

ANÁLISE COMPARATIVA DE QUALIDADE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DA PASTA TERMOMECÂNICA COM UM E DOIS ESTÁGIOS DE REFINAÇÃO

Julio C. S. BRAZ ¹

Rurian MELO ²

¹Discente, Faculdades FatiFajar, Jaguariaíva, Paraná, (juliobraz.eng@hotmail.com),

²Docente, Faculdades FatiFajar, Jaguariaíva, Paraná

RESUMO

Com a exigência cada vez maior dos consumidores na área papeleira por produtos de qualidade e com baixo custo, torna-se necessário a prática e o desenvolvimento de estudos nesta área, para que assim a empresa consiga conciliar a qualidade e o custo do produto final. Diante dessa necessidade, este presente estudo foi desenvolvido na fábrica de papel B.O PAPER, situada no município de Arapoti - Paraná, para comparar a qualidade mecânica da pasta termomecânica (TMP) fabricada através do *mix* de 50% das espécies *Eucalyptus grandis* (Myrtaceae) e *Pinus taeda* (Pinaceae) com um estágio de refinação e com dois estágios de refinação, de modo a verificar qual condição melhor atende as especificações normativas de qualidade dadas pela empresa. Por meio da comparação dos resultados obtidos em laboratório das análises de rasgo, tração e estouro e entre a produção de polpa com um estágio de refinação e dois estágios de refinação, observa-se que a qualidade mecânica da TMP fabricada com 1 estágio de refinação atendeu a especificação exigida pela empresa, porém com valores bem próximos a tolerância mínima. Já na TMP com 2 estágios de refinação os resultados obtidos foram superiores, alguns passando da especificação exigida. Através do estudo, pode-se concluir que TMP com 2 estágios de refinação tem resistência mecânica superior que a TMP com 1 estágio de refinação. Este presente trabalho serviu também como base para um novo estudo, que compara a qualidade e o custo de fabricação da TMP com um e dois estágios de refinação.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade de um produto está no modo como se deu sua fabricação. Obter um produto de qualidade exige uma minuciosa análise do processo de fabricação como um todo. É preciso identificar o impacto que cada um desses processos irá gerar no produto final. É de suma importância avaliar a matéria prima a ser utilizada no

produto a ser fabricado. A pasta termomecânica (TMP) é a matéria prima base para fabricação do papel, ou seja, uma TMP com baixa qualidade resultará em um papel de baixa qualidade. Como isso, neste presente trabalho iremos avaliar a qualidade mecânica da TMP através de uma análise comparativa de dois diferentes tipos de estágios de refinação. Os resultados foram obtidos através de análises laboratoriais seguidas por especificações normativas de qualidade exigidas pela empresa.

A refinação faz parte do processo de acabamento da fabricação de TMP, por isso é um processo de grande importância, e que pode impactar diretamente na qualidade da TMP. Afirma Voith (2016), que a refinação influencia nas características qualitativas do produto final, isso se dá através da modificação do potencial de resistência das fibras. A refinação tem a capacidade de controlar o índice de resistência da fibra, impactando diretamente nos resultados de qualidade. Com esse efeito, no presente trabalho será possível avaliar qual dos tratamentos obteve maior impacto no valor da qualidade da pasta.

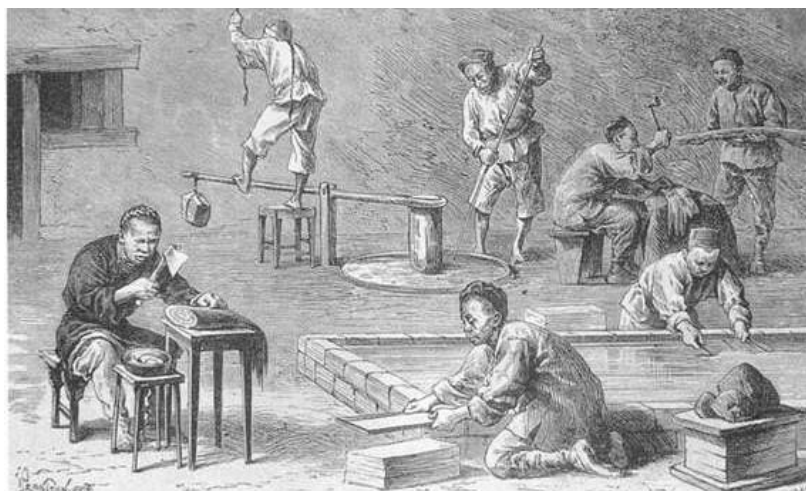
Através de análises comparativas pode-se também desenvolver-se muitos outros estudos, que podem apontar o menor custo, a maior produtividade, avaliação mecânica dos equipamentos e tantos outros. Por isso é importante a continuação de estudos que avaliem esses meios, e através dos resultados obtidos tomar medidas que irá beneficiar a empresa.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 HISTÓRIA DA FABRICAÇÃO DO PAPEL

“No ano de 105 D.C., na China, conforme diz a história, T’sai-Lung inventou o fabrico do papel. Os chineses fabricavam o papel reduzindo a pedacinhos, trapos, fibras e até cascas de algumas arvores, como: cânhamo, amoreira, bambu, produzindo assim a polpa [...]” (ANDRIONI, 2006, p.14).

FIGURA 1 - ILUSTRAÇÃO DO ANTIGO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL NO ANO 105 D.C, NA CHINA.



FONTE: Papermaking. Disponível em: < <http://www.absoluteschinatours.com/chinatavel/paper-making-China-ancient-inventions.html>>.

2.2 MATÉRIA PRIMA

Segundo Cardoso (2009) alguns fatores devem ser considerados para a escolha da matéria-prima na fabricação do papel, esses fatores são três: qualidade que se deseja obter no produto final, custo para obtenção do produto final e a disponibilidade da matéria prima na região em curto e longo prazo.

E ainda segundo o mesmo autor ele acrescenta qual é a matéria-prima mais utilizada na fabricação da polpa que dará origem ao papel, e por que essa é a mais utilizada.

“Em quase 95% dos casos, o papel é fabricado com fibras que provêm da madeira. Por processos especiais, a madeira tem seus constituintes anatômicos individualizados, e esses dão origem ao se chama polpa ou pasta. Essas fibras recebem tratamentos diversos para aumentar a resistência e flexibilidade, e são novamente reunidas na forma de uma folha de papel. A madeira é o mais importante material para a produção de celulose, pois é um recurso fácil e economicamente renovável. E a matéria prima mais utilizada provem principalmente de várias espécies de eucalipto e pinus, por apresentarem um rápido crescimento quando reflorestadas [...]” (CARDOSO, 2009, p.14).

2.3 ESPÉCIES FLORESTAIS

2.3.1 *Eucalyptus grandis Hill ex. Maiden*

Segundo Lorenzi (2003), a espécie *Eucalyptus grandis* é originária da Austrália e varia de 20 a 40 metros de altura, com maior uso em reflorestamento e plantios em lugares inundados, produz madeira com coloração marrom rosada, com fibras curtas bastante utilizadas na produção de celulose e papel devido ao seu alto rendimento de produção.

Mosca (2010) considera que o *Eucalyptus grandis* possui grande potencialidade nas regiões de clima quente por ter um bom desenvolvimento nestas condições, tendo assim, uma boa qualidade de madeira para carvão, produção de celulose e papel, e serraria, principalmente, pela sua resistência ao cancro do *Eucalyptus*. Suas árvores são de grande porte, retas, com forte dominância apical.

Para Cardoso (2009), *Eucalypto* é uma das matérias-primas mais utilizadas na fabricação de papel por apresentar um rápido crescimento e uma fibra de qualidade. Muito utilizada no processo de fabricação de papel, sua fibra curta conferir uma melhor formação entre fibras e diminuindo os excessos de poros e melhor acabamento.

2.3.2 *Pinus taeda*

Segundo Kronka et al. (2005), o *Pinus taeda* possui maior ocorrência nos Estados Unidos sua faixa varia nas altitudes de 2500 m a 4500 m com grande variação do tipo de solo. A espécie apresenta excelentes características fibrosas para a obtenção de pasta celulósica para fabricação de papel.

De acordo com Lorenzi (2003), *Pinus taeda* é uma árvore nativa do sul dos Estados Unidos com altura entre 25 a 30 metros, sua madeira é utilizada para construção civil, postes dormentes, barcos e também vem sendo utilizada na fabricação de papel, no Brasil possui maior cultivo na região sul.

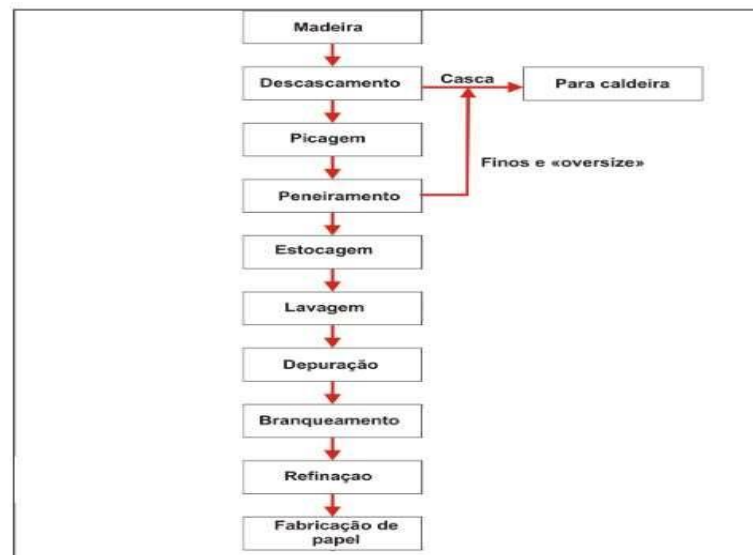
Já para Prange (2001), o *Pinus taeda* se adapta melhor a solos mais secos e arenosos, resistente a regiões de clima frio e suas rigorosas geadas anuais. Por ter apenas um pequeno teor de resina natural na madeira, o *Pinus taeda* passou a ser a melhor alternativa disponível utilizada nas indústrias de celulose e papéis.

Bortolan (2012), a madeira do *Pinus taeda* possui fibra longa, uma fibra de maior resistência, porém mais rústica que a fibra curta, necessita de mais refinação.

2.4 FABRICAÇÃO DE PASTA TERMOMECÂNICA

Segundo Andrioni (2006), para que a fabricação do papel tenha um grande desempenho quanto a qualidade e produtividade, é necessário um bom processo de fabricação e preparo de massa, no qual a massa será limpa no processo de depuração, e no processo de refinação o papel irá ganhar resistência mecânica. Abaixo um esqueleto do processo de fabricação da pasta termomecânica (Figura 2).

FIGURA 2 - MAPA DO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE TMP, FABRICA BO PAPER, ARAPOTI – PR.



FONTE: O Autor (2016).

O processo se inicia no corte das toras na floresta, a empresa solicita as dimensões de 3 metros de comprimento e de 8 a 40 centímetros de diâmetro, a madeira utilizada é *Pinus taeda* e *Eucalyptus grandis*, as toras são transportadas da floresta até o pátio de madeira, local onde ficam armazenadas por no máximo 3 dias. Depois, as toras são postas em um descascador de tambor que através do atrito entre toras as cascas são removidas.

As toras descascadas são direcionadas ao picador de faca que as transforma em cavacos, estes passam por peneiras de classificação, com a finalidade de selecionar os cavacos com tamanho mais homogêneo possível, que então seguem para armazenamento no silo de processo. Após a seleção, os cavacos que estão no

silo de processo são direcionados à lavagem retirando todas as impurezas, tais como areia e metais.

Então esses cavacos seguem para o processo de refinação, onde através do contato entre fibra com fibra e com o segmento ocorre o desprendimento das fibras, refinando-as assim.

Em seguida, entra no processo de depuração da TMP, que consiste na separação do aceite e do rejeito das fibras através de depuradores; no processo de refinação ocorre à formação de feixes de fibras que não foram totalmente refinadas, estes feixes são indesejáveis para a fabricação de papel, por isso torna-se necessário o processo de depuração.

Devido à presença de lignina e extrativos na fibra, a transformação destes agentes é feita através de agentes oxidantes tornando a TMP desejável para o consumo, com alvura requerida pela máquina de papel, conforme o tipo de papel que se deseja fabricar. Após a depuração, a TMP é branqueada e armazenada em torre de estocagem.

A pasta - agora branqueada - passa por mais uma etapa de refinação. Após essa fase, a TMP segue para o processo de fabricação de papel.

2.4.1 Pátio de madeira

O processo se inicia no corte das toras na floresta, a empresa solicita as dimensões de 3 metros de comprimento e de 8 a 40 centímetros de diâmetro, as toras são transportadas da floresta até o pátio de madeira.

Segundo Cardoso (2009), o pátio de madeiras é um local onde a madeira é recebida, pesada, medida, estocada e preparada para o abastecimento do processo de fabricação de pasta, e também suprimento de casca e cavaco para as caldeiras de força.

2.4.2 Descascador de tambor

Segundo Cardoso (2009) o descascador de tambor é o tipo mais utilizado. É um tambor giratório com ranhuras para permitir a saída de cascas. Tem os cilindros inclinados, e giram lentamente, o que produz impacto sobre as toras, ocasionando a remoção da casca (Figura 3).

FIGURA 3 - DESCASCADOR DE TAMBOR.



FONTE: PALLMAN. Descascador de toras de tambor. Disponível em: <<http://www.directindustry.com/pt/prod/pallmann-maschinenfabrik/product-63389-1565542.html>>.

2.4.3 Picagem

“O objetivo da picagem é reduzir toras a fragmentos (cavacos) [...]”. “O preparo de cavacos é uma operação importante, porque dela depende a qualidade final da pasta. Os cavacos danificados produzem pastas e papel de baixa qualidade. Antes dos picadores há um detector de metais para evitar a queda de material metálico no equipamento, o que, certamente, provocaria danos no mesmo. Um outro fator de grande importância é a uniformidade de cavacos quanto ao tamanho. Quando submetidos a um mesmo tratamento químico ou físico, os cavacos superdimensionados divergem em comportamento dos cavacos muito pequenos [...]”. (CARDOSO, 2009, p.14).

Ainda Cardoso (2009) diz que qualidade dos cavacos afeta diversos aspectos da produção da polpa, entre os quais podemos citar: quantidade de rejeitos, energia consumida pelo repicador e desgaste dos discos de refino, custos operacionais e qualidade da polpa.

2.4.4 Classificação de cavacos (peneiramento ou depuração)

Segundo Cardoso (2009), após a picagem os cavacos precisam ser classificados com o objetivo de separar o material aceito os cavacos superdimensionados ou muito finos. Essa separação ocorre através do movimento das peneiras de furos, tendo a separação por comprimento ou espessura. Os cavacos superdimensionados vão para a repicagem e os finos vão para queima na caldeira.

2.4.5 Refinação

Segundo Bortolan (2012) a refinação tem como objetivo o arrancamento das camadas externas da fibra, formando uma camada peluda em volta a sua superfície para que se ligue com outras fibras com maior facilidade. (Figura 4).

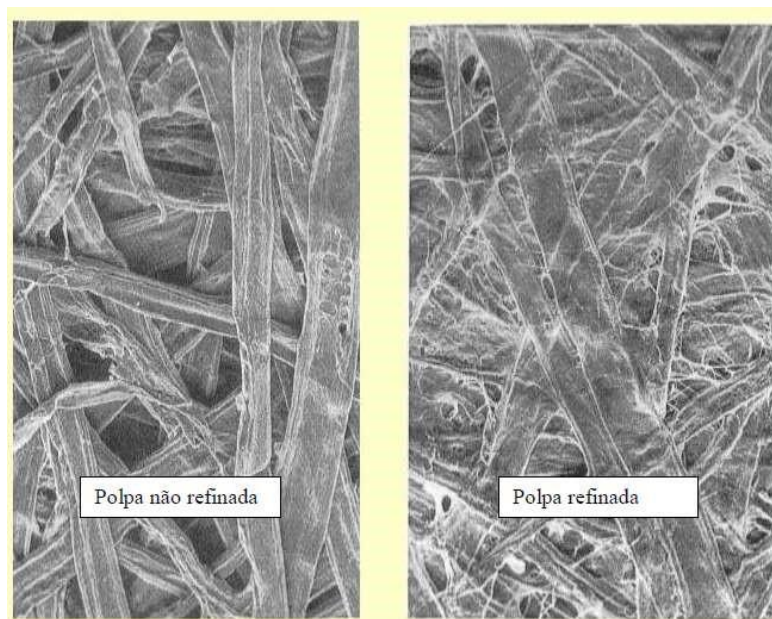
“A refinação é um tratamento mecânico, efetuado sobre a polpa, com fibras completamente separadas e que tem por finalidade promover mudanças na estrutura das fibras que compõem a polpa [...]”. (ANDRIONI, 2006, p.99).

Segundo Castro (2005) a refinação sem dúvida é uma das mais importantes e onerosas operações na produção de papel. Por isso é de extrema importância que seja mais eficiente possível.

Segundo Voith (2016), a refinação influencia nas características do produto final através da modificação do potencial de resistência das fibras. Isso ocorre pela alteração sistemática no espectro do seu comprimento, e com a seleção correta de matérias-primas, a refinação tem a maior influência sobre a qualidade da pasta, portanto, a refinação pode impactar diretamente na qualidade final do papel.

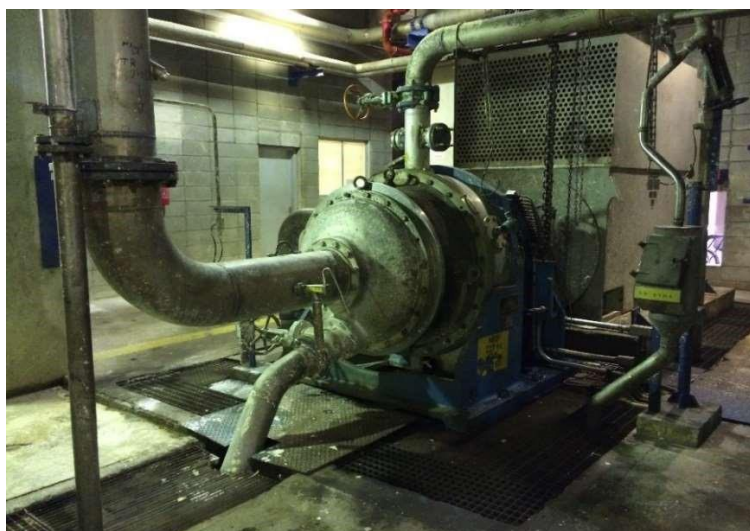
Na fabricação da polpa analisada neste presente trabalho, utilizou-se dos refinadores de discos (Figura 5). Cherubim et al (2014) define refinador de disco sendo refinadores dotados de dois discos, um rotativo que faz um movimento axial e outro disco fixo. Contendo áreas de refinação em ambas os lados. Esse refinador possui alto rendimento e características mecânicas excelentes. A alimentação do refinador ocorre pelo centro do disco fixo, e as vantagens desses refinadores são: menor espaço ocupado, menor custo operacional, menor tempo de parada para manutenção e menor consumo de energia.

FIGURA 4 –TMP REFINADA E TMP NÃO REFINADA VISTA EM MICROSCÓPIO.



FONTE: BORTOLAN, R. H. Estudo do efeito do tipo de celulose utilizada e da intensidade de refino no processo de refino da polpa celulósica. 2012. 57 f. Monografia (Especialização) - Curso de Tecnologia de Celulose e Papel, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012. p. 16.

FIGURA 5 - REFINADOR DE DISCO UTILIZADO PARA REFINAÇÃO FINAL DA TMP.



FONTE:O autor (2016).

Após o processo de refinação a pasta segue direto para o processo de fabricação do papel.

2.5 ANÁLISES LABORATORIAIS

2.5.1 Determinação de Resistência ao Rasgo

Segundo Cardoso (2009), rasgo é a propriedade físico-mecânica dada através de rompimento de um corpo, com força contrária em suas extremidades.

E segundo Cherubim et al (2014), após a refinação há um aumento na ligação das fibras com isso o índice de rasgo será maior, já que seu valor se dá através do entrelaçamento entre as fibras.

2.5.2 Determinação de Resistência a Tração

Segundo Cardoso (2009), tração é o método para determinar a resistência do papel quando se submete uma tira deste, de largura e comprimento especificada há um esforço de tração uniformemente crescente até sua ruptura. O resultado expresso é o valor da força que a tira de papel recebe até seu rompimento.

Segundo Cherubim et al (2014), o baixo valor de tração indicam a possibilidade de ruptura do papel quando se submetido a tensão exercida durante a impressão. Também a intensidade da refinação pode interferir nos resultados de tração.

2.1.3 Determinação de Resistência ao Estouro

Cherubim et al (2014), cita que estouro é a pressão hidráulica necessária para produzir o rompimento do material, quando se aplica uma pressão uniformemente crescente mediante um diafragma elástico de 30 e 48 mm de distância

3 METODOLOGIA

3.1 LOCAL DO ESTUDO

O presente estudo foi realizado na empresa B.O Paper, situada no município de Arapoti, localizada no estado do Paraná, região Sul do Brasil.

3.2 LEVANTAMENTO DOS DADOS

Os testes em laboratório foram realizados durante o período de 2 anos jan/2014 a dez/2016, conforme as programações de testes internos.

Foram analisados os resultados de 50 unidades amostrais para cada tratamento (1 e 2 estágios). Os resultados obtidos foram apresentados em tabelas, e comparados graficamente com as especificações exigidas pela empresa e exigidas conforme as normas: NBR NM ISO 1974, NBR 7150, NBR NM ISO 1924-1.

3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS

As amostras dos ensaios foram coletadas diretamente da saída do refinador (Figura 6).

FIGURA 6 - LOCAL DA COLETA DA PASTA.



FONTE: O autor (2016).

Após a coleta da pasta, as amostras foram levadas diretamente ao laboratório, onde foram formadas folhas dessa mesma amostra.

3.3.1 Formação de Folhas em Laboratório

A presente análise foi realizada de acordo com a norma NBR ISO 5269-1 que descreve o procedimento de como o teste deverá ser realizado.

- Após a amostra chegar no laboratório é feita a diluição da mesma, de 200 ml da amostra em 1000 ml de água destilada.
- Com a amostra já diluída, é necessário realizar o seguinte cálculo para obter a quantidade de amostra necessária para formar a folha em laboratório:

$$300 / \text{CSD}\% = \text{quantidade de ml para realizar o teste.}$$

Onde: CSD% = Consistência da diluição em porcentagem.

Depois de feito o cálculo, seguiram-se os seguintes passos:

- O valor de ml de amostra obtido através do cálculo é medido em um copo graduado e completado com água até 1000 ml;
- Após isso, deposita-se a amostra no formador de folhas Regmed FFA 2000 (Figura 7), seu funcionamento é automático, de forma que toda água é sugada pelo vácuo do equipamento que forma uniformemente uma folha;

FIGURA 7- EQUIPAMENTO FORMADOR DE FOLHAS EM LABORATÓRIO.



FONTE: O autor (2016).

Após as folhas formadas, inseriu-se a mesma em um dos dois secadores no próprio formador como mostra a Figura 5, e deixado secar por aproximadamente 20 minutos.

As folhas formadas no Regmed FFA 2000 (Figura 7) tem área de 317 cm³, que após prontas seguem para a realização dos testes de rasgo, estouro e tração.

3.3.2 Determinação de Resistência ao Rasgo

Para realização desta análise seguem-se os parâmetros da norma NBR NM ISO 1974:

- Na execução do ensaio foram utilizadas duas folhas formadas em laboratório no formador Regmed FFA 2000 (Figura 7), com área de 317 cm³;
- Após a folha pronta é necessário que fique por 20 minutos em estufa com temperatura de 20°C para secagem, para evitar que a umidade interfira no resultado do teste;
- Assim que a secagem está pronta, a folha segue diretamente para o
- teste;
- Corta-se as duas folhas no meio, obtendo assim 4 corpos de prova, que são depositados no equipamento;
- O teste foi realizado no equipamento Módulo Autoline (L&W) 300 (Figura 8) de forma automática. Expressando assim a média dos quatro corpos de prova o resultado é dado em mN*m²/g e enviado automaticamente para tabelas no excel.

3.3.3 Determinação de Resistência a Tração

Para realização deste presente teste, seguiu-se como padrão a norma NBR NM ISO 1924-1 que descreve o procedimento de como o teste deverá ser realizado.

- Na execução do ensaio foram utilizadas duas folhas formadas em laboratório no formador Regmed FFA 2000 (Figura 7), com área de 317 cm³;
- Já com a folha depois do processo de secagem, foram cortados em uma guilhotina quatro corpos de prova da mesma folha em qualquer sentido (longitudinal ou transversal) com largura de 15 mm e comprimento de 313 mm;

- Utilizou-se o equipamento Módulo Autoline (L&W) (Figura 8). O equipamento faz a análise de forma automática, gerando uma força uniformemente crescente até a sua ruptura da folha. Expressando assim a média dos quatro corpos de prova, o resultado é dado em kN/m e enviado automaticamente para tabelas no excel.

3.3.4 Determinação de Resistência ao Estouro

A realização desta presente análise tem como base a norma NBR 7150 que descreve o procedimento de como o teste deverá ser realizado.

- Na execução do ensaio foram utilizadas duas folhas formadas em laboratório no formador Regmed FFA 2000 (Figura 7), com área de 317 cm³;
- Após a folha já pronta e passada pelo processo de secagem, são cortadas no meio, obtendo também 4 corpos de prova;
- Feito isso, a folha é inserida no equipamento que realiza o teste de forma automática, produzindo uma pressão hidráulica até que a folha venha a se romper. Expressando assim a média dos quatro corpos de prova, o resultado é dado em kPa*m²/g e enviado automaticamente para tabelas no excel.

FIGURA 8 - EQUIPAMENTO AUTOLINE (L&W) 300 QUE REALIZA OS TESTES EM LABORATÓRIO.



FONTE: O Autor (2016).

3.4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

3.4.1 Resultados de rasgo

Na Tabela 1 são apresentados os resultados referentes à resistência ao rasgo.

TABELA 1 - RESULTADOS DOS TESTES DE RESISTÊNCIA AO RASGO ENTRE 1 E 2 ESTÁGIOS E METAS EXIGIDAS.

Categoria	Valores	Tratamento (mN*m ² /g)	
		1 estágio	2 estágios
Experimento	Mínima	3,90	4,85
	Média	4,17	5,31
	Máxima	4,41	5,78
	Desvio Padrão	0,12	0,25
Especificação (empresa)	Mínimo		3,80
	Máximo		5,60
	Tolerância (+/-)		0,20

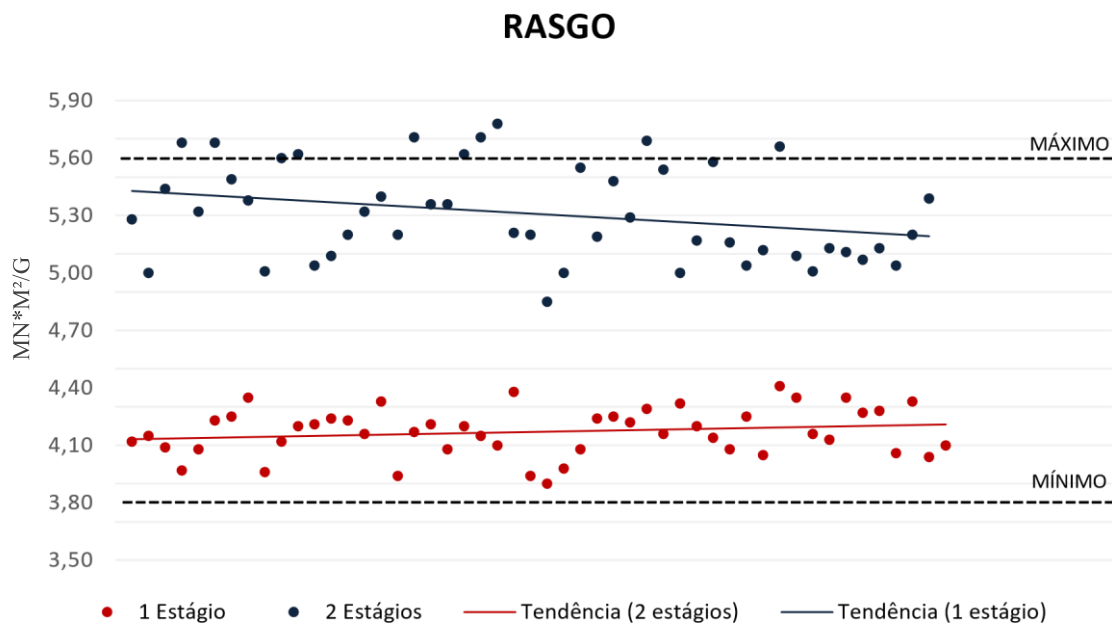
FONTE: O autor (2018).

Ao analisar a Tabela 1 nota-se que TMP com dois estágios de refinação apresentou valores maiores de resistência que a pasta com apenas um estágio de refinação. Segundo Bortolan (2012), isso acontece devido ao maior arrepiamento das fibras, que formam uma camada peluda em volta da sua superfície fibrosa, facilitando a ligação de uma fibra com outras.

Quanto a TMP com 1 estágio de refinação, apesar de valores mais baixos, é válido observar que não obteve-se nenhum valor fora da meta mínima exigida pela empresa. Isso mostra um bom resultado, já que o custo de produção para a TMP com um estágio de refinação é mais baixo. Segundo Cherubim et al (2014) o uso de muitos refinadores aumenta o consumo de energia elétrica impactando no custo de produção da TMP. Afirma ainda Cherubim et al (2014) que o uso de apenas um refinador apesar de baixo custo de produção, em casos de produções em largas escalas, seu uso tornase inviável devido a exigência colocada sobre o equipamento, que trabalha com uma pressão específica muito alta, podendo gerar custos elevados de manutenção.

A diferença entre os resultados das análises laboratoriais da Tabela 1 foram ilustrados no Gráfico 1.

GRÁFICO 1 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE RESISTÊNCIA AO RASGO DE TMP COM 1 E 2 ESTÁGIOS DE REFINAÇÃO



FONTE: o autor (2018).

Segundo Cherubim et al (2014) a resistência ao rasgo é uma das características que mais deve-se levar em consideração no processo de fabricação da TMP, pois impacta diretamente no processo de impressão gráfica do papel, que passa por altas temperaturas e atritos ao entrarem em contato com os cilindros de impressão.

Apesar dos resultados dos do tratamento com um estágio de refinação ter apresentado valores maiores, observa-se pela linha de tendência a uma queda de valores. Isso acontece pelo excesso refinação. Que segundo Bortolan (2012) o excesso de refinação pode causar a quebra das fibras, gerando finos. Esse finos dificultam a ligação entre as fibras. Que por consequente tem como tendência a queda dos valores de resistência.

3.4.2 Resultados de Tração

Os testes de resultado a tração entre 1 e 2 estágios foram dispostos na Tabela 2.

TABELA 2 - RESULTADOS DOS TESTES DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO ENTRE 1 E 2 ESTÁGIOS E METAS EXIGIDAS.

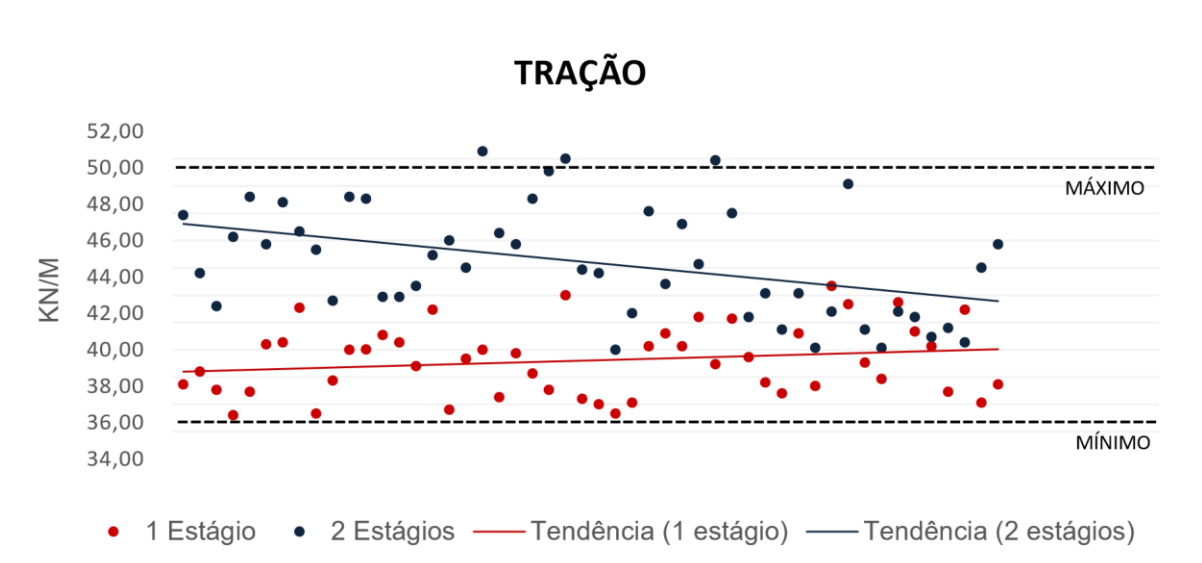
Categoria	Valores	Tratamento (kN/m)	
		1 estágio	2 estágios
Experimento	Mínima	36,40	40,00
	Média	39,42	44,80
	Máxima	43,50	50,90
	Desvio Padrão	1,91	3,02
Especificação (empresa)	Mínimo	36,00	
	Máximo	50,00	
	Tolerância (+/-)	2,00	

FONTE: O autor (2018).

Ao analisar a Tabela 2, observa-se que a TMP com 2 estágios de refinação apresentou um maior desvio padrão. Como a pasta passa por dois refinadores diferentes, afirma Barboza (2010) que esse desvio ocorre devido a diferença de pressão que os refinadores trabalham, pelo desgaste dos discos, e pelo estresse causado a fibra devido a mudança intensa na sua estrutura.

Abaixo temos a representação gráfica (Gráfico 2) de alguns dos resultados das análises de tração entre um e dois estágios de refinação feitos em laboratório.

GRÁFICO 2 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE RESISTÊNCIA A TRAÇÃO DE TMP COM 1 E 2 ESTÁGIOS DE REFINAÇÃO.



FONTE: O autor (2018).

Observa-se que os valores de resistência à tração estão menos uniformes que os valores de resistência ao rasgo. Isso acontece pelo excesso de refinação, pois a resistência ao rasgo cresce à medida que a fibra é mais refinada.

Observa-se também assim como no Gráfico 1, a linha de tendência apresentando uma queda no primeiro estágio devido a quantidade de finos.

3.4.3 Resultados de estouro

Quanto aos resultados obtidos da resistência ao estouro, verifica-se na Tabela 3 que se obteve os mesmos padrões de resultados das análises anteriores. A TMP com dois estágios apresentou melhores resultados que a com apenas um estágio.

TABELA 3 - RESULTADOS DOS TESTES DE RESISTÊNCIA AO ESTOURO ENTRE 1 E 2 ESTÁGIOS E METAS EXIGIDAS.

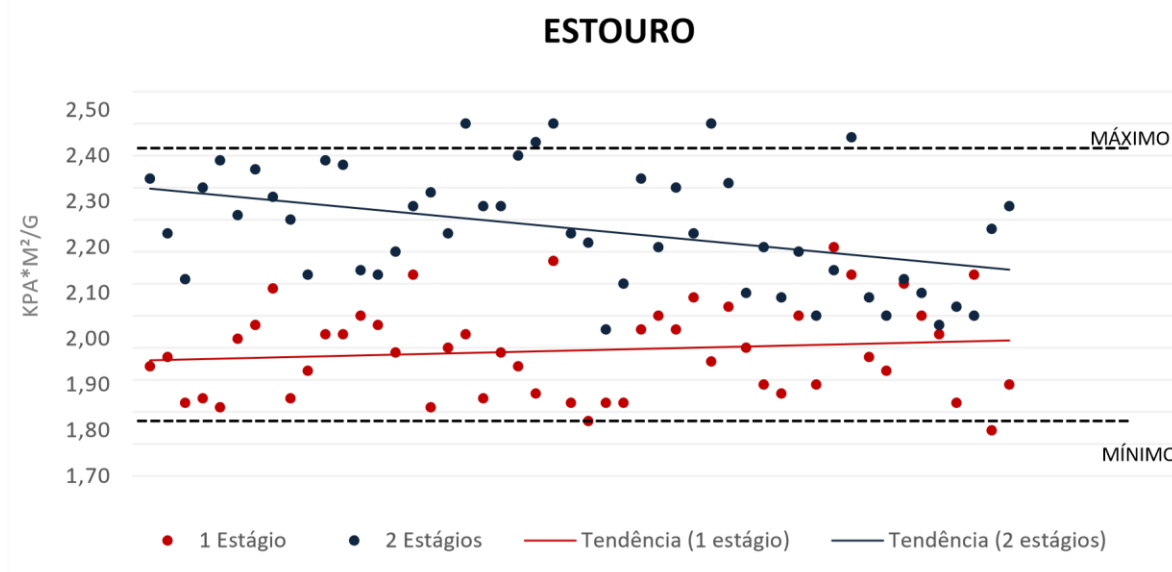
Categoria	Valores	Tratamento (kPa*m ² /g)	
		1 estágio	2 estágios
Experimento	Mínima	1,80	2,02
	Média	1,97	2,24
	Máxima	2,20	2,47
	Desvio Padrão	0,10	0,13
Especificação (empresa)	Mínimo		1,80
	Máximo		2,40
	Tolerância (+/-)		0,20

FONTE: O autor (2018).

No Gráfico 3 em representação de dispersão, nota-se que nenhuma das pastas apresentou resultados abaixo da meta mínima. Porém, a TMP com dois estágios apresentou valores que se sobrepuseram a especificação máxima.

A especificação máxima existe para que a empresa não fabrique produtos com excesso de qualidade. Juran (1991) explica que o excesso de qualidade é ruim para a economia da empresa, pois acaba por receber um preço inferior ao que o produto realmente representa. Porém, o fato de alguns poucos valores obtidos terem ultrapassado a meta máxima, eles não interferem na economia da empresa, pois são muito poucos que ultrapassaram essas especificações.

GRÁFICO 3 - GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES DE RESISTÊNCIA AO ESTOURO DE TMP COM 1 E 2 ESTÁGIOS DE REFINAÇÃO.



FONTE: O autor (2018).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das análises laboratoriais foram obtidos os resultados de rasgo tração e estouro para a comparação entre as pastas termomecânicas com um e dois estágios de refinação.

A pasta termomecânica com 1 estágio de refinação obteve todos seus resultados dentro da especificação, alguns bem próximos da especificação mínima, mas ainda assim não abaixo do especificado, garantindo assim resultados dentro dos padrões mínimos de qualidade.

Quanto aos resultados da pasta termomecânica com 2 estágios de refinação, observou-se melhores resultados, tendo alguns superado a especificação máxima de qualidade.

Portanto, conclui-se que a pasta termomecânica com 2 estágios de refinação tem maior resistência mecânica que a pasta com apenas 1 estágio de refinação, isso acontece devido ao maior arrefiamento das fibras, que formam uma camada fibrilada em volta da sua superfície fibrosa, facilitando a ligação de uma fibra com outras.

REFERÊNCIAS

- ANDRIONI, J. L. **Fabricação de Papel** – Preparo de massa: Os fatores que influenciam na refinação. Curitiba, 2006. 251 p.
- B.O. PAPER BRASIL INDÚSTRIA DE PAPEL, **Consistência**. QMA-085-3, 2016. 7 p.
- B.O. PAPER BRASIL INDÚSTRIA DE PAPEL, **Determinação de Resistência ao Rasgo**. QMA-047-4, 2015. 9 p.
- B.O. PAPER BRASIL INDÚSTRIA DE PAPEL, **Determinação de Resistência ao Estouro**. QMA-028-3, 2015. 5 p.
- B.O. PAPER BRASIL INDÚSTRIA DE PAPEL, **Determinação de Resistência à Tração**. QMA-029-3, 2015. 5 p.
- B.O. PAPER BRASIL INDÚSTRIA DE PAPEL, **Formação de Folhas em Laboratório**. QMA-016-2, 2011. 6 p.
- BARBOZA, F.R. **A Influência da Mistura de Cavacos de Pinus e de Eucalyptus na Produção de Pasta Termomecânica** – Universidade federal de viçosa, Minas Gerais, 2010. 93 p.
- BORTOLAN, R. H. **Estudo do efeito do tipo de celulose utilizada e da intensidade de refino no processo de refino da polpa celulósica**. 2012. 57 f. Monografia (Especialização) - Curso de Tecnologia de Celulose e Papel, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012.
- CARDOSO, G. da Silva. 2ª edição. **Fabricação de Celulose** – Curitiba, 2009. 350 p.
- CASTRO, D. E. **Conceitos Fundamentais de Refinação** – Techmelt, 2005. 123 p.
- CHERUBIN, J. M. (Coord.) et al. Papel. **Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial** São Paulo. SENAI – SP, 2014. 81 p.

JURAN, M. L. **Controle de Qualidade** - Conceitos, Políticas e Filosofia da Qualidade. São Paulo, 1991. 433 p.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F. PONCE, R. H.; **A cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo. Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005. 128 p.

LORENZI, H. et al. **Arvores exóticas no Brasil: madeiras ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003. 368p.

MOSCA, Y. **Avaliação da qualidade da madeira de três clones Eucalyptus, aos cinco anos de idade**. 2010. 39 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PALLMAN. **Descascador de toras de tambor**. Disponível em: <<http://www.directindustry.com/pt/prod/pallmann-maschinenfabrik/product-633891565542.html>>. Acesso em 18 jun. 2016.

Papermaking. Disponível em: <<http://www.absolutechinatours.com/chinatavel/paper-making-China-ancient-inventions.html>>. Acesso em 18 de jun. 2016.

PRANGER. W. P. **Baixo teor de resinas contribuiu para avanço do Pinus taeda**. 2001. Disponível em http://www.sbs.org.br/memorias_baixoteor.htm. Acesso em 03 de out. 2016.

STORA ENSO ARAPOTI INDÚSTRIA DE PAPEL S. A. **Manual de treinamento de operador de sala de fibras e utilidades**. Ed. 01 [2015]. 48 p.

STORA ENSO ARAPOTI INDÚSTRIA DE PAPEL S. A. **Manual de Treinamento de Analista de Laboratório**. Ed. 01 [2014]. 49 p.

VOITH. Refinação: **Influenciar de Modo Direcionado a Qualidade do Material**. Disponível em: <<http://voith.com/br/produtos-e-servicos/tecnologia-de-fabricacao>>

depapel/secao/wet-end-process/refinacao-10536.html?page=1>. Acesso em 09 de jun. 2016.