



CARLOS KAUAN MIRANDA MATOS

**APLICAÇÃO DE RESINA DE RESISTÊNCIA ÚMIDA NO
PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PAPEL *TISSUE***

São Luís
2022

CARLOS KAUAN MIRANDA MATOS

**APLICAÇÃO DE RESINA DE RESISTÊNCIA ÚMIDA NO
PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO PAPEL *TISSUE***

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado de Curso da Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Jaiver Efren Jaimes Figueroa

São Luís
2022

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Matos, Carlos Kauan Miranda.

Aplicação de resina de resistência úmida no processo de fabricação do papel tissue / Carlos Kauan Miranda Matos. - 2022.

48 f.

Orientador(a): Jaiver Efren Jaimes Figueroa.

Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

1. Especificação. 2. Insumo. 3. Tissue. I. Figueroa, Jaiver Efren Jaimes. II. Título.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. JAIVER EFREN JAIMES FIGUEROA
Orientador – DEEQ/CCET/UFMA

Prof. Dr. DOMINGOS SERGIO ARAUJO SILVA
DEEQ/CCET/UFMA

Prof. Dr. JHONY TIAGO TELEKEN
DEEQ/CCET/UFMA

26 de julho de 2022

DADOS CURRICULARES**Nome completo do autor**

NASCIMENTO 20/04/1998 – SÍTIO-NOVO / MA

FILIAÇÃO José Orlando Moura Matos
Marinalva Rodrigues Miranda

2017/2022 Curso de Graduação
Engenharia Química - Universidade Federal do Maranhão

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e amigos, que sempre estiveram comigo durante esses anos de universidade.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Marinalva e José Orlando, que sempre estiveram ao meu lado e me apoiaram durante toda minha vida e trajetória acadêmica.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Jaiver Efren James Figueroa, pelo incentivo, orientação e auxílio durante a elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Domingos Sergio Araujo Silva e ao Prof. Dr. Jhony Tiago Teleken por aceitarem o convite para participar da avaliação deste trabalho.

Às minhas amigas da vida, Letícia Freitas e Myrella Vale por todo carinho e apoio em todos os momentos da minha vida.

Aos meus amigos da universidade que estiveram presentes nos momentos alegres e tristes, onde pude fazer memórias incríveis que levarei para vida toda, em especial às minhas amigas Anny, Bárbara e Milena.

Aos meus amigos de empresa pelos momentos de descontração e aprendizado, em especial ao time da Fabricação: Andrey Rawietsch, Jackson Vargas e Lucas Barbosa pela paciência em me ensinar e orientar durante meu estágio.

À Suzano S. A., em particular ao gerente Eduardo Sartori, pela cessão das ferramentas e experiência para o desenvolvimento deste projeto.

“O amanhã pertence àqueles que podem ouvi-lo chegando.”

David Bowie

MATOS, C. K. M. **Aplicação de Resina de Resistência Úmida na Fabricação de Papel *Tissue***. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

RESUMO

O papel, em suas diversas formas, tornou-se um dos produtos mais consumidos no mundo. Nessa ideia, o Brasil é um produtor chave no mercado, sendo capaz de não somente abastecer o mercado doméstico, mas também países da América Latina, União Europeia e América do Norte, onde quase 5% de toda produção está voltada para papéis de fins sanitários, o papel *tissue*. Nesse sentido, um fator essencial para o papel sanitário é sua capacidade de resistência à tração úmida, onde agentes químicos são adicionados à massa do papel para conferir essa característica à folha. Neste contexto, visto a importância do controle desse parâmetro, foi avaliado no setor Fabricação *Tissue* na fábrica Suzano S.A. – Unidade Imperatriz (MA), a eficácia da resina de resistência a úmido, a Resina B, através de teste industrial. O trabalho foi dividido em três momentos principais: a dosagem da resina no tanque de mistura da máquina, seguido de coleta de amostras de papel de 14,2 g/cm² para testes físicos e o estudo das análises do processo para verificar a efetividade do produto na garantia do parâmetro de resistência úmida sem alterações drásticas no andamento do processo. Foram realizadas 37 análises para resistência úmida do papel, apenas 5 ficaram fora dos limites de especificação de qualidade de 4 e 6 N/m, sobretudo devido ao tempo necessário para saturação do sistema. No mais, com a geração nula de refugo e o mantimento de estabilidade de máquina, pôde-se garantir a ação efetiva do produto, seguindo para homologação como insumo reserva e a possibilidade de continuidade de aplicação na fabricação do produto; sendo a dosagem recomendada de 0,71 kg/ton, obtendo-se um papel *tissue* com as características necessárias de resistência úmida.

Palavras-chave: *Tissue*. Insumo. Especificação.

MATOS, C. K. M. **Application of Wet Strength Resin in Tissue Paper Making**. 2022. Graduate Work (Graduate in Chemical Engineering) – Curso de Engenharia do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2022.

ABSTRACT

Paper, in its various forms, has become one of the most consumed products in the world. In this idea, Brazil is a key producer in the market, being able to not only supply the domestic market, but also countries in Latin America, the European Union and North America, where almost 5% of all production is focused on sanitary papers, known as tissue paper. In this sense, an essential factor for the sanitary paper is its capacity of resistance to wet traction, where chemical agents are added to the paper mass to confer this characteristic to the sheet. In this context, given the importance of controlling this parameter, the efficacy of the wet strength resin, Resin B, was evaluated in the Tissue manufacturing sector at the Suzano S.A. factory in Imperatriz - MA, through industrial testing. The study was divided into three main moments: the dosage of Resin B in the system, followed by the collection of paper samples of 14.2 g/cm² for physical tests and the study of process analyses to verify the effectiveness of the product in ensuring the wet strength parameter without drastic changes in the progress of the process. 37 analyses were performed for wet paper resistance, only 5 were outside the quality specification limits of 4 and 6 N/m, mainly due to the time required for system saturation. In addition, with the null generation of scrap and the maintaining of machine stability, it was possible to guarantee the effective action of the product, following for homologation as reserve supply and the possibility of the continuity of application in the manufacture of the product; being 0.71 kg/ton the recommended dosage to obtain a tissue paper with the necessary characteristics of wet strength.

Keywords: Tissue. Supply. Specification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desagregador de fibras Intensa Pulper (Voith).....	04
Figura 2 – a) fibras sem refinação. b) fibras com refino à 45 °SR	05
Figura 3 – Esquema da máquina de papel do tipo crescente former	07
Figura 4 – Bobinas em armazenamento.....	09
Figura 5 – Micrômetro.....	10
Figura 6 – Dinamômetro	12
Figura 7 – Tanque de mistura	14
Figura 8 – Sistema de contêineres e aplicação da Resina B.....	17
Figura 9 – Comportamento de dosagem de Resina B	18
Figura 10 – Carta de controle de Tração Transversal Úmida.....	20
Figura 11 – Análise de capacidade de controle de resistência úmida	21
Figura 12 – pH Caixa de Entrada	23

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites de Resistência Úmida para papel de 14,2 g/m ²	19
Tabela 2 – Demanda iônica na caixa de entrada	24
Tabela 3 – °Schopper para refinadores em paralelo	25
Tabela 4 – °Schopper para refinadores em paralelo antes do teste	25
Tabela 5 – Custo total.....	26
Tabela 6 – Propriedades das resinas	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UF	Ureia-formaldeído
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
MF	Melamina-formaldeído
PAE	Poliamida-epicloridrina
PFI	Paper and Fibre Reserch Institute (Instituto de Pesquisa de Papel e Fibra)

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	escala de temperatura graus Celsius
Eq	equivalente
g	gramas
kg	quilograma
L	litros
m	metro
mm	milímetro
N	unidade de força Newton
°SR	grau Schopper-Riegler
ton	toneladas
μ	micro

SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA.....	ii
FOLHA DE APROVAÇÃO.....	iii
DADOS CURRICULARES.....	iv
DEDICATÓRIA.....	v
AGRADECIMENTOS.....	vi
EPÍGRAFE.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	xii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xiii
SUMÁRIO.....	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 OBJETIVOS.....	02
2.1 Objetivos gerais.....	02
2.2 Objetivos específicos.....	02
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	03
3.1 Processo de fabricação de papel <i>tissue</i>	03
3.1.1 Preparo de massa.....	03
3.1.1.1 Desagregação.....	03
3.1.1.2 Refinação.....	04
3.1.1.3 Depuração.....	05
3.1.1.4 Aditivos.....	06
3.1.2 Máquina de papel <i>tissue</i>.....	06
3.1.2.1 Formação.....	07
3.1.2.2 Prensagem.....	07
3.1.2.3 Secagem.....	08
3.1.2.4 Enroladeira.....	08
3.2 Propriedades do papel.....	09
3.2.1 Gramatura.....	09

3.2.2	Espessura.....	09
3.2.3	Maciez.....	10
3.2.4	Umidade.....	10
3.2.5	Alongamento.....	11
3.2.6	Volume específico.....	11
3.2.7	Resistências a seco e úmida.....	11
3.3	Resinas para resistência úmida.....	12
3.3.1	Resinas à base de ureia-formaldeído.....	13
3.3.2	Resinas melamínica ou melamina formaldeído.....	13
3.3.3	Resinas de poliamida-epicloridrina.....	14
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	15
4.1	Material.....	15
4.1.1	Amostras.....	15
4.1.2	Químico.....	15
4.2	Local da pesquisa.....	15
4.3	Instrumentos/Equipamentos/Softwares utilizados.....	15
4.3.1	Equipamentos utilizados.....	15
4.3.2	Softwares.....	15
4.4	Análises, métodos e procedimentos experimentais.....	16
4.4.1	Análises.....	16
4.4.1.1	Análises de monitoramento.....	16
4.4.2	Métodos.....	16
4.4.2.1	Dosagem de químico no sistema.....	16
4.4.2.2	Coleta de amostras e teste de resistência a tração úmida.....	17
4.4.2.3	Estudo das análises de processo.....	17
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
5.1	Dosagem de resina.....	18
5.2	Teste de resistência úmida.....	19
5.3	Análises de monitoramento.....	22
5.3.1	Controle de pH.....	22
5.3.2	Demanda iônica.....	23
5.3.3	°Schopper.....	24
5.4	Análise de custo.....	26

6	CONCLUSÃO.....	28
	REFERÊNCIAS.....	29

1 INTRODUÇÃO

O papel, em suas diversas formas, tornou-se um dos produtos mais consumidos no mundo. Nesse cenário, o mesmo toma parte fundamental da história e evolução da humanidade no que tange à educação e comunicação, bem como outras finalidades como uso em embalagens no ramo farmacêutico e alimentício, com fins sanitários e domésticos, entre outros.

Nesse contexto, o Brasil é um produtor chave no mercado mundial de papel, sendo capaz de não somente abastecer o mercado doméstico, mas também dos países da América Latina, União Europeia e América do Norte (IBA, 2020). Em números, 80% da produção é consumida no mercado interno, com o país ocupando a oitava posição no ranking dos maiores exportadores mundiais, sendo as maiores produções destinadas à produção de papéis de impressão (21,7%), *tissue* (3,7%) e papel cartão (2,6%) (PADOVANI; FERREIRA, 2020).

Nesse contexto, e considerando a posição do Brasil no mercado mundial de papel tipo *tissue*, ter conhecimento e controle de variáveis, através da busca contínua de melhoria e aperfeiçoamento do processo de fabricação do papel, são imprescindíveis para as indústrias na estabilização de suas marcas no mercado, principalmente devido ao constante aumento de demanda do setor ligado a higiene pessoal, principalmente durante e após o período de pandemia – ocasionando uma alta de 16,5% no segmento no ano de 2019 (TISSUEONLINE, 2020) e em 21% somente no primeiro trimestre de 2022 (TISSUEONLINE, 2022) .

Assim, durante o processo de fabricação do papel *tissue*, existem diversos parâmetros que devem ser controlados e constantemente monitorados, sendo eles responsáveis pela qualidade do papel e excelência do produto nas gôndolas dos pontos de venda. Pode-se destacar entre esses parâmetros: a qualidade da celulose, dosagem de químicos, controle operacional, bem como variáveis do papel em si, como gramatura, umidade, espessura, cor e resistência (VERAS FILHO, 2018).

Nesse sentido, um fator essencial para o papel sanitário é sua capacidade de resistência à tração úmida, que segundo a norma NBR 15010 (2017) é a força máxima de tração por unidade de largura que o papel consegue suportar antes de se romper. O aumento da umidade do papel resulta em uma nova hidratação de fibras de celulose e queda de 95% da resistência. Assim, agentes químicos são adicionados à massa do papel para conferir, após seco e curado, resistência úmida que pode atingir até 35% da resistência a seco. Esses agentes são, usualmente, resinas poliméricas de poliamida-amina epicloridrina (CAMPOS, 2012).

2 OBJETIVOS

No contexto da importância da resistência úmida, foram conduzidos estudos na unidade industrial da Suzano S.A., localizada no município de Imperatriz, buscando avaliar os impactos de uma possível substituição total dos químicos atualmente empregados no processo de melhoria da resistência úmida, chamada de Resina A para fins deste trabalho, por um outro produto denominado Resina B, diminuindo a dependência dos produtos atualmente utilizados, bem como de possíveis problemas oriundos da sua falta ou desabastecimento. A proposta de utilização desse produto foi realizada uma vez que o mesmo apresentou eficácia no processo em outras unidades da empresa.

O estudo do processo de substituição buscava avaliar as especificações de qualidade exigida das bobinas de papel *tissue* (semiacabado), e o impacto que o mesmo terá na estabilidade da máquina de papel, evitando possíveis perdas de produção, bem como manter a resistência transversal úmida dentro do limite ideal.

2.1 Objetivo geral

Avaliar, no setor de Fabricação *Tissue*, da empresa Suzano S.A. – Unidade Imperatriz (MA), a eficácia da resina de resistência a úmido, Resina B, através de teste industrial.

2.1 Objetivos específicos

- I. Realizar, em laboratório, testes físicos dos parâmetros de resistência a cada retirada das bobinas de papel *tissue*;
- II. Criar um histórico de dados de resistência úmida obtidos em laboratório;
- III. Avaliar o método de obtenção de resistência úmida do papel *tissue*, bem como a variação desse parâmetro durante a fabricação;
- IV. Ajustar a dosagem de Resina B visando o cumprimento da propriedade resistência úmida definida para o processo através de adequações no sistema de controle de vazão da bomba dosadora.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Processo de fabricação do papel *tissue*

O processo de fabricação de papel, de maneira geral, é a transformação de celulose juntamente com aditivos, que através de um desaguamento contínuo na máquina com prensas de sucção e sistema de aquecimento, forma uma folha; obtendo-se o chamado produto semiacabado (NOBRE, 2018).

Ainda sobre o processo, os aditivos químicos são de extrema importância para obtenção de características do papel que são essenciais não somente na determinação da qualidade, mas como também no valor do produto acabado para o consumidor. Além disso, químicos para tratamentos bactericidas e redução de formação de espuma são de grande interesse para evitar o desenvolvimento de depósitos na máquina e manter a limpeza de tubulações e reservatórios, assim evitando problemas operacionais por sujeira (CAMPOS, 2012).

A seguir são apresentadas as etapas de fabricação do papel do *tissue*.

3.1.1 Preparo de massa

A preparação consta das etapas a seguir:

3.1.1.1 Desagregação

A etapa de desagregação é a primeira no preparo da massa que entrará na máquina. Nela, é realizada uma ação mecânica com adição de água em fardos de aparas, que consistem em papéis recuperados para retrabalho, ou material refugado da própria máquina de papel. Assim, é gerado uma pasta celulósica que consiste na matéria-prima essencial do papel. Em casos de fábricas integradas com produção de celulose, a massa é proveniente de fibras virgens extraídas da madeira por processo químico (NOBRE, 2018).

O equipamento responsável pela desagregação é o hidrapulper, ou somente pulper (Figura 1). Em relação a sua estrutura, o pulper é um grande tanque de aço contendo um rotor com hélices, responsável por gerar turbulência de modo a manter as fibras em suspensão homogênea dentro do tanque. No mais, seu formato depende do volume e da consistência da massa produzida para atender as necessidades do processo (CAMPOS, 2012).

O pulper é alimentado por meio de esteiras que transportam aparas, refugo ou fardos de celulose seca (fibras virgens). A água pode ser tanto industrial tratada como proveniente do circuito fechado do processo.

Figura 1 – Desagregador de fibras Intensa Pulper (Voith)



Fonte: <https://voith.com/jpn-en/450.htm>

3.1.1.2 Refinação

As fibras da massa de celulose em seu estado natural não são capazes de formar uma matriz para formação da folha devido à falta de área superficial de contato. Dessa forma, um processo para transformar fisicamente essas fibras é necessário para promover a formação de fortes ligações intermoleculares, resultando em uma resistência à tração para não ocorrer a quebra da folha durante a formação dela. A esse processo é dado o nome de refinação (SCHNESE, 2019).

Segundo Campos (2012), uma adequada refinação é essencial para a adequação a baixos valores de gramatura, característica primordial dos papeis *tissue*. Além disso, é esperado a condição de homogeneidade do grau de refino para que aconteça uma boa formação da folha, garantindo o bom aspecto do produto.

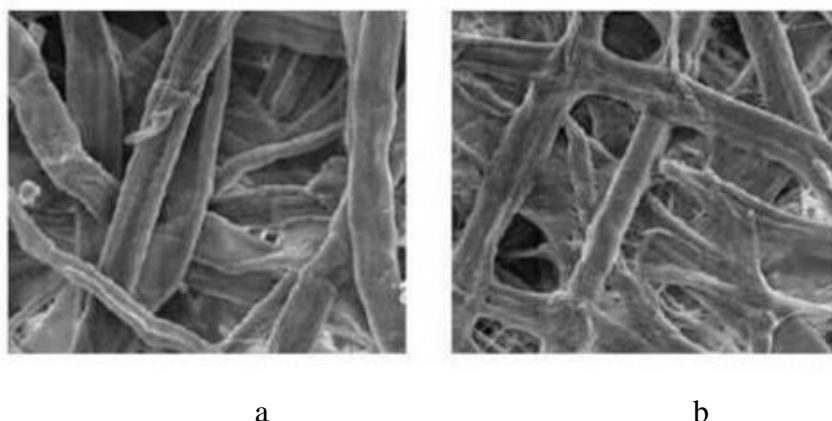
O principal efeito da refinação é o aumento da área superficial das fibras que resulta em uma maior área de contato entre elas e, conseqüentemente, as ligações de hidrogênios. Dessa forma, é garantido alta resistência à folha. Esse aumento de área superficial se dá pela aplicação de forças sobre a superfície da fibra por meio da ação mecânica dos discos internos dos refinadores que fornecem energia necessária para promover modificações na estrutura da fibra (PUBLIO, 2012).

Assim, o refino causa o “arrancamento” das camadas externas da fibra e as

microfibrilas formadas nesse processo dão origem a uma camada peluda que favorecem a formação de ligações com fibras vizinhas (BORTOLAN, 2012).

Na Figura 2 é explicitada a diferença entre a massa não refinada na esquerda e as fibras após o refinamento em moinho padrão do PFI - *Paper and Fibre Research Institute* (Instituto de Pesquisa de Papel e Fibra) à 45 °SR ampliada em 1000 vezes por meio de uma microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Figura 2 – a) fibras sem refinação. b) fibras com refino à 45 °SR



Fonte: Yasumura et al., (2004)

Por fim, o aprimoramento desse processo acarreta vantagens de rendimento de todo o processo. Assim, entende-se como um bom material fibroso aquele que assegura a obtenção de um produto com as características desejadas sem comprometer o bom andamento da máquina (TISSUE ONLINE, 2020).

3.1.1.3 Depuração

A depuração é o processo responsável pela eliminação de partículas estranhas que está entre as fibras. Essas impurezas podem ser provenientes do uso de fibra reciclada, excesso de químicos, sujeira em equipamentos e tubulações, água industrial, entre outros. Assim, a importância da depuração no processo de fabricação como um todo está em função do tipo de papel, sendo o *tissue* o que requer maiores exigências (CAMPOS, 2012).

Ainda nesse contexto, a depuração é feita em equipamentos conhecidos como depuradores que são, geralmente, classificados em dois grupos: centrífugos e verticais. Os depuradores centrífugos utilizam uma combinação de força centrífuga e arraste hidráulico para retirar as impurezas, separando as partículas por diferença de densidade. Já os depuradores verticais

realizam a separação por meio do tamanho e forma das partículas, sendo utilizados para remover partículas de rejeito sem forma definida e tamanho grande através de peneiramento (NOBRE, 2018).

3.1.1.4 Aditivos

Segundo Campos (2012), existem dois tipos básicos de aditivos no processo de fabricação do papel *tissue*: funcionais e auxiliares. Os aditivos funcionais fazem parte da receita (“furnish”) do papel e configuram propriedades desejáveis para cada especificação de produto, tendo grande influência na qualidade, conferindo ao papel propriedades físicas e ópticas de interesse. Por outro lado, os auxiliares fornecem as condições operacionais para que o processo de fabricação seja o mais eficiente possível, não necessariamente fazendo parte da formulação do papel. Nesse caso, pode-se citar químicos para tratamentos bactericidas e antiespumantes (CAMPOS, 2012).

Assim, segundo Cabral e Pires (2011), com a finalidade de melhorar e dar versatilidade aos papéis do mercado, a indústria papelreira tornou-se uma grande consumidora de produtos químicos, sendo eles:

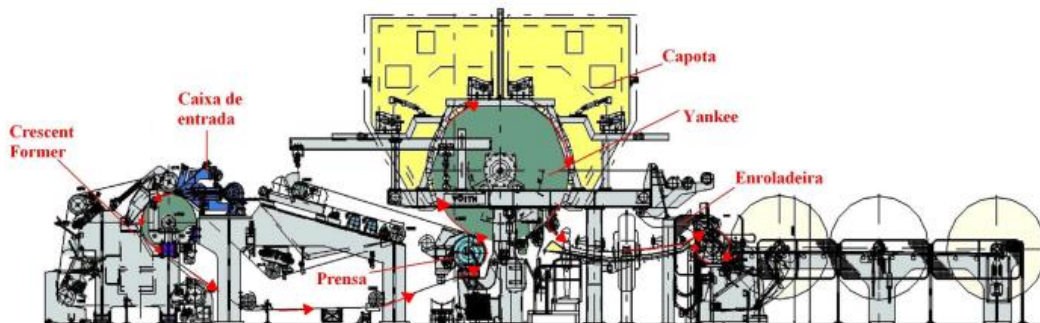
- Adesivos para melhorar as propriedades secas do papel;
- Adesivos para melhorar as propriedades úmidas do papel;
- Floculantes;
- Agentes branqueadores;
- Auxiliares de retenção;
- Microbiocidas;
- Controladores de pitch;
- Controladores de espuma;
- Controladores de pH ácidos e alcalinos.

3.1.2 Máquina de papel *tissue*

A máquina de papel *tissue* tem como principal função remover a água da suspensão de fibras proveniente do preparo de massa para auxiliar na formação da folha, sendo dividida em 4 seções de operação: formação, secagem, prensagem e enroladeira (BARROS, 2006). A Figura

3 mostra o esquema da máquina crescent form:

Figura 3 – Esquema da máquina de papel do tipo crescente former



Fonte: Barros (2006)

3.1.2.1 Formação

Na primeira seção, um jato de suspensão de fibras proveniente da caixa de entrada chega à tela formadora, formando a folha. No mais, é nesse instante que ocorre o desaguamento inicial por meio da força centrífuga gerada pela rotação do rolo formador no crescent former (BARROS, 2006).

A caixa de entrada pode ser hidráulica ou pressurizada, com comando eletropneumático sobre o lábio para o controle de perfil de gramatura. Ainda nessa ideia, a caixa de entrada é localizada no início da máquina e é responsável por fazer a distribuição uniforme da massa por toda largura máquina por meio de um jato calibrado que gera um perfil transversal de gramatura (CAMPOS, 2012). No final dessa etapa a folha se desprende da tela formadora e é arrastada pelo feltro (vestimenta da máquina) para dar sequência ao processo.

3.1.2.2 Prensagem

Na etapa seguinte, ocorre desaguamento por compressão mecânica e ação de caixas de vácuo. Outra função importante da prensagem é a transferência da folha do feltro para o cilindro Yankee na etapa seguinte de secagem da folha (BARROS, 2006).

Segundo Campos (2012) os rolos de pressão, não somente aderem a folha formada ao Yankee, mas também reduzem mecanicamente o conteúdo de umidade através da transferência de água da folha úmida para o feltro, com aplicação de vácuo no primeiro rolo para auxiliar o processo e evitar que a folha seja lançada para fora do rolo em altas velocidades de operação.

Ao fim dessa etapa a folha ainda contém de 60% a 65% de água, mas em máquinas mais modernas esses valores podem ser reduzidos para 50% a 55% (VERAS FILHO, 2018).

3.1.2.3 Secagem

Após a transferência da folha ocorre a etapa de secagem. Nessa seção da máquina, o cilindro realiza a remoção de água por condução e uma capota de insuflamento realiza por convecção de calor (BARROS, 2006).

A secagem no cilindro ocorre com vapor saturado que é inserido no seu interior e a energia térmica é transmitida à folha, enquanto a secagem na parte externa da folha, é realizada com a capota de alta eficiência, que contém um sistema de controle do fluxo de ar e aquecedores que são regulados digitalmente (CAMPOS, 2012).

Assim, ao fim da secagem ocorre a separação da folha seca do cilindro por meio de lâminas ou raspas de crepagem, cujo ângulo de posicionamento na máquina funciona como variável de determinação da maciez do papel. No mais, a folha crepada do Yankee contém um teor seco que pode variar entre 92% e 95%, seguindo assim para a etapa de formação dos rolos jumbo (VERAS FILHO, 2018).

3.1.2.4 Enroladeira

A folha destacada do cilindro secador segue para a enroladeira onde é projetada para produzir os rolos jumbos (o produto semiacabado) com diâmetros que variam entre 2 e 3 metros nas estangas. Assim, essa transferência do papel é realizada com auxílio de um suporte estático para a introdução da ponta do papel durante as etapas de reinício de enrolamento. No mais, nessa seção da máquina é instalado um sistema para medições de gramatura e umidade, bem como seus respectivos perfis. Há ainda, um sistema de troca automática das estangas, realizando uma conexão rápida da ponta, permitindo a troca de bobina com o mínimo descarte de papel, chamado de SVECOM (CAMPOS, 2012). Em sequência, as bobinas seguem para área de armazenamento, como visto na Figura 4, antes de seguirem para o processo de conversão.

Figura 4 – Bobinas em armazenamento



Fonte: Autor (2021)

3.2 Propriedades do papel

3.2.1 Gramatura

Segundo a NBR-NM ISO 536:2000 a gramatura do papel pode ser definida como a quantidade de massa por unidade de área e é expressa em gramas por metro quadrado (g/m^2). Ainda de acordo com a norma, os testes de gramatura são realizados com corpo de prova com área entre 500 e 1000 cm^2 .

Grande parte dos papéis são vendidos e comprados levando em conta a gramatura, uma vez que ela é um fator de grande significância na definição do valor do produto, visto que a quantidade de fibras da matéria-prima por metro quadrado tem relação direta com os custos de fabricação (TIMBERLAKE, 2013).

No mais, tal propriedade tem influência direta sobre outras características do papel. Segundo Cabral e Pires (2011), a gramatura afeta diretamente as propriedades de resistência.

3.2.2 Espessura

A espessura pode ser definida como a distância entre as duas faces do papel (CABRAL; PIRES, 2011). Pela NBR 14966:2003, a medição dessa propriedade se dá pela determinação da distância entre uma placa fixa, onde é posicionado a amostra, e um disco de pressão paralelo que exerce uma pressão constante especificada.

Segundo Campos (2010), no caso do papel *tissue*, as propriedades de maciez e

alongamento estão intimamente atreladas à espessura, que aumenta com a gramatura e diminui conforme a elevação do grau de refinação trabalhado. A medição dessa propriedade é realizada por meio de um micrômetro que pode ser visto na Figura 5:

Figura 5 – Micrômetro



Fonte: Autor (2021)

3.2.3 Maciez

A maciez é um dos principais elementos desejados na fabricação do papel *tissue*, sendo um diferencial no mercado para o consumidor final. Nesse pensamento, a maciez é definida levando em conta dois fatores: as maciezes de superfície e de estrutura. A primeira é a sensação quando se desliza a ponta dos dedos sobre a superfície do papel e a segunda é a sensação do tato quando se esmaga uma certa quantidade de papel com delicadeza. Assim, quando mais maleável for, mais macio é o papel (GRANDI; DE ALMEIDA, 2017).

Alguns químicos amaciantes podem ser adicionados ao processo para melhorar essa propriedade. Nessa ideia, eles agem diretamente nas uniões entre fibras, causando redução da resistência da folha. Portanto, é mais interessante para as fábricas buscarem a melhoria da maciez por meio do aprimoramento da crepagem na máquina (CAMPOS, 2012).

3.2.4 Umidade

Segundo Cabral e Pires (2011) o teor de umidade é “a relação da perda de massa de um corpo de prova quando seco em estufa e a sua massa no momento da amostragem, sendo

expresso em porcentagem”. Dessa forma, essa propriedade segue uma relação inversa com o teor seco do papel que é uma medida para determinar a quantidade de fibras no papel, sendo definido pela massa de fibras em 100 gramas de suspensão. Assim, quanto maior for o teor seco do papel, menor será a quantidade de água, ou seja, menor será a umidade do papel (CAMPOS, 2012).

A quantidade de umidade no papel ainda pode ser entendida como a quantidade de água absorvida em condições específicas, correspondente a parte de massa seca no papel. Os ensaios para a determinação dessa propriedade são definidos pela norma NBR-NM ISO 287:2009.

No mais, a umidade tem influência direta na espessura do papel, além de ser significativa na determinação das direções longitudinais e transversais do papel (CABRAL; PIRES, 2011).

3.2.5 Alongamento

O alongamento pode ser definido como a porcentagem do aumento do comprimento da tira de papel, quando submetido a uma tensão crescente, até o momento em que ocorre a ruptura da folha (CABRAL; PIRES, 2011). O controle dessa propriedade é importante para a indústria papelreira a fim de garantir o mínimo de rupturas da folha possível durante os processos de fabricação que afetam diretamente nos processos de conversão em produtos acabados (CAMPOS, 2012).

3.2.6 Volume específico (Bulk)

O bulk da folha, também chamado de volume específico, é considerado como o volume que a massa de fibra da matéria-prima ocupa no espaço ao passar pelo processo de deformação da folha, sendo medido em cm^3/g . (RAMIRES, 2013).

Nessa ideia, o “corpo de papel” está diretamente relacionada a essa propriedade, onde um papel com maior bulk tende a ser mais agradável às sensações que provocam a percepção de maciez no toque (LIU; HSIEH, 2004).

3.2.7 Resistências a Seco e Úmida

A resistência à tração, dada em N/m, é definida como a quantidade de força, em uma

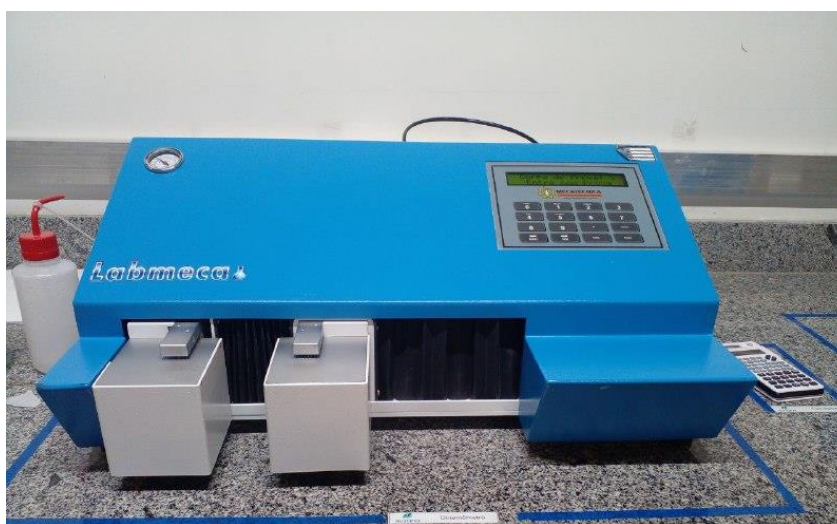
direção, que uma folha de papel é capaz de suportar sem se romper (RAMIRES, 2013). A resistência à tração para a maioria dos papéis é maior na direção longitudinal do que na direção transversal, uma vez que nessa configuração as fibras ficam alinhadas e exercem uma resistência maior (NOBRE, 2018). No mais, essa propriedade é influenciada diretamente por alguns parâmetros da fabricação do papel como: a refinação, comprimento da fibra usada e gramatura (CAMPOS, 2010).

Dessa forma, quando se trata de papéis *tissue*, a resistência úmida é uma característica de extrema importância, uma vez que é de interesse do cliente final que o papel não se desfaça facilmente quando em contato com água. Essa propriedade pode ser definida a força máxima de tração por unidade de largura, em condições definidas, que o papel resiste antes de se romper após ser submetido a saturação com água (CABRAL; PIRES, 2011). Para o papel analisado nesse trabalho tem-se os limites inferior e superior de 4 N/m e 6 N/m, respectivamente, para esse parâmetro, segundo especificação do produto proposto pela empresa.

Os testes realizados para ambas as resistências são feitos em um equipamento chamado de dinamômetro, como visto na Figura 6.

As normas empregadas para os testes são ISO 12625-4:2016 e NBR 15010:2017, para resistência a seco e úmida, respectivamente.

Figura 6 – Dinamômetro



Fonte: Autor (2021)

3.3 Resinas para resistência úmida

A resistência úmida é um requisito importante para alguns papéis especiais, como

lenços, papel toalha de cozinha, embalagens e etiquetas de garrafa (SUN *et al.*, 2015).

Assim, pode-se entender o papel como um “tapete” em camadas formado por uma rede de fibras de celulose ligadas entre si. Dessa forma, cada um dos contatos de fibra é mantido junto por forças intermoleculares que são sensíveis à água, onde a extensão das ligações diminui constantemente com o acréscimo do teor de água na folha de papel (BRITT, 1948). A água molha as fibras que incham e as ligações se quebram deixando apenas entre 3% e 10% da força seca original – em 50% de umidade relativa do ar (SALMEN, 1987).

Nessa ideia, para melhorar a força à tração úmida do papel, métodos de tratamento são necessários com uso de resinas (ICHIURA *et al.*, 2017).

Segundo Roberts (1991), existem três grandes grupos principais de químicos usados nas resinas, detalhados a seguir.

3.3.1 Resinas à base de ureia-formaldeído

Nas primeiras tentativas de dar resistência úmida ao papel, experimentos mostraram que a impregnação de papel com formaldeído contribuía para o incremento desse parâmetro. Entretanto, o forte odor e a fragilidade do papel resultante do baixo pH foram desvantagens observadas (ROBERTS, 1991).

Ao mesmo tempo, foi notado que dimetilolurea, resultado da reação de ureia e formaldeído, produz resistência úmida ao papel, mas por ser altamente solúvel em água, mostrou-se um aditivo não tão eficaz. Assim, a resina de ureia formaldeído (UF) foi modificada com uso de bissulfita de sódio ou glicina e foi complementada com dietilenetriamina ou outras aminas polifuncionais para gerar uma resina catiônica, com estrutura tridimensional capaz de proteger as ligações entre as fibras e restringir a hidratação das mesmas quando o papel é molhado (ROBERTS, 1991).

3.3.2 Resinas melamínica ou melamina formaldeído

As resinas melamina-formaldeído (MF) foram patenteadas pela primeira vez para uso em papel na década de 40. Para formar essa resina, melamina reage com o formaldeído para formar melamina de metilol (ROBERTS, 1991).

Em papéis tratados com MF, a resistência úmida se desenvolve somente quando o papel é seco com calor, e as evidências disponíveis sugerem que o mecanismo de desenvolvimento de força úmida é por meio de interação de um grupo de metilol em uma cadeia

de polímeros com ligações de hidrogênio e nitrogênio em outra cadeia (ROBERTS, 1991).

Assim, em termos comparativos, devido ao número relativamente grande de grupos reativos quando comparados com resina UF, o papel formado com resina MF tem maior força úmida por unidade de resina usada. No mais, assim como resinas UF, resinas MF necessitam de meio ácido para ter um melhor desempenho (ROBERTS, 1991).

3.3.3 Resinas de poliamida-epicloridrina

A necessidade de uma resina para ser usada em meio neutro ou alcalino na fabricação de papéis levou ao desenvolvimento de resinas à base de poliamida-epicloridrina (PAE), comumente usadas em uma faixa DE pH entre 6 e 8, com maior eficiência na faixa DE pH 5 a 9 (ROBERTS, 1991).

Moléculas PAE são constituídas moléculas centrais de poliamidas e grupos de 3-hidroxi-azetidínio (AZR) que reagem com as aminas residuais formando ligações cruzadas entre as estruturas poliméricas, onde a molécula resultante envolve as ligações entre as fibras já existentes protegendo-as sem qualquer modificação em suas estruturas, retardando a penetração da água (RAMIRES, 2013). Sendo assim a quantidade de AZR disponível é um fator decisivo para a determinação da resistência final do papel. Atualmente, resinas PAE são usadas extensivamente em todos os tipos de papéis, principalmente no segmento para fins sanitários (ROBERTS, 1991).

A resina utilizada no nesse trabalho é do tipo PAE e é aplicada no tanque de mistura da máquina (Figura 7) por meio de uma bomba dosadora que faz o transporte do químico de um container para o ponto de aplicação.

Figura 7 – Tanque de mistura



Fonte: Autor (2021).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

4.1.1 Amostras

Para a realização do trabalho, utilizou-se amostras de papel tissue com gramatura de 14,2 g/cm², coletadas dos rolos jumbos fabricados na unidade industrial da Suzano S.A, localizado no município de Imperatriz – MA, no mês de novembro de 2021.

4.1.2 Químico

Para o teste de resistência úmida foi utilizado a resina à base de poliamina-epicloridrina, chamada de Resina B para os fins desse teste.

4.2 Local da pesquisa

O trabalho foi realizado na empresa Suzano S.A., na unidade de Imperatriz – MA, no setor de Fabricação *Tissue*. Os ensaios de trações se deram no laboratório de qualidade do setor, com condições controladas de temperatura a 23°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) e umidade relativa de 50% ($\pm 2\%$).

4.3 Instrumentos/equipamentos/software utilizados

4.3.1 Equipamentos utilizados

Para os ensaios em laboratório de resistências a seco e úmida, foi utilizado um dinamômetro horizontal Labmecca modelo DHL-19.

4.3.2 Softwares

Para o tratamento de dados foram utilizados os seguintes softwares:

- Excel 2016 Pacote Office 365;
- PI System da OSIsoft, com uso das ferramentas PI ProcessBook e PI DataLink;
- Minitab 18.

4.4 Análises, métodos e procedimentos experimentais

4.4.1 Análises

Durante a realização dos testes, foram feitas análises físicas no papel e outras análises químicas para fins de monitoramento do desenvolvimento do processo como todo com a ação do químico a ser homologado no sistema

4.4.1.1 Análises de monitoramento

- Trações transversal úmido a cada retirada de bobinaS;
- pH
- Demanda iônica;
- Grau Schopper;
- Percentual de emendas

4.4.2 Métodos

O trabalho foi dividido em três momentos principais: a dosagem de resina no sistema, seguido de coleta de amostras para testes físicos e do estudo das análises do processo para verificar a efetividade do químico na garantia do parâmetro de resistência úmida sem alterações drásticas no andamento do processo como um todo.

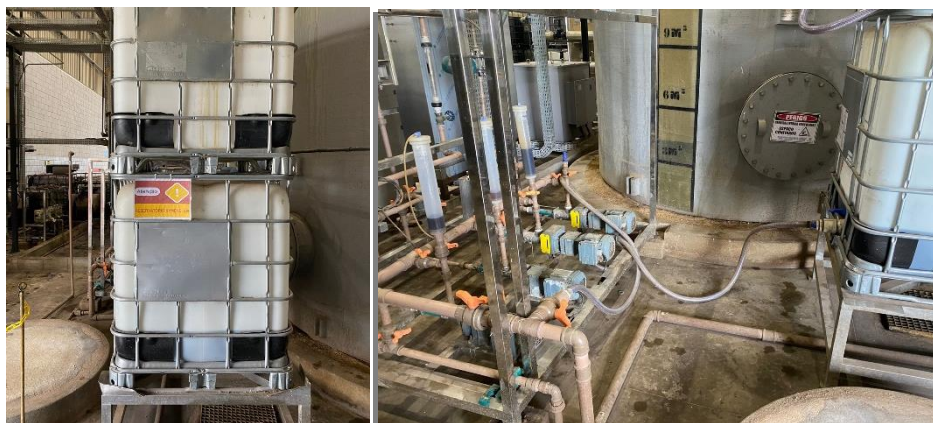
4.4.2.1 Dosagem de químico no sistema

Por meio de um skid de aplicação, o químico foi transferido de um contêiner por uma bomba dosadora de baixa vazão para o ponto de aplicação no tanque de mistura da máquina. De início, foi desligado completamente a dosagem do químico anterior e aplicado dosagem máxima de 1,5 kg/ton para que houvesse completa saturação do sistema com a Resina B.

A dosagem do químico foi alterada conforme os resultados obtidos em laboratório para resistência úmida a fim de ajustar o parâmetro para enquadramento do mesmo aos padrões de qualidade.

O sistema de contêineres e aplicação pode ser visto na Figura 8:

Figura 8 – Sistema de contêineres e aplicação da Resina B.



Fonte: Autor (2021).

4.4.2.2 Coleta de amostras e teste de resistência a tração úmida

A cada retirada de bobina uma amostra de 10 folhas de papel, com 50 mm de largura e 200 mm de comprimento, foi retirada para teste de tração em laboratório, conforme o método padrão descrito a seguir:

- I. Umedecer a parte central da amostra com uma esponja umedecida até a saturação em toda extensão transversal do corpo de prova;
- II. Utilizar uma mostra de papel para cobrir a amostra de 10 folhas a fim de retirar o excesso de água, com auxílio de um peso de chapa encostado no papel por 5 segundos;
- III. Inserir o corpo de prova horizontalmente no centro das garras do dinamômetro que prendem a amostra, aplicando tração até o rompimento da folha e sendo possível visualizar o resultado na tela do instrumento.

4.4.2.3 Estudo das análises do processo

Por meio do uso do software *PI System* e da ferramenta *PI DataLink*, responsável por gerar uma interface entre o Excel e o *PI ProcessBook*, foram obtidos os dados das análises de pH e demanda iônica na caixa de entrada, bem como as análises de grau Schopper nas entradas e saídas dos refinadores 1 e 2 da máquina. Assim, com os dados obtidos foram plotados gráficos para análise do andamento e a influência do químico nas variáveis do processo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

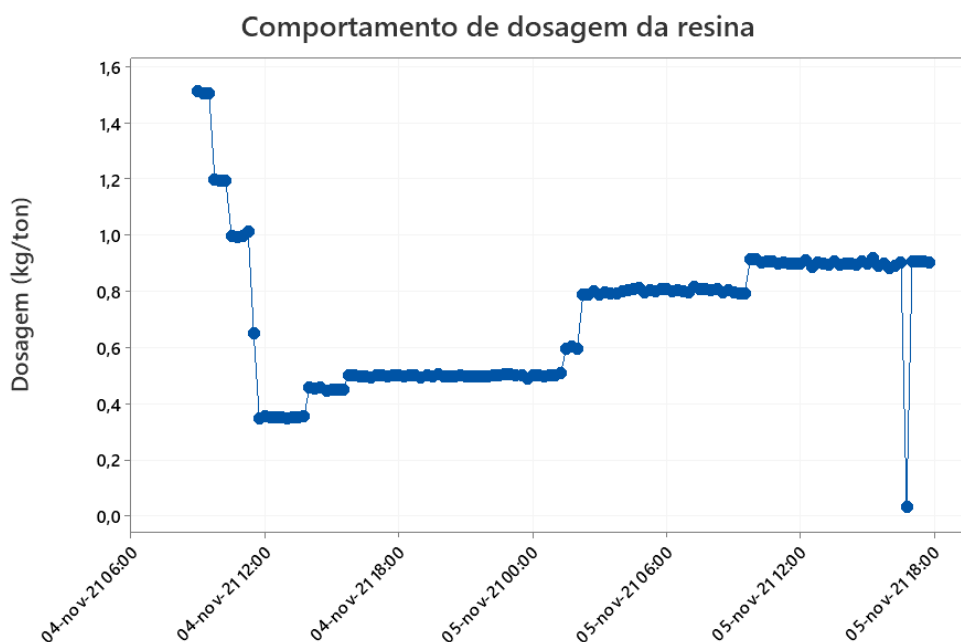
Como explicitado na seção de Materiais e Métodos, a análise dos resultados segue a ordem da dosagem de resina no processo por meio de adição da mesma no tanque de mistura no sistema da máquina e o impacto no papel por meio dos testes de resistência úmida em laboratório. Por fim, foi estudado os efeitos nas análises de monitoramento do processo.

5.1. Dosagem de resina

O teste com a nova resina totalizou 32 horas de duração, onde a troca do produto atuante no sistema para a Resina B ocorreu de imediato, ou seja, não houve uma transição gradativa entre os produtos.

O comportamento de dosagem do produto no sistema em malha aberta no decorrer do teste pode ser visto conforme a Figura 9:

Figura 9 – Comportamento de dosagem de Resina B.



Fonte: Próprio Autor (2021)

A dosagem inicial foi de 1,5 kg/ton por meio de uma bomba dosadora de baixa vazão, valor este 1 kg/ton a mais que a dosagem do produto que estava em uso. Nessa ideia, a alta dosagem de início se deve, sobretudo, para que ocorra o saturamento do sistema com a nova resina, uma vez que após a troca é possível que tenha resquícios do outro produto afetando

assim os resultados das primeiras bobinas de papel produzidas.

Durante o andamento do teste, obteve-se uma média de dosagem de 0,71 kg/ton, podendo-se tomar tal valor como o indicado para o enquadramento do parâmetro na especificação utilizada pela empresa. Em termos comparativos, nas mesmas condições de operação da máquina, o químico vigente apresenta bons resultados de enquadramento de qualidade de resistência para dosagem média de 0,5 kg/ton. Assim, nota-se que a resposta do parâmetro para que esteja nos padrões definidos necessita de maiores quantidades de produto.

5.2 Teste de resistência úmida

A cada tirada de bobinas foi coletado uma amostra de 10 folhas pelo Analista de Qualidade do turno. Assim, em laboratório os testes físicos do papel foram realizados.

Para os testes de resistência úmida, indicador chave da eficiência da aplicação de resina, um dinamômetro é usado seguindo o procedimento padrão para medição do parâmetro no produto semiacabado. Assim, o papel pode seguir para as linhas de conversão em rolos de papel higiênico. Dessa forma, por meio de pesquisas e análises de mercado realizadas pelo departamento de Pesquisa e Desenvolvimento da empresa, são determinados os parâmetros ideais para o tipo de papel utilizado no teste levando em consideração os custos de produção e a posição da marca no mercado. Os limites de operação para a resistência úmida, fornecidos pela empresa, estão apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 – Limites de Resistência Úmida para papel de 14,2 g/m²

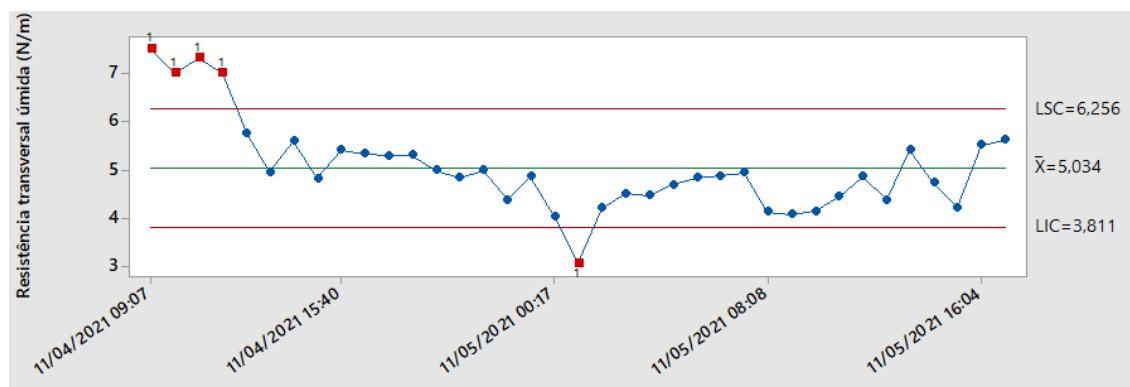
Limite inferior (N/m)	Target (N/m)	Limite superior (N/m)
4	5	6

Fonte: Próprio Autor (2021)

Nesse contexto, segundo Ramos (1997), as cartas de controle funcionam como gráficos a partir dos quais pode-se verificar se o processo é estaticamente estável, onde pode-se ainda determinar os momentos de atuação para o aprimoramento contínuo do processo e assim diminuir a variabilidade do mesmo.

Assim, com a coleta dos resultados de resistência úmida durante o teste, os dados foram plotados para análise que podem ser vistos na carta de controle representado pela Figura 10:

Figura 10 – Carta de controle de Tração Transversal Úmida



Fonte: Próprio Autor (2021)

Com a carta de controle foi possível observar a variação de resistência úmida do papel em relação aos limites estabelecidos. Dessa forma, uma vez que grande parte dos resultados obtidos se mantiveram dentro dos limites inferior e superior de 4 N/m e 6 N/m, respectivamente, pode-se afirmar, segundo Kume (1994), que o processo de aplicação de resina é controlado.

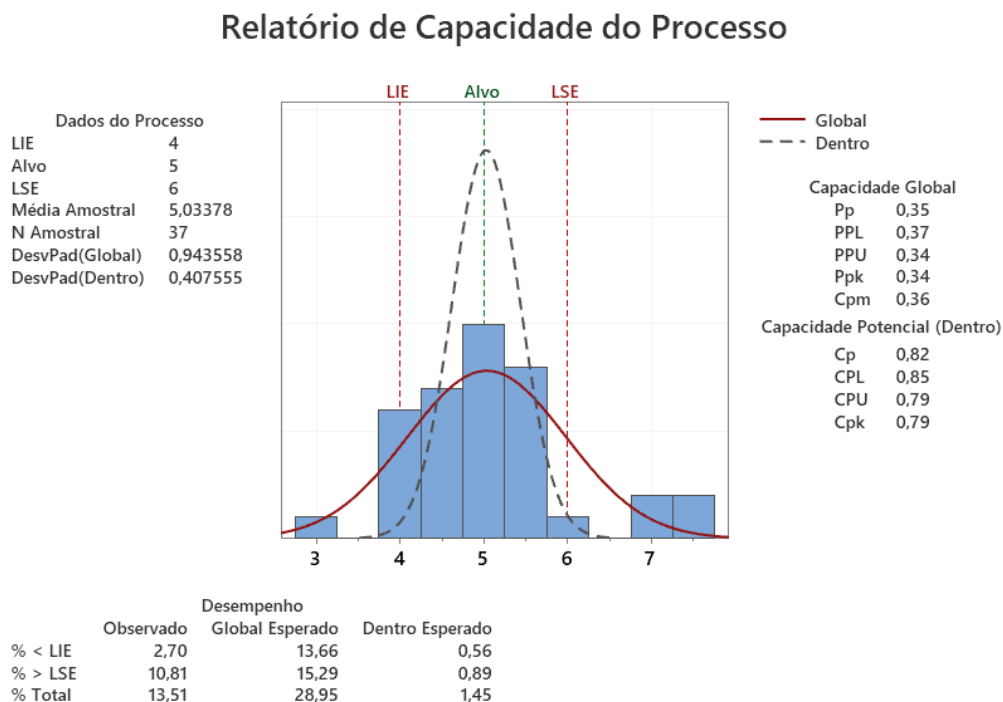
Assim, dos 37 resultados de resistência a úmido, um deles ficou abaixo do limite inferior de especificação, 4 ficaram acima do limite superior e 32 ficaram dentro da especificação.

Como explicitado anteriormente, os resultados das primeiras bobinas se encontraram acima do limite superior devido à alta dosagem inicial de produto para que ocorresse a saturação completa do sistema e eliminação do produto que estava em uso das tubulações.

Conforme o andamento do teste foram obtidos valores aceitáveis do parâmetro, onde o valor de 3,06 N/m obtido foi causado pelos ajustes de diminuição de dosagem uma vez que o alto valor inicial ainda estava influenciando em resultados acima do target de 5 N/m. Assim, para que fossem obtidas bobinas dentro das especificações de qualidade padrões, foi aumentado o fluxo de resina de forma gradativa no processo. No mais, vale ressaltar que, os efeitos das alterações de dosagem levam, em média, 60 minutos para serem avaliados – tempo este necessário para a formação completa dos rolos jumbos de papel.

Na Figura 11, tem-se a análise estatística de capacidade do controle de resistência úmida. A análise foi realizada no software Minitab 18, com os dados coletados em laboratório.

Figura 11 – Análise de capacidade de controle de resistência úmida.



Fonte: Próprio Autor (2021)

Segundo Silveira (2012), a análise de capacidade é um método de melhoria no qual uma característica do produto é medida e analisada para determinação da capacidade do processo em satisfazer as especificações para a característica estudada, ou seja, pode-se determinar se o processo é capaz de entregar as saídas dentro dos requisitos necessários determinados.

Assim, o índice Pp é a medida de capacidade global do processo, em que avalia a capacidade global com base na variação em seu processo, mas não em sua localização. Por outro lado, o índice Ppk leva em consideração a localização entre os limites especificados. Nessa ideia, os valores de 0,35 e 0,34 para Pp e Ppk, respectivamente, abaixo do valor de benchmark determinado em 1,33, mostram que o controle do parâmetro de resistência úmida é ineficaz, necessitando de ajustes para eliminar a grande variação.

Os índices Cp e Cpk, são analisados de maneira semelhante. Entretanto, a capacidade de controle é mostrada caso não houvesse a variação de valores no sistema. Dessa forma, obteve-se maiores valores, mas ainda abaixo do benchmark, reforçando a necessidade de melhoria no processo de controle do parâmetro de resistência úmida, reforçando a evidenciação na carte de controle.

No mais, a análise também mostra que 13,51% dos dados ficaram fora dos limites

desejados, sendo um ótimo valor. Entretanto, tem-se uma média de resistência úmida de 5,03 N/m e um alto desvio padrão de 0,94 que confirma uma grande dispersão dos dados obtidos.

5.3 Análises de monitoramento

5.3.1 Controle de pH

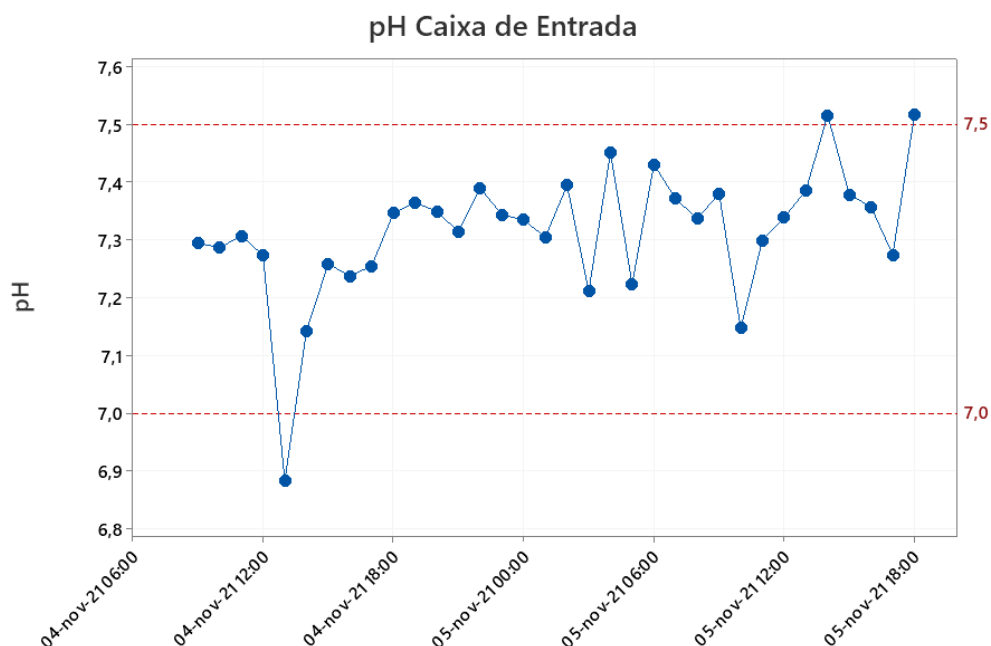
O controle de pH durante o processo de fabricação é essencial para boa formação do papel, uma vez que a variação do mesmo dentro do processo pode afetar o comportamento dos aditivos químicos no processo de produção (SCOTT, 1940).

De acordo com Silva (2010) tem relação direta com a disponibilidade de sítios aniônicos na fibra de celulose, afetando assim a interação que ocorre entre as fibras de celulose como também a relação das mesmas com os químicos adicionados no sistema. Nesse contexto, em meios com alto pH, há um aumento desses sítios disponíveis na fibra de celulose. Já com meio ácido, o efeito é reverso, ocorrendo a redução da quantidade de sítios.

No mais, O pH do meio ainda pode impactar na drenagem, na retenção de finos e carga da folha, formação de depósitos químicos ou microbiológicos e na geração de espuma no processo.

Assim, foram plotados os valores de pH da massa que chega à máquina conforme Figura 12:

Figura 12 – pH Caixa de Entrada



Fonte: Próprio Autor (2021)

Os valores ideais DE pH para a máquina devem estar entre 7 e 7,5 (JANSSON, 2015) e apesar dos valores estarem dentro do limite ótimo alguns pontos acima do limite ótimo superior foram observados. Tal fato ocorre devido uma ocorrência pontual na linha de fibras onde houve o desligamento da bomba de dosagem de ácido afetando diretamente o setor *tissue*. No mais, é possível notar que os valores de pH se mostram estáveis, contribuindo para a formação da folha e interação dos químicos na polpa, uma vez que as resinas do tipo PAE tem maior eficiência em meios de pH entre 5 e 9. Isso pode ser explicado pelo fato de que as moléculas de celulose dispersas em água têm caráter aniônico e assim os componentes catiônicos promovem atração com as fibras e qualquer outro componente negativamente carregado (SILVA, 2010).

5.3.2 Demanda iônica

Para entender como os aditivos estão respondendo ao processo um dos parâmetros essenciais de controle que deve ser observado é a demanda iônica. (Bonicenha *et al.*, 2019).

Durante o decorrer do teste as análises de ambos os parâmetros foram feitas uma vez no em cada turno de 8 horas de duração. Assim, os dados coletados na caixa de entrada da máquina podem ser vistos na Tabela 2:

Tabela 2 – Demanda iônica na caixa de entrada.

Horário da análise	Demanda iônica ($\mu\text{Eq/L}$)
04/11/2021 08:35	-160
04/11/2021 20:00	-118
05/11/2021 00:30	-125
05/11/2021 08:45	-128
05/11/2021 17:00	-135

Fonte: Próprio Autor (2021).

Nesse contexto, a demanda iônica em um sistema de fabricação de papel é uma propriedade com relação direta às cargas químicas presentes na massa, uma combinação de cargas das fibras e dos demais componentes químicos quem compõem a massa, onde mostra a quantidade de cargas elétricas (positivas ou negativas) necessárias para que seja alcançado a eletro neutralidade do sistema (SILVA, 2012), podendo ainda ser entendido como a quantidade de “lixo” aniônico e serve como um indicador da eficiência de lavagem da polpa.

Assim, durante o teste, o sistema apresentou valores aceitáveis de demanda, uma vez que, segundo Bonicenna *et al.* (2019), a demanda ideal de um sistema papelero deve estar entre $-50 \mu\text{Eq/L}$ e $-500 \mu\text{Eq/L}$, onde valores muito negativos afetam a performance do químico no processo, uma vez que aditivos para resistência em úmido têm carga catiônica e se atraem com as partículas de fibras e cargas aniônicas. Assim, no caso de excesso de “lixo” aniônico no sistema, as resinas de resistência em úmido são consumidos pelas cargas aniônicas e não ocorre a oportunidade de aderir-se às fibras e, conseqüentemente, não comunica as propriedades de resistência de maneira efetiva.

5.3.3 °Schopper

Segundo Hubbe (2010), a refinação possa contribuir para gerar muitas propriedades úteis da folha, sobretudo resistência e melhor retenção de aditivos catiônicos, uma vez que aprimora o contanto de ligação entre as fibras e os químicos de resistência. Assim, ter controle e monitorar o grau de refinação do processo é essencial para a boa formação da folha.

Nessa ideia, os aparelhos “Schopper-Riegler” são comumente utilizados para medição do grau de refinação, indicado pelo grau de drenabilidade de uma suspensão aquosa de fibras, chamado de ° Schopper (CAMPOS, 2012). Em laboratório, a análise é feita conforme a ISO

5267-1:1979.

Para esse monitoramento durante o teste, foram avaliados os ° Schopper das entradas e saídas dos refinadores 1 e 2 que estavam em série, a massa refinada na saída do refinador 1 corresponde à entrada do refinador 2. Os testes foram realizados uma vez por turno e os resultados podem ser vistos na Tabela 3:

Tabela 3 – °Schopper para refinadores em paralelo

Entrada Ref. 01 (°SR)	Saída Ref. 01 (°SR)	Entrada Ref. 02 (°SR)	Saída Ref. 02 (°SR)	$\Delta^{\circ}\text{SR}$
16	23	23	30	14
19	26	26	33	14
21	26	26	32	11
20	26	26	32	12
16	22	22	30	14
17	23	23	29	12

Fonte: Próprio Autor (2021).

No processo de fabricação do papel *tissue*, para avaliar o quanto as fibras estão sendo refinadas, valores de delta entre 8°SR e 15°SR são recomendados para o bom andamento de refinação, garantindo a boa formação da folha com propriedades ótimas de resistência (CAMPOS, 2012). Dessa forma, os resultados de refinação durante o teste mantiveram-se dentro dos limites adequados garantindo a ação efetiva da resina nas fibras de celulose.

No mais, em termos comparativos, no dia anterior ao teste foi avaliado °Schopper com a Resina A em operação, como visto abaixo na Tabela 4:

Tabela 4 – °Schopper para refinadores em paralelo antes do teste

Entrada Ref. 01 (°SR)	Saída Ref. 01 (°SR)	Entrada Ref. 02 (°SR)	Saída Ref. 02 (°SR)	$\Delta^{\circ}\text{SR}$
18	21	21	28	10
16	21	21	28	12
17	24	24	31	14

Fonte: Próprio Autor (2021).

Assim, é notável que mesmo com a alteração da resina no sistema, o °Schopper se

manteve estável e dentro dos parâmetros recomendados. Dessa forma, é observado que a alteração do químico em uso não afeta, de maneira expressiva, o grau de refinação da polpa celulósica.

5.4 Análise de custo

Para o papel de gramatura 14,2 g/m² é atingida uma taxa de produção média de 6,8 ton/h. Assim, durante o período de teste, com duração de 32 horas, os gastos com o insumo em teste puderam ser calculados a partir dos preços do quilo de cada produto disponibilizados pelos fornecedores, explicitados na Tabela 5 abaixo:

Tabela 5 – Custo total

Produto	Consumo médio (kg/ton)	Custo (R\$/kg)	Consumo (kg/h)	Gasto (R\$/h)	Total (R\$)
Resina A	0,5	6,54	3,4	22,23	711,55
Resina B	0,71	6,87	4,82	33,11	1.059,52

Fonte: Próprio Autor (2021)

Os valores de consumo em quilo por hora foram obtidos por meio do *software* PI *ProcessBook*, onde é possível ter em tempo real a dosagem do insumo.

Assim, a Resina B gerou um custo de R\$ 347,97 a mais que quando é utilizado a Resina A, para o mesmo papel. Esses valores foram levantados quando se toma o consumo médio de Resina A, baseado em históricos de processo, como 0,5 kg/ton. Entretanto, é importante salientar que o valor do aditivo não foi um fator determinante para sua utilização, uma vez que o teste visava sua homologação para uso em casos de falta da Resina A, para evitar possível parada de produção. Entretanto, o levantamento do custo total foi realizado para a mensuração dos impactos financeiros no produto.

No mais, não há diferenças expressivas em termos de custos operacionais uma vez que ambas as resinas possuem propriedades de densidade e viscosidades semelhantes em mesmas condições de temperatura, como pode ser observado na Tabela 6 abaixo com valores disponibilizados pelos fabricantes:

Tabela 6 – Propriedades das resinas

Produto	Densidade (g/cm ³)	Viscosidade (cP)
Resina A	1,09	210
Resina B	1,05	200

Fonte: Próprio Autor (2021)

6 CONCLUSÃO

A partir da metodologia adotada os objetivos do trabalho foram realizados com êxito.

Em laboratório foram realizados 37 ensaios de resistência úmida realizadas nas amostras coletadas do papel *tissue* de 14,2 g/m². A partir dessas análises vistas após a saturação completa do sistema, pode-se elaborar uma carta de controle com o histórico dos valores obtidos durante o teste onde é evidente o bom andamento do parâmetro em questão, obtendo-se bobinas com qualidade para o seguimento no processo de conversão das mesmas em produtos de rolos de papel higiênico.

A variação dos resultados de resistência úmida pôde ser controlada por meio de ajustes operacionais de dosagem de resina e os testes físicos mostraram-se coerentes com a oscilação da quantidade de Resina B no sistema em malha aberta.

No mais, a partir das análises de monitoramento de processo foi observado que o mesmo se manteve estável durante o decorrer do teste, contribuindo para a boa formação da folha de papel e não afetando negativamente a interação dos químicos na massa. Dessa forma, sendo homologado como insumo reserva para a máquina, tomando como referência de dosagem indicada a quantidade de 0,71 kg/ton para o enquadramento dos valores de resistência úmida entre os valores máximo e mínimo da especificação, mesmo com custos mais elevados quando se tem como referência a Resina A.

Os resultados apresentam uma oportunidade de aplicação da resina em produtos de diferentes gramaturas pela empresa para ao estabelecimento da qualidade do papel em relação a uma das variáveis que impactam diretamente na diferenciação no mercado.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-NM 536:2000: Papel e cartão - Determinação da gramatura. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR-NM ISSO 287:2009: Papel e cartão - Determinação do teor de umidade de um lote - método por secagem em estufa. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14966:2003: Papel para fins sanitários - Determinação da espessura, densidade aparente e volume específico aparente. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15010:2017: Papéis para Fins Sanitários – Determinação da Resistência a Úmido. Rio de Janeiro, 2017.

BRITT, K.W. Review of Developments in Wet-Strength Paper. Tech. Assoc. Papers. 1948.

BARROS, L. B. M. Seleção de Materiais para Redução de Custos em uma Máquina de Papel. 2006. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BONICENHA, J J. BARBOSA, L C. SANTOS, M. Controle Avançado de Demanda Iônica em Máquina de Papel. IX Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. 2019.

BORTOLAN, Rafael Henrique. Estudo do Efeito do Tipo de Celulose Utilizada e da Intensidade de Refino no Processo de Refino da Polpa Celulósica. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Celulose e Papel). Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012.

CABRAL, C. R. A; PIRES E. D. Propriedade e Características que Influenciam o Consumidor de Papel *Tissue*. 2011. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Processos Químicos) – Faculdade de Pindamonhangaba, Pindamonhangaba, 2011.

CAMPOS, E. S. Curso de Fabricação de Papel com Ênfase nas Propriedades dos Papéis de Fibra Curta. Apostila ABTCP, 2010.

CAMPOS, E. S. Curso de Fabricação de Papéis *Tissue*. Apostila ABTCP, 2012.

GRANDI, J. G.; DE ALMEIDA, S. L. Aspectos da Formação que Influenciam Sobre a Maciez/Suavidade (Handfeel) em Papel *Tissue*. Albany International, ano 13, n. 38, 2017.

HUBBE, M A. Fatores a considerar para melhorar e ampliar a reciclabilidade do papel. O PAPEL. v. 71. p. 40 – 60, 2010.

ICHIURA H., HIROSE Y., MASUMOTO M., OHTANI Y. Ionic liquid treatment for increasing the wet strength of cellulose paper. Cellulose. v. 24, p. 3469-3477, 2017.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBA. Disponível em <www.iba.org>. Acesso em: 31 out. 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 12625-4:2016: Determination of Tensile Strength at Maximum Force and Tensile Energy Absorption. Switzerland, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 5267-1:1979: Pulps; Determination of Drainability; Schopper-Riegler Method. Switzerland, 1979.

JANSSON J. The Influence of pH on Fiber and Paper Properties. Master Thesis – Department of Engineering and Chemical Science, Chemical Engineering, Karlstad University. 2015.

KUME, H. Herramientas Estadísticas Básicas para el Mejoramiento de la Calidad. Colombia: Grupo Editorial Norma, 1994.

LIU, J; HSIEH, J. Caracterização da Maciez em Papel *Tissue* Facial. O Papel/Tappi Journal, p. 3, Memphis, 2004.

NOBRE, L. P. Aplicação de Ferramentas da Qualidade para Análise de Umidade de Papel *Tissue*. 2018. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

PADOVANI, Mirella de Paola; FERREIRA, Denise Helena Lombardo. Vamos pôr no Papel? – O setor de Papel e Celulose em Pauta. Revista Fórum Brasil de Gestão Ambiental. 2020. Disponível em: <<https://revistafbga.com.br/vamos-por-no-papel-o-setor-de-papel-e-celulose-em-pauta/>>. Acesso em 01 nov. 2021.

PUBLIO, Roberto. Aplicação de Celulases no Refino de Fibras Celulósicas Kraft Branqueadas de Eucalipto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

RAMIRES, H. O. R. Alternativas Tecnológicas para Melhoria de Propriedades Mecânicas de Papéis *Tissue* e sua Aplicação para Diferentes Polpas Kraft de Eucalipto. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Celulose e Papel). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

RAMOS, A W. Gestão de Operações: A Engenharia de Produção a Serviço da Modernização da Empresa. 2ª ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1997.

ROBERTS, J. C. Paper Chemistry. Blackie & Son Ltd. 1991.

SALMEN, N. L., Mechanical Properties of Wood Fibers and Papers. Cellulose Chemistry and its Applications. Chichester. 1987.

SCHNESE D. Refining; Recycled Fiber for *Tissue* Production. Voith Paper, Appleton, 2019.

SCOTT, W E. Principles of Wet end Chemistry, 1940.

SILVA, A. Demanda Iônica no Sistema da Máquina de Papel. Eucalyptus Online Book & Newsletter. 2012.

SILVA, G S. Controle de pH em Máquina de Produção de Cartão Multicamada. 59f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SILVEIRA, C B. Índices de Capacidade de um Processo. 2012. Disponível em: <<https://www.citisystems.com.br/cpk-indice-capacidade-performance-processo/>>. Acesso em: 15 jan. 2022.

SUN B., QINGXI H., LIU Z., NI Y. Sodium Periodate Oxidation of Cellulose Nanocrystal and its Application as a Paper Wet Strength Additive. Springer. 2015.

TIMBERLAKE A. Grammage of Paper and Paperboard. Revision of T 410 om-08. 2013.

TISSUEONLINE. Os conjuntos refinadores e o processo de formação da folha. 2020. Disponível em: <<https://tissueonline.com.br/os-conjuntos-refinadores-e-o-processo-de-formacao-da-folha/>>. Acesso em: 23 nov. 2021.

TISSUEONLINE. Segmento de *Tissue* tem alta de 16,5%. 2020. Disponível em: <<https://tissueonline.com.br/segmento-de-tissue-tem-alta-de-165/>>. Acesso em: 31 out. 2021.

TISSUEONLINE. Vendas de papel tissue crescem 21% no primeiro trimestre. 2022. Disponível em: <<https://tissueonline.com.br/vendas-de-papel-tissue-crescem-21-no-primeiro-trimestre/>>. Acesso em: 01 jun. 2022.

VERAS FILHO, Jorge Maurício Pereira. Análise de Contaminantes no Processo de Fabricação de Papel *Tissue*. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2018.

VOITH. *Voith in Japan*. Disponível em: <<https://voith.com/jpn-en/450>>. Acesso em: 31 out. 2021.

YASUMURA, P. K; PARK, S. W. Avaliação de Propriedades Físicas de Pastas Celulósicas Refinadas em Moinho PFI. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.