flexibilidade da fibra.

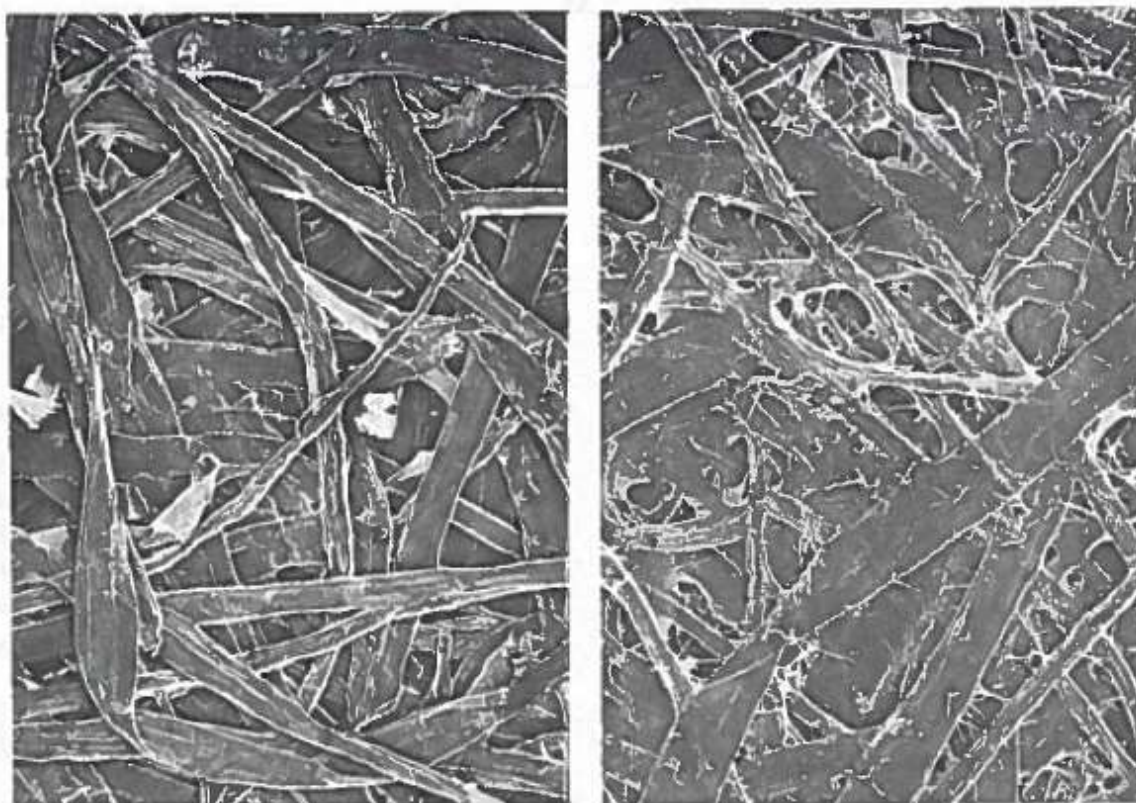


FIGURA 7 – MASSA NÃO REFINADA À ESQUERDA, E À DIREITA O MESMO TIPO DE MASSA MAS REFINADA (J.BIERMANN, 1996)

Para realizar o processo de refinação é necessário um equipamento chamado refinador. Este equipamento amolecem e cortam as fibras presentes na pasta antes de estas serem transformadas em folhas de cartão ou papel. Existem dois tipos de refinadores: de disco e cónicos. Os refinadores de disco substituíram os refinadores cónicos, pois os refinadores de disco oferecem mais vantagens em comparação aos refinadores de cónicos. O modo de operação de ambos os refinadores é similar, com a exceção da geometria dos refinadores (J.Biermann, 1996).

Os refinadores cónicos são os refinadores mais antigos presentes na fábrica, funcionam por aplicação da força mecânica causada pela compressão de uma peça cónica rotativa (rotor) a altas velocidades contra uma peça cónica imóvel (estator), conseguindo que as e distancias entre elas sejam mínimas de modo a que todas as fibras sejam esmagadas e rasgadas pelo quando passam entre o estator e o rotor, levando à rutura parcial da estrutura das fibras individuais e à fibrilação que é facilitadora da entrada de água na parede da célula, diminuindo assim a sua rigidez das fibras e tornando-as esta mais maleáveis e flexíveis. De

uma forma mais simples a refinação, tem como objectivo o corte, a fibrilação e a hidratação. Estes três objectivos, quando completados, aumentam o número de ligações possíveis entre fibras, fazendo assim que o produto final seja mais resistente. (J.Biermann, 1996).



FIGURA 8 – REFINADOR CÓNICO

Os refinadores de discos funcionam com os mesmos objectivos mas em vez de terem forma cónica, são constituídos por um disco central fixo ladeado por mais quatro discos, dispendo-se de cada lado do disco central um par constituído por um disco um fixo (estator) e outro rotativo (rotor).



FIGURA 9 – REFINADOR DE DISCOS

1.3.4. Formação

Devido ao processo de fabrico de cartão ser constituído normalmente, por a aplicação de várias camadas para a produção de uma única folha de cartão, estas camadas não

necessitam todas da mesma qualidade das fibras para que a folha final se adeque ao fim requerido. As camadas que são utilizadas como enchimento (camadas interiores) não são visíveis através das camadas exteriores. No caso das camadas interiores conterem defeitos, eles não são visíveis mas pode ser necessária calandragem adicional. O aumento do número de camadas geralmente melhora a formação. Para a folha se formar corretamente, é necessário que todas as camadas se liguem entre si. As condições durante a formação da folha e depois da prensagem, podem afectar drasticamente esta ligação entre as camadas. Para garantir que uma boa ligação entre camadas é necessário que exista um fluxo de água alto durante a formação e a consistência normal das camadas no momento da ligação deve ser entre os 8% e os 15%, sendo que a camada superior deve estar entre 8% e 12%, enquanto que a camada inferior deve estar ligeiramente mais húmida de 12% até 15%. A distribuição uniforme dos finos deve ser uniforme.

As ligações entre camadas fabricadas com os equipamentos mais modernos que usam mesas planas Fourdrinier têm sido referidas como sendo mais fracas, do que as que resultam da formação em forma redonda convencional. Acredita-se que isto é geralmente causado porque nos processos modernos existe maior perda de finos e pelo facto de as camadas serem formadas a consistências mais elevadas. Um método para evitar que as ligações sejam mais fracas consiste na adição de ajudas de retenção para aumentar o teor de finos na folha. Um amido catiónico pulverizado entre as camadas pode causar até 25% de aumento nas ligações entre camadas. A melhor consistência depende primariamente do tipo de equipamento que é utilizado (Casey, 1980).

1.4. Operações no processo de fabrico da Prado Karton

1.4.1. Zona de desintegração

Todos os processos de fabrico de papel e cartão têm obrigatoriamente que possuir uma zona de desintegração, onde se encontram os materiais e equipamentos necessários para a realização dessa operação.

Na zona de desintegração são temporariamente armazenados os produtos necessários à produção. No caso da fábrica do Prado existem três linhas de desintegração:

- i) Uma linha de preparação de pasta de papel com o objetivo de desintegrar papel de vários tipos e com a adição de pasta mecânica. Esta linha trabalha em contínuo fornecendo constantemente o processo e a pasta desintegrada serve para formar as camadas interiores do cartão.
- ii) Uma linha de preparação de pasta de papel a partir de fibras virgens e de aparas de papel branco. O material desintegrado nesta linha serve para fabricar a cobertura branca do cartão e alimenta o processo aproximadamente a cada 20 minutos.
- iii) Uma linha de preparação de pasta de papel que serve para formar o verso do cartão e uma mistura de jornais e desperdício fabril do próprio processo. Esta linha também alimenta o processo aproximadamente a cada 20 minutos.

Estas linhas conduzem os fardos de pasta a pulpers onde se adicionam os componentes da mistura, sendo estes, diferentes tipos de pastas, água, e papel de jornais, revistas, cartões e desperdício fabril da produção. Os papéis, cartões e desperdícios são usados apenas para as camadas interiores. Os componentes da mistura são desagregados e homogeneizados por agitação mecânica, obtendo-se massas diferentes para cada um dos destinos finais da pasta: cobertura, verso e interior.

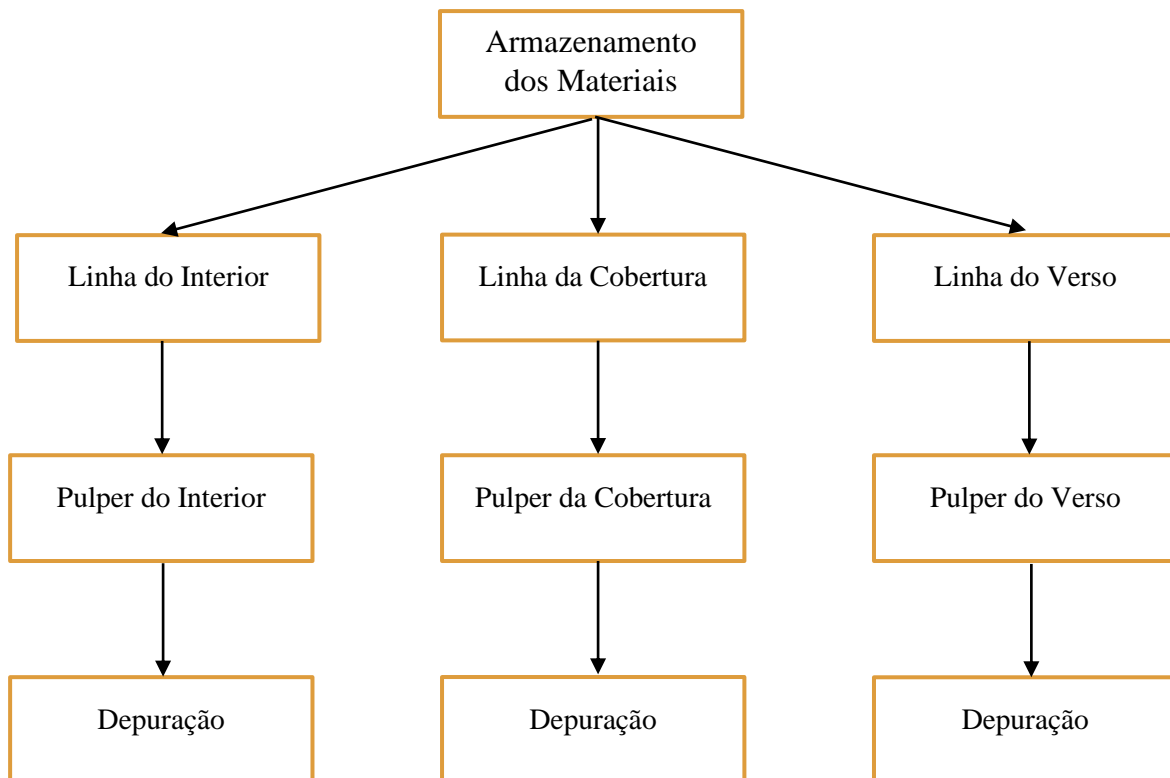


FIGURA 10 - DIAGRAMA DE BLOCOS DA ZONA DE DESINTEGRAÇÃO EM CORRESPONDÊNCIA ÀS MASSAS NECESSÁRIAS (INTERIOR, COBERTURA E VERSO)

1.4.2. Zona de Refinação

O material desintegrado nas 3 linhas de preparação de massa entram na zona de refinação de forma independente. Cada uma destas linhas, como vimos, com fibras que servirão para formar as camadas interiores, as camadas da cobertura e as camadas do verso sofrem tratamentos na refinação com algumas diferenças.

A linha que transporta as fibras que serão usadas na cobertura do cartão, é conduzida a tanques intermédios que servirão de alimentação aos refinadores. Depois de refinada, a pasta é bombeada para um tanque com agitação onde recebe agente branqueador óptico e é homogeneizada antes de ser enviada para a zona da formação.

O grau de refinação pretendido para as fibras é controlado a partir da medição do “grau de Schopper”. Esta medição consiste na recolha de uma amostra de 50 ml de suspensão fibrosa refinada à qual é adicionada água até perfazer um volume total rigorosamente de 1000 ml. A suspensão é homogeneizada e vertida num “aparelho de Schopper-Riegler” que

determina qual o grau de refinação a partir do volume de água drenada. Quanto maior for o grau de refinação, menor será a quantidade de água que deixará passar no mesmo período de tempo.

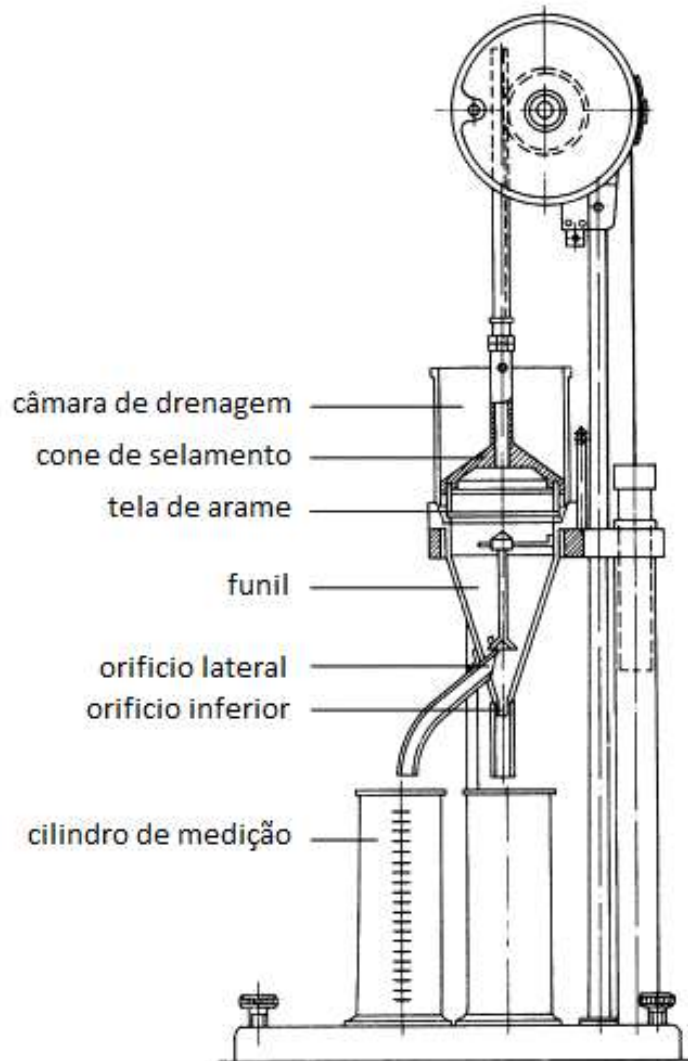


FIGURA 11 - ESQUEMA DE SCHOPPER-RIEGLER(DIENES, KEMÉNY, EGYHÁZI, & RÉCZEY, 2005)

A linha de pasta do verso, depois de sair do pulper da desintegração é admitida a uma fase de depuração levada a cabo por um depurador vertical, onde os materiais mais pesados são separados da pasta por diferença de densidades

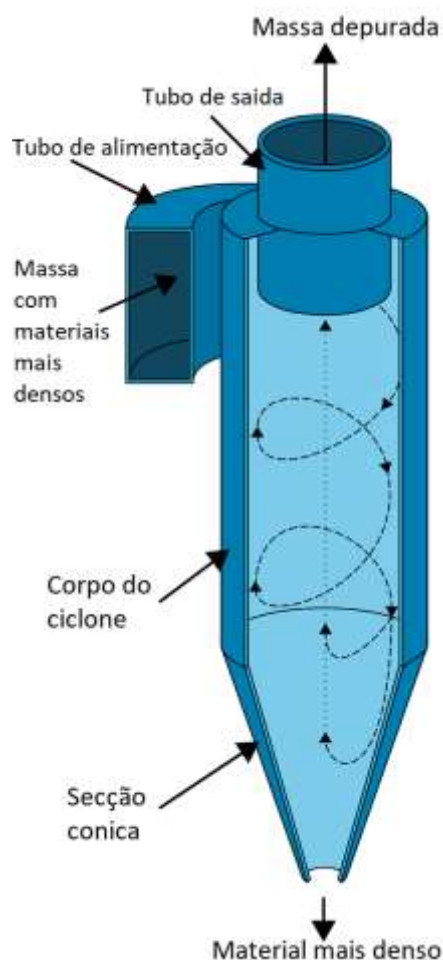


FIGURA 12 – ESQUEMA DE UM DEPURADOR HIDROCICLÔNICO (SEPARADOR CICLÔNICO, 2018)

O rejeito deste depurador hidrociclônico é conduzido a um depurador chamado “fibermizer“ onde a consistência de trabalho é inferior aumentando a capacidade de separação e recuperando assim algumas fibras que acompanharam o material mais denso admitido no rejeito da etapa anterior e constituído principalmente por areias, farpas de madeira e pequenos elementos metálicos como pregos, porcas ou parafusos. Esta linha de pasta passa por um despastilhador para eliminar algum material que ainda se apresente na forma de aglomerado de fibras, algo vulgar quando a matéria-prima contém papel e cartão reciclado. Há papéis mais difíceis de desagregar que depois de uma etapa normal de desagregação mantêm uma percentagem elevada de material agregado na forma de pastilhas. Este material aglomerado normalmente não resiste à despastilhagem mas no caso de isso acontecer é separado numa etapa intermédia de crivagem e é readmitido ao despastilhador. A pasta despastilhada e filtrada aceita segue para um tinão a partir do qual será admitida ao

processo de formação. Os materiais mais densos eliminados deste fluxo de matéria-prima são considerados resíduos e recolhidos para deposição em aterro.

A linha de pasta que serve para produzir as camadas interiores passa por um processo muito similar ao da linha da pasta do verso. A maior diferença entre estas duas linhas de produção está nos depuradores verticais. A linha de pasta das camadas interiores usa dois e a linha da pasta para o verso, como atrás foi descrito, usa apenas um. Tal como a linha da pasta das camadas do verso, esta linha possui um hidrociclone depurador especial neste caso chamado “fibersorter”. Este depurador tem uma capacidade de separação elevada para garantir que são recuperadas as fibras que acompanharam o material mais denso rejeitado nos depuradores principais. Também trabalha com consistências muito baixas e a diferença entre o “Fibermizer” e este “Fibersorter” é a dimensão maior do “fibersorter“. As fibras aceites nos depuradores principais são conduzidas a um tinão de onde são alimentadas ao processo de formação da folha. Os rejeitos do “Fibersorter” são extraídos do processo e tratados como resíduos.

As linhas de produção respeitantes à pasta para a produção do interior e do verso não sofrem refinação a menos que alguma pasta virgem seja adicionada à composição do fabrico.

O processo de refinação tem como objetivo a fibrilação, ou seja, a exposição das fibrilas que constituem o interior das fibras e estão protegidas pela parede das fibras. Na refinação, esta parede é mecanicamente agredida para que se rompa e sejam expostas as fibrilas do seu interior. Estas fibrilas possuem maior capacidade de ligação entre si e portanto, as ligações entre as fibras são fortes e a folha terá maiores resistências físicas. O grau de refinação deve ser rigorosamente controlado porque se a refinação for insuficiente, as propriedades de resistência física da folha serão inferiores ao pretendido. No entanto, o grau de refinação não pode ser muito alto porque nesse caso as fibras ficam demasiado cortadas, muito pequenas para sustentarem ligações fortes entre si e formarão uma folha em que as fibras se dispõem numa camada pouco filtrante que impede a drenagem da água durante a formação da folha, dificultando o processo de formação e de fabrico, exigindo muito mais vácuo e logo maiores custos operacionais.

Nesta fase do processo de preparação das matérias-primas para a formação da folha a única adição de químicos ao processo é a adição de branqueador óptico à linha da pasta virgem para a cobertura. Noutras instalações industriais de produção de papel, é nesta fase que são adicionados corantes e cargas de carbonato de cálcio ou dióxido de titânio.

2. Parte experimental

2.1. Metodologia experimental

Os ensaios laboratoriais que foram executados foram os seguintes:

- i) Determinação de gramagem total
- ii) Determinação da espessura
- iii) Determinação da gramagem de cada camada
- iv) Determinação da percentagem de humidade no cartão final
- v) Determinação da rigidez Taber medida a cada três bobines produzidas
- vi) Destacamento entre camadas: cobertura/interior; interior/interior e interior/verso
- vii) Determinação da rugosidade Bendtsen na cobertura e no verso
- vii) Determinação da absorção de água pelo teste Cobb

Foram ainda efectuados ensaios para a determinação dos rendimentos de formação nas formas redondas e das fibras nas águas coladas nos recuperadores de fibra

2.1.1. Determinação das concentrações de pasta

A determinação das concentrações das pastas foram feitas após a recolha das amostras num gobelé de 1000 ml. As amostras foram recolhidas dos tanques correspondentes às formas redondas e ainda à entrada e saída dos recuperadores de fibra. Os 1000 ml suspensão fibrosa de cada amostra foram transferidos para um formador de folhas. Após o enchimento do formador com água de diluição e da homogeneização, a água foi drenada e as fibras retiradas da rede do formador com o auxílio de um papel de mata-borrão. De seguida, as fibras húmidas eram secas numa esmaltadeira durante 8 a 10 minutos, após os

quais a folha era arrefecida e pesada. O valor da concentração era calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$C = \frac{m_s}{V_{ac}} \quad (1)$$

Sendo:

C – Concentração em g/l;

V_{ac} – Volume de águas coladas em l;

m_s - Massa de fibras secas em g

2.1.2. Testes laboratoriais de garantia da qualidade do produto final

Para assegurar a qualidade do cartão produzido são necessários alguns ensaios. Estes ensaios são efectuados a cada rolo produzido e são comuns na indústria do papel e do cartão estando sujeitos a normas portuguesas e internacionais.

2.1.3. Determinação da gramagem do cartão

A determinação da gramagem foi efectuada de acordo com a norma ISO 536 e tem como objectivo calcular a relação entre a massa de fibras secas e a superfície do produto, sendo esta expressada em g/m^2 .

A técnica utilizada para este ensaio consiste em recolher uma amostra a toda a largura da bobina, cortando-se com a ajuda de uma guilhotina dez provetes quadrados, identificando-os numericamente de 1 até 10, sendo o provete numerado como 1 a amostra do lado da condução e 10 o lado da transmissão. Seguidamente pesa-se os provetes e expressa-se a sua massa com três algarismos, anotando os resultados no boletim de registo do ensaio. A equação utilizada é:

$$G = \frac{m}{A} * 10000 \quad (2)$$

Sendo:

G – Gramagem em g/m^2 ;

A – Área em m^2 ;

m – Massa em g.

O resultado final é obtido através da média das 10 gramagens.

Na fábrica Prado Karton normalmente as gramagens devem se encontrar entre 200 g/m^2 e 600 g/m^2 . As gramagens são decididas de acordo com as especificações dos clientes, podendo, o mesmo tipo de cartão ter varias gramagens diferentes, conforme o seu destino pretendido.

A determinação da gramagem de cada camada é executada após a separação das camadas e da utilização do mesmo procedimento para a determinação da gramagem de cada camada.

2.1.4. Determinação da espessura

Este ensaio faz-se de acordo com a norma NP EN 20534, e consiste na medição da espessura da folha sobre uma carga estática especifica, utilizando um micrómetro. O micrómetro é um aparelho com duas placas de pressão, circulares planas e paralelas, entre as quais se coloca o cartão para a medição. Sendo assim a espessura a distancia entre a face do verso e a face da cobertura, determinada sobre uma carga estática.

Este ensaio é efectuado utilizando os provetes da determinação da gramagem. Após a introdução do provete entre as placas de contacto, de modo a que este fique sobre pressão, são feitas 5 leituras em locais distintos do provete, tipicamente: o centro e os cantos mas pelo menos a 2 cm de distância das extremidades. No final calcula-se o valor médio inteiro das cinco leituras, sendo o ensaio executado nos 10 provetes usados para determinar a gramagem e sendo aceite como valor da espessura a média de todas as leituras efectuadas em todos os provetes. O valor final é documentado no boletim de registo que se também tinha utilizado na gramagem.

2.1.5. Determinação da humidade

A determinação da humidade foi feita de acordo com a norma NP EN 20287 e consiste na pesagem de uma amostra de cartão antes e depois de uma secagem em estufa até a 105 ° C ($\pm 2^\circ\text{C}$). Durante a secagem os provetes devem ser espaçados de modo a facilitar a circulação do ar e o período de secagem deve ser de 24 horas ou até este obter uma massa constante, ou seja, não ter de diferença da massa entre pesagens superior a 0,1% d relativamente à pesagem anterior. A determinação do teor de humidade é feita por cálculo utilizando a seguinte expressão:

$$H = \frac{m_h - m_s}{m_h} * 100 \quad (3)$$

Sendo:

H – Percentagem de humidade (%)

m_s – Massa do provete seca em g;

m_h – Massa do provete húmido (massa inicial) em g.

Os valores obtidos são exibidos graficamente, podendo assim observar-se a variação e humidade ao longo do tempo.

2.1.6. Determinação da rigidez Taber

Esta determinação é feita de acordo com as normas ISO 2493 e ISO 5628, trata-se de um ensaio que pode ser referido como ser referido como um ensaio à resistência à flexão dado que este ensaio na aplicação de uma força para fletir a extremidade de um provete fixo até um determinado ângulo.

Para a realização deste ensaio, a fabrica Prado Karton utiliza um rigidímetro Taber. O ensaio é efectuado com 2 provetes retirados após a produção de uma bobine no fim da máquina. Os provetes têm dimensões de $3,8 \times 7,0$ cm, sendo testado um provete recolhido com o maior comprimento no sentido de máquina e outro com o maior comprimento no sentido transversal.

2.1.7. Teste do destacamento entre camadas

O teste de destacamento entre camadas não se encontra normalizado. O teste consiste na aplicação de forças num provete com objetivo de provocar laminação entre as camadas presentes na folha de cartão. O teste serve para medir a adesão entre as camadas.

Para executar este teste usam-se três provetes: um para o destacamento entre a interface interior/cobertura, outro para a interface interior/interior e o restante para a interface verso/interior. O teste consiste numa laminação inicial das camadas do cartão usando uma lâmina. Seguidamente coloca-se o provete que vai ser ensaiado sobre o cilindro com a face referente à cobertura virada para cima, prendendo-se as extremidades do provete ao cilindro e colocando-se a camada em que se iniciou a laminação presa a uma mola. O movimento rotativo do cilindro provoca a continuação da laminação e a força necessária para completar a laminação do provete é medida e anotada.

2.1.8. Determinação da rugosidade Bendtsen

A determinação da rugosidade Bendtsen foi efectuada de acordo com as normas ISO 8791-1 e ISO 8791-2, sendo o objectivo deste teste a transformação da existência de irregularidades no cartão num valor numérico comparável entre diferentes papéis ou cartões. Para a realização deste teste é necessário o uso de um aparelho com o nome Bendtsen que pode medir tanto a rugosidade e a porosidade de uma folha.

Para se determinar o valor da rugosidade, temos que cortar provetes com um tamanho mínimo de 7,5 cm de lado sem tocar as faces com os dedos. Após a preparação do aparelho de modo a que não existam problemas durante os ensaios, colocam-se os provetes de papel ou cartão sobre a superfície de um vidro polido e em cima do provete coloca-se um peso de modo que o provete fique completamente plano, finalmente coloca-se a cabeça de medida sobre o provete sem pressão. Depois liga-se o fluxo e quando fluxómetro estiver estável anota-se o valor do caudal. No final faz-se a media dos valores obtidos e regista-se no boletim de registo, registando também os valores mínimos e máximos que se obteve.

2.1.9. Teste Cobb de determinação da absorção de água

Este ensaio foi feito de acordo com a norma NP EN 20535 e tem como objectivo a determinação da quantidade de água que o cartão pode absorver em condições específicas. Utiliza-se um equipamento que consistindo este na sua forma mais simples por um anel metálico rígido de secção interior de $100 \pm 0,2 \text{ cm}^2$, com altura de 5 cm e com dois parafusos que permitem fixar o anel, apertando-o contra a superfície do provete de cartão de modo a conter a água que será colocada dentro do anel e em contacto com o papel.

O ensaio é feito com dois provetes quadrados com dimensões de 12,5 cm de lado tendo o cuidado de não tocar com os dedos na superfície dos provetes que vai absorver água. O provete a testar é seco e pesado antes do ensaio se iniciar seguidamente coloca-se o provete com a face a testar virada para cima e sobre ela o anel metálico bem apertado à superfície do provete de modo a evitar fugas de água. Adicionam-se 100 ml de água destilada, e activa-se o cronometro. O tempo de ensaio depende do cartão testado mas se o tempo do ensaio for 60 segundos, aos 45 segundos, despeja-se a água, liberta-se e retira-se rapidamente o provete do anel colocando o provete com a face molhada virada para cima, sendo o excesso de água à superfície do provete absorvida com papel mata-borrão. Passados 60 segundos troca-se a folha de papel mata-borrão e comprime-se contra o provete com um rolo de metal (rolo de secagem), sem exercer pressão. Após a secagem dobra-se o provete com a parte húmida virada para o interior para evitar evaporação e pesa-se rapidamente. Repete-se o processo para a outra face com um novo provete. Os provetes são rejeitados se:

- i. Apresentem excesso de água
- ii. Se forem atravessados pela água

Se a percentagem dos provetes rejeitados for superior a 20%, reduz-se a duração do ensaio até se ter um resultado satisfatório, até a um mínimo de 30 segundos. A equação usada para calcular a absorção de água é:

$$A_b = (m_2 - m_1) * 100 \quad (4)$$

Sendo:

A_b – absorção de água em g/m^2 ;

m_1 – massa do provete seco em g;

m_2 – massa do provete húmido em g;

No final registam-se os valores obtidos no boletim de registo.

2.1.10. Determinação dos rendimentos das formas redondas

Para a determinação dos rendimentos das formas redondas foi necessário, a obtenção de amostras dos tanques adjacentes às formas redondas que correspondem à cobertura, ao interior e ao verso, e seguidamente utilizou-se a seguinte equação para obtenção das consistências das águas coladas:

$$C_{ac} = \frac{m_f}{V_{ac}} * 100 \quad (5)$$

Sendo:

C_{ac} – Consistência águas coladas em %;

V_{ac} – Volume de águas coladas em ml;

m_f – Massa de fibras remanescentes no formador em g

A obtenção das consistências das águas coladas referentes aos diferentes tipos de camadas possíveis, sendo estes, a cobertura, o interior e o verso, foi executada com o mesmo método, mas com diferentes quantidades de águas coladas. Para a cobertura seria necessário um maior volume de águas coladas, tendo chegado a ser necessários 9000 ml de águas coladas para a execução de uma única análise. Contrariamente a quantidade de águas coladas necessárias para a execução de uma análise ao interior rondava maioritariamente os 1000 ml, sendo o verso o que teria valores mais intermédios, normalmente entre os 2000ml e os 3000 ml necessários para a execução da análise. Após a obtenção da folha no formador e a sua secagem, procedia-se à pesagem das fibras secas e ao cálculo da consistência a partir da fórmula (5).

Os valores determinados para as consistências das águas coladas e outros que se encontravam disponíveis nos computadores foram usados para calcular a produção remanescente na forma redonda (8) e a produção horária (7) e posteriormente estes resultados serviram para determinar os rendimentos das formas redondas (6).

Formula utilizada para obter o rendimento das formas redondas:

$$\mu_f = \left(\frac{P_h}{P_h + P_{rf}} \right) \times 100 \quad (6)$$

Sendo:

μ_f – Rendimento das formas redondas em %;

P_h - Produção horária em kg/min;

P_{rf} - Produção remanescente na forma em kg/min.

$$P_h = v \times l \times G \quad (7)$$

v – Velocidade em m/min;

l – Largura em m;

G – Gramagem em g/m²

$$P_{rf} = C_{ac} \times Q_{cc} \quad (8)$$

C_{ac} - Consistência águas coladas em kg/l;

Q_{cc} - Caudal da camada correspondente em l/min

2.1.11. Determinação dos rendimentos dos recuperadores de fibra

Para se determinar os rendimentos dos recuperadores de fibras, foi necessário recolher amostras à entrada e à saída dos recuperadores. Foram formadas folhas no formador de folhas com as fibras recolhidas nas amostras, sendo de seguida secas em estufa a 105°C e depois pesadas. Os valores das concentrações determinadas à entrada e à saída foram posteriormente utilizadas para calcular os rendimentos dos recuperadores.

Formula utilizada para obter o rendimento dos recuperadores de fibra:

$$\mu_r = \frac{C_e - C_s}{C_e} * 100 \quad (9)$$

Sendo:

μ_r - Rendimento do recuperador em %

C_e - Concentração da suspensão fibrosa à entrada do recuperador

C_s - Concentração da suspensão fibrosa à saída do recuperador

3. Resultados e Discussão

Apresentam-se e discutem-se os resultados dos ensaios realizados nos laboratórios da empresa, durante o estágio.

3.1. Rendimentos das formas redondas

Durante cerca de um mês do estágio realizaram-se ensaios para a determinação de rendimentos das formas redondas, para a formação de papel com 2,48 m largura. Apresentam-se de seguida os resultados obtidos para os ensaios efectuados.

TABELA 1 - MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO, REFERENTES AOS DADOS ADQUIRIDOS DAS FORMAS.

Dados adquiridos	Análises										Média	Desvio Padrão	Coeficiente de variação (%)
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª			
Velocidade(m/min)	130,00	128,00	110,00	116,00	118,00	119,00	119,00	120,00	123,00	117,00	120,00	5,81	4,84
Gramagem(g/m ²)													
Cobertura	45,00	44,00	40,00	44,00	41,00	40,00	40,00	45,00	44,00	41,00	42,40	2,17	5,12
Interior	136,20	139,20	137,20	134,20	137,20	207,30	153,30	142,30	137,30	204,40	152,86	28,43	18,60
Verso	41,00	42,00	43,00	42,00	44,00	30,00	31,00	37,00	39,00	29,00	37,80	5,75	15,21
Revestimento	28,00	25,00	30,00	30,00	28,00	25,00	26,00	26,00	30,00	28,00	27,60	2,01	7,29
Caudal de Forma por camada (l/min)													
Cobertura	2045	2065	1994	2154	2178	2245	2165	2078	2183	2207	2131,40	80,76	3,79
Interior	8377	8592	8226	8270	8314	8448	8297	8307	8274	8371	8347,60	106,87	1,28
Verso	1420	1437	1574	1574	1602	1584	1508	1558	1585	1564	1540,60	64,16	4,16
Consistencia das aguas coladas (%g/100ml)	0,60	0,66	0,61	0,59	0,60	0,62	0,64	0,66	0,60	0,64	0,62	0,03	4,24

TABELA 2 - MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO, REFERENTES AO CÁLCULO DO RENDIMENTO DAS FORMAS PARA O INTERIOR.

Dados calculados (Interior)	Análises										Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª			
Consistencia das aguas coladas (%g/100ml)	0,60	0,66	0,61	0,59	0,60	0,62	0,64	0,66	0,60	0,64	0,62	0,03	4,24
Produção horaria (kg/min)	43,91	44,19	37,43	38,61	40,15	61,18	45,24	42,35	41,88	59,31	45,42	8,20	18,05
Produção remanescente na forma (Kg/min)	50,43	56,96	50,34	48,71	49,97	52,72	53,35	54,58	49,40	53,41	51,99	2,64	5,07
Rendimento (%)	46,55	43,68	42,64	44,21	44,55	53,72	45,89	43,69	45,88	52,62	46,34	3,80	8,19

TABELA 3 - MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO, REFERENTES AO CÁLCULO DO RENDIMENTO DAS FORMAS PARA O INTERIOR, SEM OS RESULTADOS DA 6ª E 10ª ANÁLISE.

Dados calculados (Interior)	Análises								Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	7ª	8ª	9ª			
Consistencia das aguas coladas (%g/100ml)	0,60	0,66	0,61	0,59	0,60	0,64	0,66	0,60	0,62	0,03	4,71
Produção horaria (kg/min)	43,91	44,19	37,43	38,61	40,15	45,24	42,35	41,88	41,72	2,78	6,68
Produção remanescente na forma (Kg/min)	50,43	56,96	50,34	48,71	49,97	53,35	54,58	49,40	51,72	2,91	5,63
Rendimento (%)	46,55	43,68	42,64	44,21	44,55	45,89	43,69	45,88	44,64	1,35	3,02

TABELA 4 – MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO, REFERENTES AO CÁLCULO DO RENDIMENTO DAS FORMAS PARA A COBERTURA.

Dados calculados (Cobertura)	Análises										Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)	
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a				
Consistencia das aguas coladas (%g/100ml)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,004	12,75
Produção horaria (kg/min)	14,51	13,97	10,91	12,66	12,00	11,80	11,80	13,39	13,42	11,90	12,64	1,14	9,05	
Produção remanescente na forma (Kg/min)	0,55	0,57	0,57	0,68	0,67	0,60	0,62	0,68	0,83	0,80	0,66	0,10	14,64	
Rendimento (%)	96,35	96,07	95,01	94,87	94,74	95,13	94,98	95,15	94,16	93,66	95,01	0,79	0,83	

TABELA 5 - MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO, REFERENTES AO CÁLCULO DO RENDIMENTO DAS FORMAS PARA O VERSO.

Dados calculados (Verso)	Análises										Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	6 ^a	7 ^a	8 ^a	9 ^a	10 ^a			
Consistencia das aguas coladas (%g/100ml)	0,40	0,38	0,41	0,47	0,38	0,39	0,33	0,34	0,38	0,33	0,38	0,04	10,71
Produção horaria (kg/min)	13,22	13,33	11,73	12,08	12,88	8,85	9,15	11,01	11,90	8,41	11,26	1,84	16,34
Produção remanescente na forma (Kg/min)	5,64	5,50	6,52	7,32	6,15	6,21	4,95	5,32	5,95	5,23	5,88	0,70	11,96
Rendimento (%)	70,10	70,78	64,29	62,28	67,67	58,78	64,87	67,42	66,65	61,65	65,45	3,82	5,83

TABELA 6 - MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO, REFERENTES AO CÁLCULO DO RENDIMENTO DAS FORMAS PARA O VERSO, SEM OS RESULTADOS DA 1ª, 2ª E 6ª ANÁLISE.

Dados calculados (Verso)	Análises							Média	Desvio padrão	Coeficiente de variação (%)
	3ª	4ª	5ª	7ª	8ª	9ª	10ª			
Consistência das águas coladas (%g/100ml)	0,41	0,47	0,38	0,33	0,34	0,38	0,33	0,38	0,05	13,05
Produção horaria (kg/min)	11,73	12,08	12,88	9,15	11,01	11,9	8,41	11,02	1,64	14,88
Produção remanescente na forma (Kg/min)	6,52	7,32	6,15	4,95	5,32	5,95	5,23	5,92	0,83	14,01
Rendimento (%)	64,29	62,28	67,67	64,87	67,42	66,65	61,65	64,98	2,41	3,71

Optou-se por determinar o coeficiente de variação das amostras de forma a comprovar alguma robustez estatística do resultado final do rendimento, nomeadamente no que diz respeito à dispersão dos valores, coeficientes de variação abaixo de 5% são considerados aceitáveis a nível industrial. Pode-se observar que, no caso do cálculo do rendimento das formas redondas que produzem as camadas do interior, o coeficiente de variação tem um valor de 8,19%, valor que denota alguma dispersão das repetições, como se pode verificar na Tabela 2. As repetições que parecem influenciar mais esta dispersão são que foram numeradas como 6ª e 10ª análises. Reformulou-se o cálculo, considerando estas duas repetições como *outliers*, sendo por isso eliminadas. Esta estratégia fez baixar o coeficiente de variação do rendimento das formas que produzem o interior do cartão para 3,02%, como se pode verificar na tabela 3. O coeficiente de variação no cálculo do rendimento das formas da cobertura é 0,83% (Tabela 4) e do verso 5,83% (Tabela 5). No caso do rendimento das formas para o fabrico do verso, decidiu-se considerar os valores obtidos nas 1ª, 2ª e 6ª repetições (análises) como *outliers* sendo por isso eliminados (Tabela 6). Desta forma o coeficiente de variação baixou para 3,71%, um valor que garante que a média do rendimento foi feita com valores mais precisos (com pouca dispersão).

As variações observadas que influenciaram o coeficiente de variação do rendimento podem ser causados por um erro que não tenha sido detectado na execução das análises, ou pelo facto de quando se estavam a retirar as amostras de águas coladas, estas terem uma densidade maior ou menor de pasta na zona onde se retirou por coincidência embora isto não seja provável pois as amostras foram retiradas de um tanque que se encontrava em constante em agitação.

Observando os rendimentos obtidos, podemos concluir que como se esperava, os rendimentos estão dentro de valores aceitáveis. Estes valores de rendimentos das formas já eram esperados e vieram confirmar que as formas estavam a comportar-se como desejado. Após comparação com os resultados obtidos anteriormente, uma vez que o Engenheiro responsável pela produção e simultaneamente orientador do estágio, havia verificado os resultados e tinha confirmado que se encontravam dentro do esperado.

Os rendimentos mais altos referentes às formas são aqueles obtidos nas formas de produção da cobertura do cartão, com rendimentos acima dos 90%. Os rendimentos das formas de produção do verso são os segundos melhores, com rendimento médio de cerca de 64,98%. Finalmente temos os rendimentos das formas que produzem o interior do cartão que

como se esperava são os mais baixos, com valor médio de 44,64%. Estes valores eram esperados após o início da recolha das amostras, porque enquanto no caso das amostras do interior, 1000 ml chegavam facilmente para formar uma folha, no caso do verso necessitava-se de aproximadamente 2000 ml a 3000 ml e ainda assim com estes valores, a repetição dos ensaios foi feita várias vezes alguns com resultados não existentes. Finalmente o verso, requeria mais do que 6000 ml algumas vezes perto dos 9000 ml, e muitos dos ensaios tinham de ser refeitos porque a folha não se formava corretamente.

3.2. Rendimentos dos recuperadores de fibra

TABELA 7 - MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO, DOS RESULTADOS DOS RECUPERADORES DE FIBRAS EM RELAÇÃO AO “SOKRAFT”.

Recuperadores de fibra(sokraft)	Análises										Média	Desvio padrão	Coeficiente de Variação (%)
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª			
Recuperador de fibra nº 1													
Consistência á entrada (g/l)	3,32	4,13	3,36	4,65	4,52	3,97	4,23	5,22	4,72	4,57	4,27	0,60	14,05
Consistência á saída (g/l)	1,40	1,67	1,94	2,19	2,01	2,14	2,20	2,61	2,41	2,19	2,07	0,35	16,69
Rendimento (%)	57,70	59,68	42,32	53,01	55,64	45,99	47,90	50,10	48,94	52,15	51,34	5,39	10,49
Recuperador de fibra nº 2													
Consistência á entrada (g/l)	3,30	4,00	4,83	4,51	4,35	3,79	4,72	4,67	4,80	4,49	4,34	0,50	11,54
Consistência á saída (g/l)	0,51	0,51	0,45	0,47	0,44	0,49	0,52	0,44	0,49	0,54	0,49	0,03	6,74
Rendimento (%)	84,56	87,30	90,58	89,54	89,84	87,06	89,07	90,53	89,72	88,05	88,62	1,89	2,13

TABELA 8 – MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO, DOS RESULTADOS DOS RECUPERADORES DE FIBRAS EM RELAÇÃO AO “LUSOPLEX”

Recuperadores de fibra(lusoplex)	Análises										Média	Desvio padrão	Coeficiente de Variação (%)
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª			
Recuperador de fibra nº 1													
Consistência á entrada (g/l)	4,47	5,80	5,32	6,30	6,48	6,57	6,85	7,02	5,85	5,98	6,06	0,76	12,59
Consistência á saída (g/l)	2,68	2,47	1,90	2,70	2,72	2,81	2,75	2,99	2,51	2,59	2,61	0,29	11,14
Rendimento (%)	40,00	57,50	64,29	57,14	58,10	57,23	59,93	57,48	57,16	56,77	56,56	6,24	11,03
Recuperador de fibra nº 2													
Consistência á entrada (g/l)	3,35	7,00	6,07	6,87	5,92	5,95	6,49	6,30	5,94	5,82	5,97	1,01	16,87
Consistência á saída (g/l)	0,60	0,62	0,64	0,72	0,66	0,61	0,59	0,67	0,63	0,57	0,63	0,04	6,75
Rendimento (%)	82,11	91,14	89,38	89,51	88,92	89,78	90,84	89,40	89,45	90,14	89,07	2,54	2,85

TABELA 9 - RESULTADOS DOS RECUPERADORES DE FIBRAS EM RELAÇÃO AO “LUSOPRINT” E AO “PACK PLUS”.

Recuperadores de fibra(lusoprint e pack plus)	Análises	
	Lusoprint	Pack plus
Recuperador de fibra nº 1		
Consistência á entrada (g/l)	4,76	5,20
Consistência á saída (g/l)	1,58	3,07
Rendimento (%)	66,81	41,03
Recuperador de fibra nº 2		
Consistência á entrada (g/l)	5,54	5,35
Consistência á saída (g/l)	0,25	0,80
Rendimento (%)	95,49	85,05

Pode-se observar pelos resultados apresentados nas tabelas referentes aos dois recuperadores de fibra (Tabela 7 e 8), que os valores obtidos tem uma grande diferença entre os resultados do 1º recuperador de fibra e do 2º e que se passa a discutir.

Foram determinados os rendimentos dos dois recuperadores durante a produção de dois cartões diferentes: “Sokraft” e “Lusoplex”. Efectuaram-se ainda mais duas análises sem repetições durante a produção de cartão “Lusoprint” e de cartão “Pack Plus”. Os resultados mostram que sistematicamente o rendimento do 1º recuperador é inferior ao rendimento do 2º. Relativamente ao estudo do 1º recuperador, pode-se observar que os resultados da Tabela 7 apresentam um valor médio de rendimento de 51,34%, e que para o 2º recuperador o valor do rendimento é de 88,62%. O coeficiente de variação mostra que os valores de rendimento calculados para as repetições do 1º recuperador são muito dispersos, sendo difícil identificar *outliers*. Efectuaram-se várias tentativas de eliminação de valores que mais se afastavam da média sem que isso fizesse variar substancialmente o valor da média de rendimento nem

fizesse baixas o valor do coeficiente de variação, sobretudo nunca se conseguiu que baixasse dos 5%, por foi decidido não eliminar valores, mantendo a dispersão dos resultados individuais dos rendimentos das 10 repetições e o correspondente valor de coeficiente de variação de 10,49%. O estudo efetuado durante a produção do cartão “Lusoplex” apresentado na Tabela 8 forneceu resultados idênticos de rendimento de recuperação de 56,56% para o 1º recuperador e de 89,07% para o 2º recuperador. Também neste caso os valores de coeficiente de variação foram idênticos com 11,03% e 2,85% respetivamente para o 1º e para o 2º recuperador. Esta repetição dos valores altos de coeficiente de variação no cálculo do valor médio de rendimento do 1º recuperador não pode ser coincidência e deverá estar relacionado com alguma falta de homogeneização da suspensão fibrosa neste recuperador ou em alternativa, instabilidade de funcionamento. As análises únicas feitas à suspensão fibrosa nos recuperadores efetuadas durante a produção de cartões “Lusoprint e de “Pack Plus” e apresentadas na Tabela 9, revelam para o primeiro recuperador um rendimento de recuperação para estes cartões de 66,81% e 41,03% respetivamente. Estes valores continuam bastante abaixo daqueles observados para o 2º recuperador que foram de 95,49% e de 85,05% respetivamente e que confirmam a acentuada diferença de rendimento de recuperação de fibras entre os dois recuperadores.

Após consulta com o Engenheiro responsável pela produção, foi confirmado que os resultados estavam dentro do esperado, tanto para o recuperador número 1 e para o número 2. De facto, é conhecido o baixo rendimento de recuperação de fibras do 1º recuperador porque se encontrar danificado, facto que já era previamente sabido pela empresa, e já era esperado nos resultados devido a informação providenciada pelo engenheiro responsável pela produção.

4. Conclusões e considerações finais

A partir dos resultados obtidos durante o período de estágio nos laboratórios na fábrica Prado Karton, pode-se concluir que as formas redondas e os recuperadores de fibra que se encontram na fábrica Prado Karton estão a funcionar como esperado, e que os resultados obtidos estão dentro do previsto com base em informações verbais fornecidas pelo engenheiro responsável pela produção. Os resultados dos rendimentos estão de acordo com o previsto tanto para as formas redondas como para os recuperadores de fibra, inclusivamente já era conhecida a quebra de rendimento do recuperador nº1 por comparação com o recuperador nº2, razão pela qual o recuperador nº1 só é usado em situações de recurso.

5. Bibliografia

- Casey, J. P. (1980). *Pulp and paper*, vol.2. New york: john Wiley & Sons.
- Dienes, D., Kemény, S., Egyházi, A., & Réczey, K. (2005). Improving the capability of the Schopper–Riegler freeness measurement. *ELSEVIER*, 194-203.
- J.Biermann, C. (1996). *Handbook of pulping and papermaking*, vol. 2. San Diego (California): Academic press limited.
- Diário de Notícias, (26 de 6 de 2017). *Administração da Prado Karton pede insolvência da empresa*. Obtido de Lusa: <https://www.dn.pt/lusa/interior/administracao-da-prado-karton-pede-insolvencia-da-empresa-8597960.html>
- Prado Karton. (2 de 10 de 2017). *PRADO KARTON – Companhia de Cartão S.A.* Obtido de <http://pradocartonboard.mbv.nersant.pt/empresa/historial/>
- Separador ciclónico*. (22 de 10 de 2018). Obtido de wikipedia: https://es.wikipedia.org/wiki/Separador_cicl%C3%B3nico