



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



**A INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE NO BRASIL: PRODUTIVIDADE,
COMPETITIVIDADE, MEIO AMBIENTE E MERCADO CONSUMIDOR**

TAOANA SOUZA BATISTA

UBERLÂNDIA-MG

2018

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**A INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE NO BRASIL: PRODUTIVIDADE,
COMPETITIVIDADE, MEIO AMBIENTE E MERCADO CONSUMIDOR**

TAOANA SOUZA BATISTA

Monografia de graduação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos necessários para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Amâncio Malagoni.

UBERLÂNDIA-MG

2018

MEMBROS DABANCA EXAMINADORA DE MONOGRAFIA DA DISCIPLINA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE TAOANA SOUZA BATISTA
APRESENTADA À UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, EM 20/12/2018.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Ricardo Amâncio Malagoni
Orientador – FEQUI/UFU

Prof. Dr. Cícero Naves de Ávila Neto
FEQUI/UFU

Prof. Dr. Humberto Molinar Henrique
FEQUI/UFU

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me dado forças durante toda a graduação para persistir, mesmo diante às dificuldades, e por sempre estar abençoando minha caminhada e proporcionando saúde para vencer cada dia de luta e ter me dado sabedoria na realização do presente trabalho.

Agradeço também à minha família como base de todo o apoio e estrutura para que eu pudesse acreditar e ir adiante nos objetivos. Em especial, agradeço minha mãe Rosilane que, mesmo distante, sempre me incentivou e acreditou na minha capacidade e no meu sucesso, estando presente nas horas mais difíceis.

Aos meus amigos que a graduação me deu o privilégio de conhecer e compartilhar conhecimentos e momentos de felicidade.

À Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia pela excelência em conhecimentos e suporte na realização desta jornada.

Ao meu orientador, prof. Dr. Ricardo Amâncio Malagoni, pelo apoio, incentivo e auxílio para a realização deste trabalho.

Aos professores prof. Dr. Cícero Naves de Ávila Neto e prof. Dr. Humberto Molinar Henrique da banca avaliadora pelos conselhos, análises e críticas construtivas que foram fundamentais para a melhora e desenvolvimento desta monografia.

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas
pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo
mundo vê.”*

Arthur Schopenhauer

SUMÁRIO

| | |
|---|-----|
| LISTA DE FIGURAS | i |
| LISTA DE TABELA..... | ii |
| LISTA DE SÍMBOLOS | iii |
| RESUMO | iv |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 3 |
| 2.1 Celulose..... | 3 |
| 2.1.1 Celulose de Fibra Curta..... | 4 |
| 2.1.2 Celulose de Fibra Longa..... | 4 |
| 2.1.3 Celulose de Fibra <i>Fluff</i> | 4 |
| 2.2 Processo Industrial das Indústrias Brasileiras de Papel e Celulose..... | 4 |
| 2.2.1 Processo Kraft | 5 |
| 2.2.2 Digestores..... | 12 |
| 2.3 Processo de Fabricação do Papel..... | 18 |
| I. Refinação..... | 18 |
| II. Depuração | 18 |
| III. Aditivação..... | 19 |
| 2.3.1 Máquina de papel: | 19 |
| 2.3 Impactos Ambientais da Indústria de Papel e Celulose Brasileira..... | 19 |
| 2.3.1 Emissões atmosféricas..... | 20 |
| 2.3.2 Resíduos sólidos | 21 |
| 2.3.3 Poluentes líquidos..... | 22 |
| 2.4 Tratamento de efluentes | 23 |
| 2.5 Competitividade entre as indústrias e mercado consumidor..... | 26 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3 | ESTUDO DE CASO: A ADAPTAÇÃO DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE BRASILEIRA AOS AVANÇOS TECNOLÓGICOS | 28 |
| 3.1 | Biotecnologia na indústria de papel e celulose | 29 |
| 3.2 | Nanocelulose | 30 |
| 3.2 | Controle e automação nas indústrias de papel e celulose..... | 32 |
| 3.2.1 | Ferramentas de Controle utilizadas nas indústrias de papel e celulose | 32 |
| 3.3 | Sustentabilidade..... | 33 |
| 4 | CONCLUSÃO..... | 35 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 36 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1 - Fórmula Estrutural da glicose..... | 3 |
| Figura 2.2 - Etapas do processo Kraft. | 6 |
| Figura 2.3 - Fluxograma da Recuperação do Licor Negro..... | 9 |
| Figura 2.4 - Digestor da Indústria de Papel e Celulose..... | 12 |
| Figura 2.5 - Digestor Contínuo. | 13 |
| Figura 2.6 - Medidor Radiométrico de um Digestor..... | 14 |
| Figura 2.7 - Digestor descontínuo de aquecimento direto..... | 15 |
| Figura 2.8 - Digestor descontínuo de aquecimento indireto. | 16 |
| Figura 2.9 - Digestor descontínuo com circulação forçada..... | 17 |
| Figura 2.10 - Digestor descontínuo sem circulação forçada..... | 17 |
| Figura 2.11- Lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação..... | 24 |
| Figura 2.12 - Fluxograma do sistema lodo ativado..... | 25 |
| Figura 3.1 - Principais produtores mundiais de celulose - mil toneladas..... | 26 |
| Figura 3.2 - Produção Brasileira de Papel e Celulose. | 28 |
| Figura 3.3 - Gel de nanocelulose..... | 30 |

LISTA DE TABELA

| | |
|---|----|
| Tabela 2.1 - Poluentes atmosféricos gerados na produção de papel e celulose | 20 |
| Tabela 2.2 - Resíduos gerados nas etapas de produção de celulose..... | 21 |

LISTA DE SÍMBOLOS

BRM – Biorreator de Membranas.
C₆H₁₂O₆ – Glicose.
Ca(OH)₂ – Hidróxido de Cálcio.
CaCO₃ – Carbonato de Cálcio.
CaO – Óxido de Cálcio.
Cl₂ – Dicloro.
ClO₂ – Dióxido de Cloro.
CLP – Controladores Lógicos Programáveis.
CO₂ – Dióxido de Carbono.
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio.
DES – Deep. Eutetic Solvents (Solventes Eutéticos Profundos).
DQO – Demanda Química de Oxigênio.
ETE – Estação de Tratamento de Efluentes.
H₂CO₃ – Ácido Carbônico.
H₂O – Água.
IBÁ – Indústria de Árvores Brasileiras.
IPCs – Indústrias de Papel e Celulose.
MP – Materiais Particulados.
Na₂S – Sulfeto de Sódio.
NaCl – Cloreto de Sódio.
NaOH – Hidróxido de Sódio.
NO₃ – Nitrato.
NO_x – Óxidos de Nitrogênio.
O₂ – Gás Oxigênio.
PID – Proporcional-Integral-Derivativo.
SDCD – Sistema Digital de Controle Distribuído.
SO₂ – Dióxido de Enxofre.
TRS – Total Reduced Sulphur (Compostos Reduzidos de Enxofre).
UFPR – Universidade Federal do Paraná.
UFV – Universidade Federal de Viçosa.

RESUMO

O Brasil é o maior produtor mundial de celulose de fibra curta com a vantagem de ser um país com um clima favorável para o cultivo de eucaliptos em larga escala e com mínimos custos, possuindo grandes indústrias altamente competitivas e inovadoras que promovem um aumento considerável na economia e nos avanços tecnológicos do país. Essas indústrias utilizam o processo Kraft que envolve as etapas de descascamento, picagem, cozimento, depuração, branqueamento e recuperação do licor negro contando com a presença de digestores, que são equipamentos chaves na etapa de produção. As indústrias brasileiras são integradas e realizam também a produção do papel sendo responsáveis pelo processo dele desde a chegada dos fardos de celulose pronta, até o transporte dos papéis para consumo. As indústrias são altamente poluidoras e há emissões atmosféricas, resíduos sólidos e poluentes líquidos que precisam de cuidados especiais e um bom tratamento de efluentes para o descarte dos rejeitos ao ambiente. Buscando mais inovação e economia, as indústrias competem entre si optando por formas sustentáveis de mínimo desperdício energético e máximo de produção, com métodos inovadores através de pesquisas em universidades.

No presente trabalho, foi apresentado sobre a produtividade, competitividade, meio ambiente e mercado consumidor das indústrias brasileiras de papel e celulose e como estas indústrias podem se adequar aos avanços tecnológicos da era digital, destacando os estudos de biotecnologia, nanotecnologia e controle e automação.

Palavras chave: celulose, papel, meio ambiente, tecnologia, sustentabilidade, competitividade.

1 INTRODUÇÃO

Desde os primórdios da humanidade buscavam-se maneiras de registrar os acontecimentos por meio de símbolos, desenhos e palavras em pedras ou metais de modo que os registros não se extinguissem com o tempo. Logo, com o tempo, surgiram interesses de obter um material prático para registrar os acontecimentos.

A invenção do papel foi anunciada pelo oficial da corte Chinês Ts'ai Lun, no ano de 150 e tem como origem o papiro, planta nativa dos pântanos egípcios.

Os chineses usavam fibras de árvores e trapos de tecidos cozidos e esmagados para a fabricação de papel. A massa resultante era espalhada sobre uma peneira com moldura de bambu e um pano esticado e submetida ao sol para um processo natural de secagem.

O processo remoto de fabricação de papel foi desvendado em 751, depois de um ataque, quando técnicos de uma fábrica de papel foram presos e levados para Bagdá, onde se começou a fabricar papel, também sem se revelar a técnica. Até que, no século XI, a novidade foi introduzida pelos árabes na Espanha e espalhou-se pelo Ocidente. (BRACELPA, 2013 apud SILVA, 2016).

No Brasil, o papel começou a ser fabricado em 1809, no Rio de Janeiro. E chegou a São Paulo com o desenvolvimento industrial proporcionado pela vinda de imigrantes europeus para trabalhar na cultura do café. Em sua bagagem, eles trouxeram conhecimento sobre o processo de produção de papel.

As Indústrias Brasileiras de papel e celulose adotaram o Kraft como processo de produção em prol das vantagens oferecidas e por ser um processo que se adequou no Brasil devido ao clima favorável, solo fértil e as matérias primas abundantes o que ajuda o país ocupar o segundo lugar no ranking dos países produtores de celulose de todos os tipos e ser o primeiro produtor mundial de celulose de eucalipto (IBÁ, 2018).

Há décadas, a indústria de celulose do Brasil desenvolve biotecnologia e engenharia genética para as suas florestas plantadas, o que favorece significativamente a produtividade florestal brasileira, levando nossas produtoras de celulose a um patamar extremamente competitivo quanto ao custo de produção, sendo o menor custo de produção em nível mundial. Além disso, mais de 65% de toda a energia consumida pelo setor é auto gerada no processo de produção de celulose, por meio da queima do licor negro, produzindo vapor.

A biotecnologia desponta entre as frentes estratégicas investigadas pela indústria de celulose e papel para incrementar a sua própria competitividade e ampliar o seu portfólio atual.

Por meio dela, é possível encontrar materiais genéticos de culturas florestais de melhor produtividade, tanto para as atividades atuais como para a produção de bioenergia e biocombustíveis. Em paralelo, os avanços da nanotecnologia indicam um trajeto eficaz para aumentar a resistência de alguns tipos de papel a partir de nanofibras de celulose e potencializar oportunidades para novos negócios, estendendo a atuação a outros setores. (BORDINI, 2018).

Sendo um setor impactante na economia brasileira que precisa de inovações para manter sua boa competitividade, o **objetivo geral** deste Trabalho de Conclusão de Curso é estudar o processo de fabricação da polpa e do papel, levando em consideração a produtividade das empresas, a competitividade, o meio ambiente e o mercado consumidor.

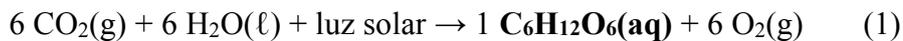
E enfatizando a área da graduação e a identificação do emprego do engenheiro químico nos processos, o **objetivo específico** é apresentar o processo produtivo das indústrias brasileiras sob a perspectiva da engenharia química, tal como o tratamento e recuperação dos seus efluentes e métodos tecnológicos inovadores sustentáveis ao meio ambiente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Será apresentada neste capítulo a Indústria de Papel e Celulose no Brasil enfatizando a produtividade, o meio ambiente e o mercado consumidor.

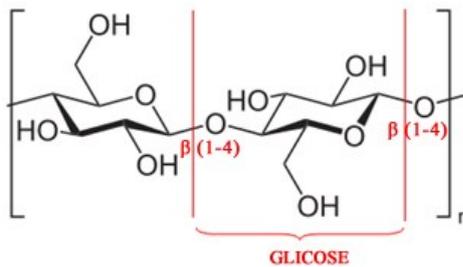
2.1 Celulose

As plantas realizam reações de fotossíntese, em que a água, o gás carbônico e a energia do sol retida pela clorofila produzem oxigênio e glicose, que é um carboidrato classificado como monossacarídeo:



As moléculas de glicose combinam-se formando polissacarídeos, que são polímeros de condensação naturais. Quando essa união ocorre por unidades de β -glicose, há a formação da celulose:

Figura 2.1 - Fórmula Estrutural da glicose.



Fonte: FOGAÇA (2018).

A celulose tem estrutura fibrosa e úmida, na qual se estabelecem múltiplas pontes de hidrogênio entre os grupos hidroxilas das distintas cadeias justapostas de glicose, tornando-as impenetráveis a água e, portanto, insolúveis, dando origem a fibras compactas que constituem a parede celular dos vegetais. (FOGAÇA, 2018)

Dois tipos de celulose, com diferentes características físicas e químicas, são utilizados na produção de papel: celulose de fibra longa ou de fibra curta. A primeira, originária de espécies coníferas como o pinus, plantada no Brasil, tem comprimento entre 2 e 5 milímetros. Já a segunda, com 0,5 a 2 milímetros de comprimento, deriva principalmente do eucalipto (BRACELPA, 2013 apud YUJI et al. 2013).

No Brasil, a madeira utilizada como matéria-prima para a produção de pasta celulósica provém, principalmente, de várias espécies arbóreas de eucalipto *Eucalyptus sppe* pinus *Pinus spp.* Outras espécies utilizadas como fonte de matéria-prima, embora utilizadas em pequena escala, são o pinho, ou o pinho-do-paraná *Araucara angustifoliae* a gmelina *Gmelina arborea*.

A Klabin é a única no Brasil a fornecer simultaneamente ao mercado três tipos de celulose a de fibra curta (eucalipto), fibra longa (pínus) e *fluff* - produzidas em uma única

unidade industrial inteiramente projetada para essa finalidade. A variedade de fibras se traduz em uma multiplicidade de soluções e combinações, que atendem às características de cada tipo de papel: produtos de higiene requerem maciez, resistência e capacidade de absorção; papéis para escrever e imprimir demandam resistência e opacidade; papéis especiais, com propriedades específicas, exigem composições sob medida (KLABIN, 2017).

2.1.1 Celulose de Fibra Curta

Produzida a partir de florestas plantadas de eucalipto, a celulose de fibra curta é utilizada em diferentes tipos de papel, como os do segmento de tissue (papel higiênico, toalhas e guardanapos, principalmente), papéis de imprimir e escrever e papéis especiais.

O Brasil segue como o maior produtor mundial de celulose de fibra curta.

2.1.2 Celulose de Fibra Longa

Proveniente de florestas plantadas de pinos, a celulose de fibra longa confere propriedades como resistência a papéis dos segmentos de tissue (papel higiênico, toalhas e guardanapos, especialmente), papéis de imprimir e escrever, embalagens e papéis especiais (diversos tipos de filtros e embalagens especiais). A combinação das celuloses de fibra longa e curta resulta em papéis de alta qualidade, que podem aliar diversas propriedades, como maciez, opacidade e resistência, em um único produto.

2.1.3 Celulose de Fibra *Fluff*

Convertida a partir da fibra longa de pinos, a celulose *fluff*, comercializada em bobinas, é ideal para aplicação em fraldas e absorventes de alta qualidade, com rápida capacidade de absorção.

Essa matéria-prima antes era apenas importada para o Brasil, passou a ser produzido em meados do ano de 2015.

2.2 Processo Industrial das Indústrias Brasileiras de Papel e Celulose

A polpação química, processo pelo qual a madeira é reduzida a uma massa fibrosa, apresenta como principais processos o Kraft ou Sulfato, onde são utilizados como reagentes no cozimento dos cavacos (toras de madeiras picadas) o NaOH, Na₂S e Na₂CO₃; o processo Soda que é muito semelhante ao sulfato sendo seus processos apenas alcalino e o processo Sulfito que utiliza bissulfeto de cálcio e dióxido de enxofre (SHREVE & BRINK Jr., 2008).

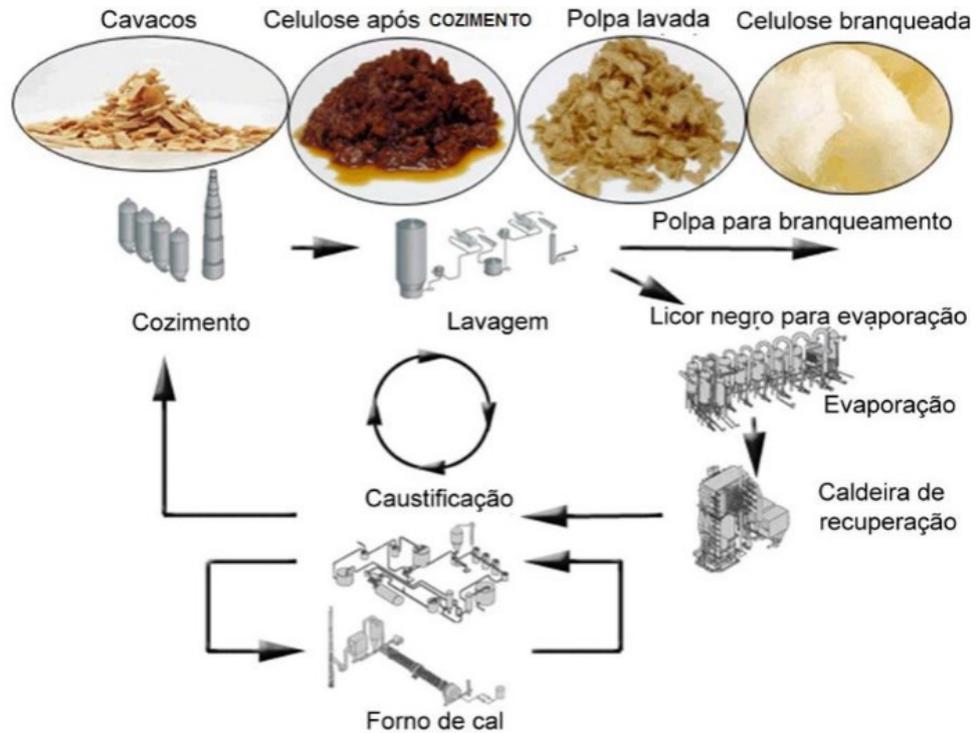
Atualmente no Brasil, cerca de 81% do processamento de madeira, é realizada pelo processo Kraft ou Sulfato, aproximadamente 12% pelo processo Soda e os restantes por outros processos. É interessante destacar, que as empresas do setor da madeira são divididas em três categorias:

- Indústrias produtoras de celulose: Fabricantes exclusivos de celulose
- Indústrias integradas: Fabricantes de papel e celulose de fibras longas e fabricantes de papelão e celulose de fibras curtas.
- Indústrias produtoras de papel: Fabricantes exclusivos de papel.

2.2.1 Processo Kraft

O processo mais adotado nas indústrias de papel e celulose brasileiras é o processo sulfato, denominado "Kraft" que consiste na separação das fibras de celulose dos outros componentes da madeira (lignina, polissacarídeos, carboidratos, entre outros) em meio alcalino. Nesta etapa, resumidamente, os cavacos de madeira previamente preparados alimentam continuamente o digestor onde são aquecidos com o licor de cozimento. Este licor de cozimento é constituído pelo licor branco e por uma parcela pequena do licor negro proveniente da etapa de lavagem. O licor branco é composto, principalmente, por uma solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH) e de sulfeto de sódio (Na₂S), na proporção molar aproximada de 5 para 2. Outros sais de sódio presentes neste licor (Na₂CO₃, Na₂SO₄ e em menores proporções NaCl) são inertes, não interferindo nas reações ocorridas no digestor. O licor negro adicionado tem a função de diluente, assegurando uma boa circulação da pasta e dos reagentes no digestor, sem introduzir uma quantidade excessiva de água (CARDOSO, 1998).

Figura 2.2 - Etapas do processo Kraft.



Fonte: MORKIFIESNK (2005).

No Brasil, o processo Kraft é o mais utilizado em função das vantagens oferecidas, apesar das desvantagens apresentadas.

Vantagens e Desvantagens do processo Kraft:

Vantagens:

- Ciclos mais curtos de cozimento, se comparado a outros métodos;
- Recuperação economicamente viável dos reagentes;
- Produção de pastas de alto rendimento;

Desvantagens:

- Baixo rendimento de polpação;
- Alto custo de branqueamento;
- Investimento necessário para montagem das fábricas é relativamente alto;
- Odor dos gases produzidos.

A seguir são destacadas etapas relevantes do processo Kraft que determinam o bom retorno e aproveitamento da celulose das árvores utilizadas.

I. Descascamento

Nas indústrias brasileiras há a etapa de descascamento para eliminar as cascas que possuem um teor de fibras relativamente pequeno e afetam negativamente as propriedades físicas do produto, portanto, a etapa de descascamento, é importante para reduzir a quantidade de reagentes no processamento de madeira e facilitar a etapa de lavagem e peneiração.

Industrialmente há diferentes tipos de descascadores como: descascador a tambor, descascador de bolsa, descascador de anel, descascador de corte, descascador hidráulico e o descascador de faca.

O resíduo industrial, as cascas, constituem de 10 a 20% da madeira total processada, podendo ser utilizado, como combustível para geração de vapor necessário ao processo.

As toras de madeira são colocadas no descascador que está em rotação. Com isso a constante fricção contra a parede do descascador e as outras toras faz com que as cascas se desprendam e sejam descartadas (IESA, 2018).

II. Picagem

O objetivo desta etapa é reduzir as toras à fragmentos, cujo tamanho facilite a penetração do licor de cozimento, utilizados nos processos químicos. Adicionalmente, os cavacos de madeira, constituem um material de fácil transporte (por correias ou pneumaticamente).

Os tipos de picadores que se destacam são os picadores de disco com múltiplas facas (mais utilizado) e os picadores de tambor.

III. Classificação

Após a picagem, os cavacos são classificados com o objetivo de separar os cavacos com as dimensões padrões para o processamento (os aceites), dos cavacos superdimensionados, que retornam ao picador e dos finos, que podem ser processados separadamente, ou então queimados na caldeira.

IV. Cozimento

Os reatores, chamados digestores são carregados com os cavacos; adiciona-se o licor branco de cozimento que contém essencialmente sulfito de sódio e soda cáustica e liga-se ao vapor de água. O licor branco cozinha em alta temperatura e pressão numa solução a 12,5% de NaOH, Na₂S e Na₂CO₃. O período de cozimento leva cerca de 3 horas. Esse licor causa a

dissolução da lignina, um polímero amorfo que confere firmeza e rigidez ao conjunto de fibras da madeira.

A polpa depois da separação do licor de cozimento é lavada. O licor de cozimento usado (licor negro ou lixívia negra) é bombeado para a estocagem para aguardar a recuperação das substâncias dissolvidas mediante evaporação e, depois, a combustão da matéria orgânica dissolvida nas fornalhas de recuperação para reutilização no processo (SHREVE & BRINK Jr., 2008).

V. Depuração

Ao sair do reator a pasta de celulose ainda apresenta licor preto e fibras, impregnados com lignina, por isso é submetida a uma lavagem com água quente, a fim de retirar tais resquícios, e assim o licor preto é encaminhado para o processo de recuperação enquanto as fibras são enviadas para o branqueamento. Outra vantagem da lavagem é que ela reduz o consumo de alvejante utilizado no branqueamento. O licor de cozimento usado (licor negro ou lixívia negra) é bombeado para a estocagem para aguardar a recuperação das substâncias dissolvidas mediante evaporação) e, depois, a combustão da matéria orgânica dissolvida nas fornalhas de recuperação para reutilização no processo (PIOTTO, 2003).

A polpa lavada passa para a sala das peneiras, onde atravessa grades, calhas de sedimentação peneiras, que separam quaisquer lascas de madeira não cozida, após o que entra nos filtros e espessadores.

Então é feita a deslignificação com oxigênio em meio alcalino, utilizando-se normalmente licor branco oxidado como álcali. Ele contém hidróxido e tiosulfato de sódio decorrente da oxidação do sulfeto presente no licor branco. Devido à baixa solubilidade do oxigênio no licor, a deslignificação é feita em reatores pressurizados em temperaturas elevadas (cerca de 100°C). Para preservar as propriedades da fibra é adicionado sulfato de magnésio. São utilizados reatores de média (10 a 15%) e de alta (25 a 30%) consistência em estágio único ou em dois estágios, visando aumentar a seletividade do processo.

A deslignificação com oxigênio, normalmente, é um estágio intermediário entre o cozimento e a etapa de lavagem da polpa marrom. A lavagem em prensas é feita em contracorrente de modo que o filtrado possa ser recuperado. O grau de deslignificação em estágio único é cerca de 40-50% e pode atingir até 70% em estágio duplo (MJOBORG, 1999).

VI. Recuperação do Licor Negro

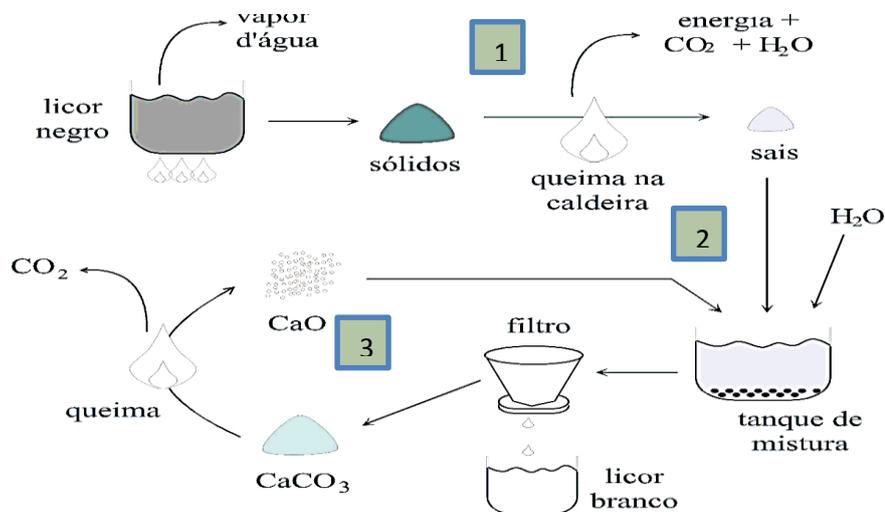
A etapa de recuperação do licor negro é uma das partes essenciais no processo "Kraft" e tem como objetivos:

- i) recuperação máxima dos compostos inorgânicos na forma de licor branco para ser reutilizado no digestor
- ii) geração de energia elétrica e vapor superaquecido para o processo, minimizando seus custos.

A seguir veremos o processo que cuja concentração do licor negro nos evaporadores de múltiplo efeito, a oxidação e a redução dos constituintes deste licor por meio da combustão do mesmo na caldeira de recuperação e a caustificação e a obtenção do licor branco são as sub etapas envolvidas nesta recuperação do licor negro (CARDOSO, 1998).

A seguir temos um fluxograma da Recuperação do licor negro resumido o processo em três etapas:

Figura 2.3 - Fluxograma da Recuperação do Licor Negro.



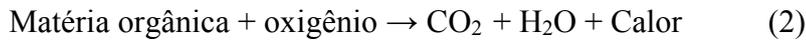
Fonte: GUT (2016).

Primeira Etapa:

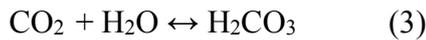
O primeiro passo da recuperação é tirar a água do licor negro. Para isso, ele é fervido até evaporar toda a água e só sobram os sólidos.

O NaOH e o Na_2S , desejáveis estão nesses sólidos, mas junto com eles está um monte de matéria orgânica da madeira para atrapalhar. Então, os sólidos são todos queimados numa caldeira. E o calor da combustão é usado para gerar energia para as outras partes da fábrica.

Ao queimar material orgânico, forma-se calor, gás carbônico (CO₂) e água (H₂O):



O CO₂ formado reage com a água, produzindo o ácido carbônico H₂CO₃:



Segunda Etapa:

Como o NaOH é uma base, ele reagirá com esse ácido para formar sal e água (é a reação de neutralização):



Após toda matéria orgânica ser queimada na caldeira, sobraram os sais Na₂CO₃ (carbonato de sódio) e Na₂S sólidos.

É preciso, então, transformar o Na₂CO₃ em NaOH dissolvendo esses sólidos em água e adicionando um ingrediente: a cal virgem, CaO. Quando o CaO se mistura com a água, forma uma suspensão de hidróxido de cálcio, Ca(OH)₂:



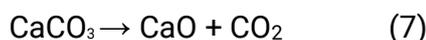
E o hidróxido de cálcio transforma o carbonato de sódio em NaOH:



Terceira Etapa:

O carbonato de cálcio (CaCO₃) que foi formado é um sal insolúvel e precipita. O sal é filtrado e temos uma solução de NaOH e Na₂S, o licor branco! Antes de reutilizá-lo, é preciso adicionar um pouco de NaOH e Na₂S novos para acertar as concentrações. Finalmente, é possível atingir o objetivo de obter o licor branco a partir do licor negro.

O CaCO₃ que foi filtrado é queimado num forno para obter a cal virgem, CaO, que pode ser reutilizada para transformar o Na₂CO₃ em NaOH, como mencionado (GUT, 2016).



O licor preto gerado nas etapas anteriores pode, a partir de tratamentos químicos, voltar na forma de licor branco para o cozimento de cavacos. Mas este resíduo antes de ir para a caldeira de recuperação deve passar por evaporadores para que sua concentração possa ser elevada, uma vez que baixas concentrações inviabilizam o processo de recuperação. Após a passagem pelos evaporadores, a concentração que era cerca de 14% de sólidos passa a ser acima de 80% de sólidos (COSTA, 2000).

Na caldeira de recuperação o licor preto concentrado é pulverizado através de bicos injetores. As gotas formadas entram em contato com o ar de combustão, sofrendo o processo de secagem e combustão, nessa etapa grande parte da água presente no licor é evaporada (SOSA, 2007).

Na saída dos evaporadores o licor negro é mandado para a caldeira de recuperação para ser usado como combustível pois é muito rico em material orgânico. Após a queima sobra apenas a parte inorgânica que será enviada para o processo de caustificação, onde ocorre a calcinação e é recuperada a soda cáustica.

O licor negro separado da polpa no lavador de polpa, ou difusor, contém de 95 a 98% do total de substâncias que entram no digestor. Os compostos orgânicos do enxofre estão presentes em combinação com o sulfeto de sódio. O carbonato de sódio está presente, assim como pequenas quantidades de sulfato de sódio, de cloreto de sódio, de sílica, além de traços de cal, de óxido de ferro, de alumina e de hidróxido de potássio. Este licor negro é concentrado, queimado e sofre encalagem. No forno, decompõem-se quaisquer compostos orgânicos remanescentes, o carvão é queimado e as substâncias inorgânicas são fundidas (SHREVE E BRINK Jr., 2008).

O licor concentrado é incinerado na caldeira de recuperação. O fundido *smelt* é dissolvido em licor branco fraco de modo a recuperar o enxofre e sódio. O licor verde clarificado resultante consiste de carbonato e sulfeto de sódio.

VII. Branqueamento

Por último, para melhorar as propriedades da celulose industrial como alvura, limpeza e pureza química, a polpa é branqueada em um processo que consiste em tratá-la com peróxido de hidrogênio, dióxido de cloro, oxigênio e soda cáustica em cinco estágios diferentes, com seus respectivos filtros lavadores. Após o branqueamento, a celulose é depurada novamente e enviada para a secagem. Nesta operação a água é retirada da celulose, até que esta atinja o ponto de equilíbrio com a umidade relativa do ambiente (90% de fibras e 10% de água). A máquina de secagem é constituída de três elementos: mesa plana, prensas e uma máquina

secadora. Na parte final da máquina secadora fica a cortadeira, que reduz a folha contínua em outras menores, de formato padrão, 67 x 92cm. Essas folhas formam os fardos com 250kg de celulose, oito dos quais constituem uma unidade de carga (de 2t) para fins de transporte e carregamento (PASSINATO, 2008).

2.2.2 Digestores

Figura 2.4 - Digestor da Indústria de Papel e Celulose.



Fonte: SUZANO (2014).

É relevante destacar os equipamentos mais importantes do processo de obtenção de celulose nas indústrias brasileiras, os digestores ou cozinhadores, que são vasos de pressão onde os cavacos de madeira são tratados com licor de cozimento de composição determinada, à pressão e temperatura estabelecidas, visando à produção da pasta.

O digestor é o equipamento-chave da fábrica de papel e celulose e sua etapa de cozimento pode variar de 30 minutos a mais de 3 horas podendo ser realizado na forma de batelada ou sendo contínuo (MATOS, 2018).

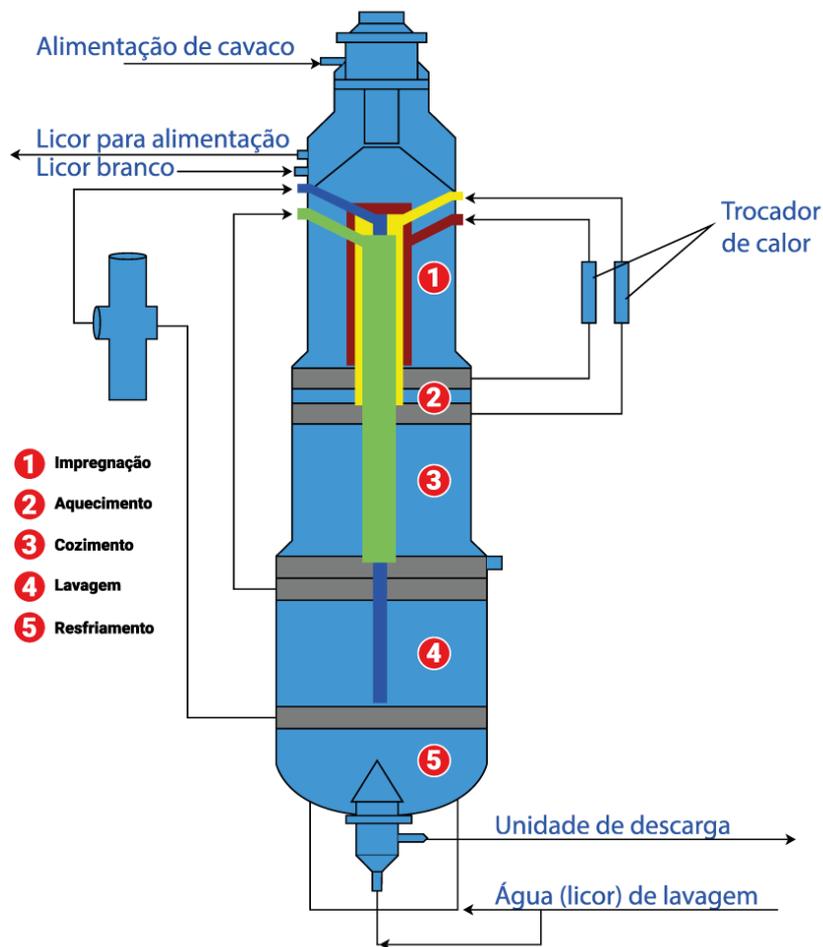
I. Digestores Contínuos

O digestor contínuo é um reator tubular vertical no qual ocorrem reações de deslignificação dos cavacos de madeira, em alta temperatura e pressão. Alimenta-se cavacos e uma solução alcalina (licor branco de cozimento), cujos componentes ativos são o hidróxido de sódio e o sulfeto de sódio (no processo Kraft). Os cavacos se movem em fluxo descendente,

sendo deslignificados gradativamente, saindo do equipamento em forma de polpa. No interior do digestor coexistem as fases sólida, líquida e vapor e papel e celulose está ligada aos fenômenos de transferência de calor e massa, bem como à evolução das reações químicas.

O cozimento pode ser dividido em cinco etapas nos digestores contínuos: impregnação, aquecimento, cozimento, lavagem e resfriamento.

Figura 2.5 - Digestor Contínuo.



Fonte: MATOS (2018).

1. Impregnação – promove a introdução do licor nos interstícios do cavaco, melhorando a eficiência do cozimento.
2. Aquecimento – a temperatura é elevada através do sistema de circulação forçada com o trocador de calor até que a temperatura de cozimento seja atingida.
3. Cozimento – reação exotérmica onde ocorre a deslignificação – variações: tempo de cozimento, temperatura, sufidez do licor, químicos da madeira, concentração.

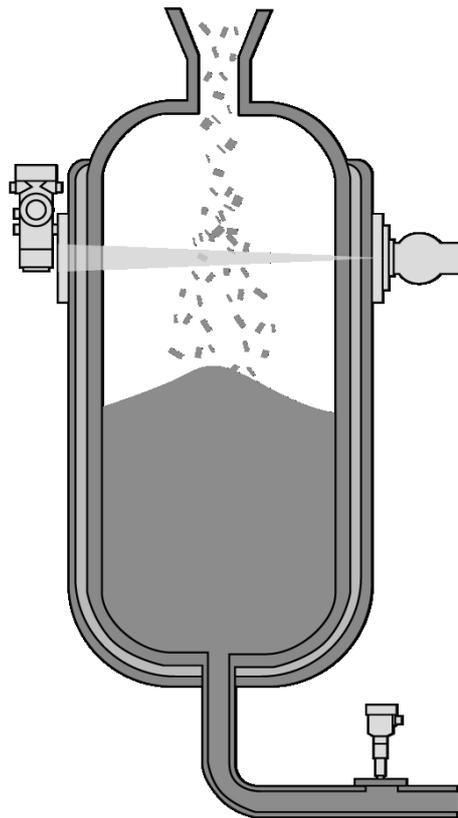
4. Lavagem – promove a retirada por lavagem e filtragem do licor negro.
5. Resfriamento – promove o desaquecimento da polpa e também ajusta a diluição na saída do digestor.

Após cozidos, resfriado e diluídos, os cavacos são descarregados uniformemente pelo fundo do digestor.

Para a medição de nível no digestor de forma contínua e de topo, por conta da complexidade do processo em termos de alta temperatura e pressão, o uso dos equipamentos convencionais de medição pontual por contato deixou de ser adequado para o controle do processo.

A solução que grandes especialistas em instrumentação e processo encontraram foi o uso de medidores radiométricos totalmente sem contato com o processo, sendo imunes às interferências do mesmo (MATOS, 2018).

Figura 2.6 - Medidor Radiométrico de um Digestor.



Fonte: MATOS (2018).

A medição de nível no digestor de forma contínua é tão importante que os principais players de fabricação de digestores já oferecem esses vasos com a solução de nível incorporada.

Para controle da vazão de abastecimento do digestor, é necessário utilizar balanças nas correias. Aplicações de balanças são extremamente complexas e requer altos investimentos de mão de obra.

As variáveis como vibração, inclinação, sujeira, desalinhamento de roletes, desgaste da correia e mudança no tensionamento da correia são alguns dos fatores que fazem essa operação ser demasiadamente trabalhosa.

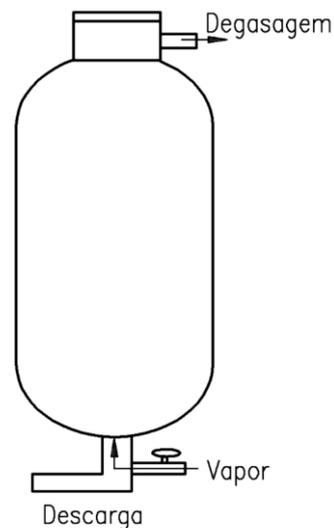
Idealmente, para driblar essas preocupações, utiliza-se a balança de tecnologia radiométrica, pois ela não sofre variações na medição com nenhuma dessas interferências.

Esta solução já é utilizada por grandes indústrias do mercado de celulose, assim como nas indústrias química, petroquímica, mineração e siderúrgica (MATOS, 2018).

II. Digestores Descontínuos

Nos digestores descontínuos, o cozimento é feito em bateladas, sendo dividido nas seguintes etapas: alimentação com cavacos pela parte superior do digestor, alimentação com licor, aquecimento, alívio de gases e descarga. No entanto, o aquecimento pode ser dividido em direto ou indireto. No digestor com aquecimento direto, o vapor é aplicado no fundo do digestor, conforme a Figura 2.7.

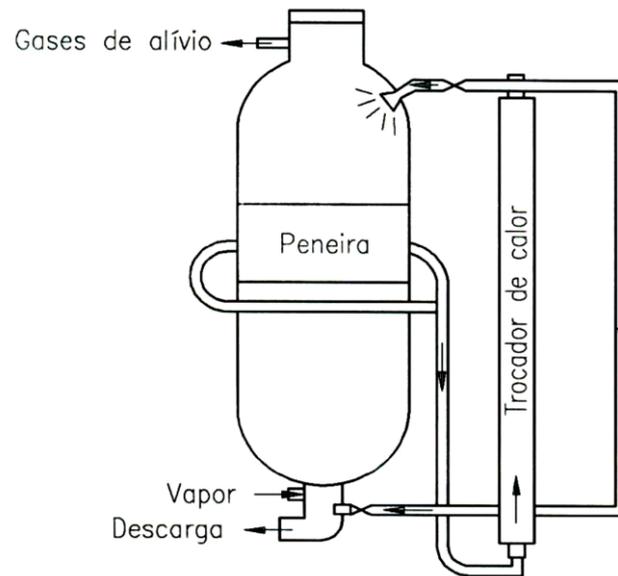
Figura 2.7 - Digestor descontínuo de aquecimento direto.



Fonte: MORKFIENSKI (2005).

Já no digestor com aquecimento indireto, o cozimento consiste em retirar o licor do digestor, por meio de uma bomba de circulação, aquecê-lo em um trocador de calor e devolver o licor ao digestor.

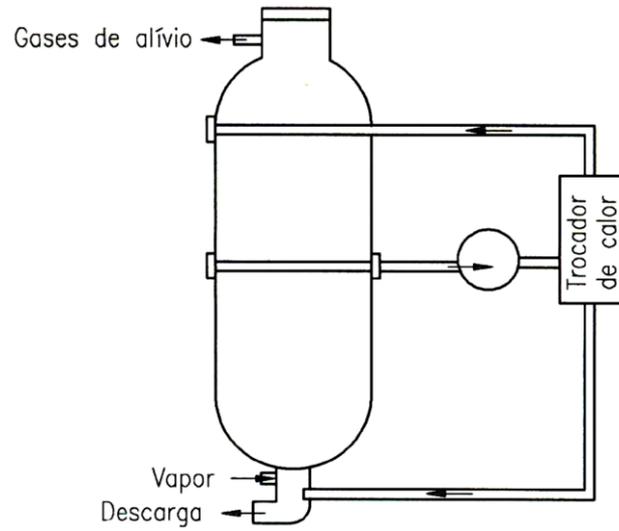
Figura 2.8 - Digestor descontínuo de aquecimento indireto.



Fonte: MORKFIENSKI (2005).

É necessário realizar a homogeneização do sistema. Esta pode ocorrer com ou sem circulação forçada. Com a circulação forçada o licor é retirado por sucção, normalmente pelo ponto médio do digestor, e devolvido ao sistema pelo ponto superior e inferior do digestor. A vantagem da circulação forçada é a uniformidade que esta proporciona ao produto e, conseqüentemente, a qualidade.

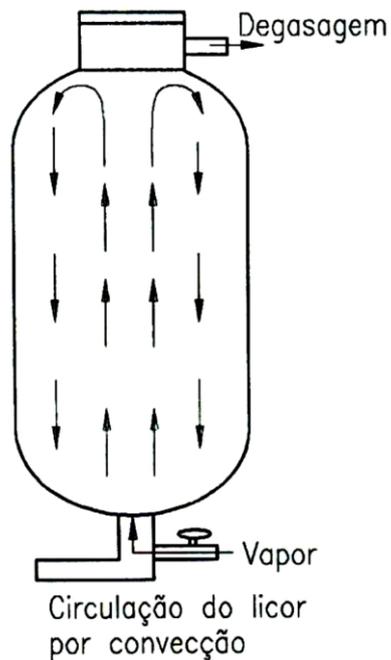
Figura 2.9 - Digestor descontinuo com circulação forçada.



Fonte: MORKFIENSKI (2005).

No digestor sem a circulação forçada, a circulação do licor ocorre somente por convecção natural.

Figura 2.10 - Digestor descontinuo sem circulação forçada.



Fonte: MORKFIENSKI (2005).

2.3 Processo de Fabricação do Papel

Logo após a chegada da celulose já pronta, os seus fardos são direcionados através de uma esteira de alimentação a uma máquina que se assemelha a um grande liquidificador, de forma cilíndrica e provida de grandes rotores giratórios ao fundo, conhecido como Hidrapulper. Sua função é desagregar as folhas de celulose misturando-as à água e tornando o conjunto em uma espécie de papa, cuja consistência assemelha-se à do leite.

I. Refinação

Nessa etapa, de modo a conseguir uma maior resistência do produto, é necessário “abrir” e reorientar as fibras da celulose. Este movimento de abrir as fibras faz com que se rompam as cadeias de polímeros originais, deixando-as abertas, e obrigando com que busquem outras cadeias abertas para se unirem em ligações por pontes de hidrogênio. Desta maneira a parede "danificada" de uma fibra irá se unir a outra, fechando a ligação, formando assim uma rede de fibras com resistência mecânica suficiente para formar uma folha de papel. Essas ligações, no entanto, são quebradas na presença de meio aquoso, ou seja, quando o papel é exposto à água a ligação se quebra e o papel se desfaz. Papéis resistentes à umidade possuem aditivos químicos que impedem a quebra dessas ligações. Para que isso ocorra, elas são descascadas a fim de remover uma de suas camadas. As fibras também são desfiadas, melhorando a flexibilidade e a aderência entre elas. O processo é feito em uma máquina denominada refinador, composto de dois discos face a face que giram em sentidos opostos, aplicando determinada tensão de cisalhamento à massa.

Tensão resultante de forças aplicadas, que causam ou têm a tendência para causar o deslizamento de partes contíguas de um corpo, uma em relação à outra, em uma direção paralela ao seu plano de contato.

II. Depuração

É um dos últimos processos antes da entrada na máquina de papel. Dá-se nos depuradores e é semelhante ao processo de filtração, retirando-se toda a sujeira, areia, partículas metálicas, etc, ainda existentes na pasta. Mas não só a filtração das partículas indesejadas esse processo realiza; também há o peneiramento fino, onde fibras pequenas demais que tendem a deixar o papel quebradiço são retiradas (essas pequenas fibras são desprezadas junto com o efluente).

III. Aditivação

Dependendo do tipo de papel que se deseja obter, nesse processo são adicionados componentes que podem ou não impermeabilizá-lo, conferir-lhe maior ou menor brancura, opacidade ou resistência mecânica (YUJI, 2013).

2.3.1 Máquina de papel:

Caixa de Entrada

Aqui, a massa pronta é colocada em uma esteira em constante movimento. Nesta esteira chamada de Tela Formadora, a espessura do papel é controlada pela quantidade de massa que é aplicada nela a cada segundo. A massa jogada na esteira forma uma fina camada de 5% de massa e 95% de água. E no meio da mesa plana, uma espécie de aspirador suga boa parte da água da lâmina de celulose. Essa etapa do processo, também conhecida como formação da folha, promove um entrelaçamento das fibras, dando resistência suficiente ao papel para que ele possa sair da mesa plana e percorrer os vários cilindros que compõem o resto do processo.

Prensagem

Esse processo tem basicamente dois efeitos sobre o papel: primeiro, retira a água entre as fibras e a aspiram. Segundo, aperta as fibras umas contra as outras, dando maior resistência ao papel e diminuindo sua espessura.

Cilindro Aquecedor

O papel passa por cilindros aquecidos a vapor, como se estivessem sido passados a ferro, retirando quase toda a água restante.

Rebobinamento

Por vezes essas grandes bobinas de papel (pesando toneladas) já se constituem no produto final, mas usualmente a unidade produtiva também efetua seu rebobinamento em suas próprias dependências, de modo a formar bobinas menores e facilitar o manuseio nas gráficas ou nas eventuais máquinas especializadas (YUJI, 2013).

2.3 Impactos Ambientais da Indústria de Papel e Celulose Brasileira

As indústrias de papel e celulose brasileiras são fortes contribuidoras para impactar o meio ambiente, seja pelos reflexos decorrentes da fase “agrícola”, em especial no que concerne à substituição de amplas áreas de floresta nativa por uma floresta homogênea (eucalipto ou pinus), seja pelo elevado consumo de água e utilização de produtos químicos.

É extremamente difícil avaliar-se o impacto global no meio ambiente causado pelos resíduos das indústrias de papel e celulose. Deve-se ter em mente, porém, que nenhum poluente

age por si próprio, e sim como parte de um complexo constituído por outros agentes físicos ou químicos, onde o efeito final é o resultado de muitos fatores atuando juntos. A natureza de tais interações ainda não é totalmente conhecida, sendo que a primeira condição para prever-se o impacto ambiental é conhecer como os resíduos se distribuem no sistema e similarmente ter um conhecimento da distribuição após um determinado tempo. Além disso, é necessário conhecer a taxa do metabolismo dos poluentes por microrganismos e animais. Os resíduos da fabricação de celulose e papel contêm uma ampla variedade de compostos com diferentes pesos moleculares e várias características e as espécies químicas que ocorrem nesta mistura complexa não somente são indefinidas até o momento como também difíceis de definir devido a sua alta reatividade, ou seja, a contínua transformação de compostos (CRUZ, 2017).

2.3.1 Emissões atmosféricas

O processo Kraft, em especial, é potencialmente danoso ao meio ambiente dada a poluição atmosférica decorrente da emissão de dióxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, material particulado e compostos orgânicos tóxicos (cloro e sulfetos de hidrogênio), bem como em razão da disposição inadequada e posterior lixiviação dos seus resíduos (QUINTIERE, 2012).

Além do uso intensivo da água o processo utiliza grandes quantidades de produtos químicos para degradação da lignina e branqueamento da polpa que também gera emissões atmosféricas poluidoras.

A recuperação de produtos químicos, vaporização, caldeiras (recuperação, biomassa e auxiliares), forno de cal e secagem da polpa também proporcionam elevada quantidade de emissões atmosféricas prejudiciais ao meio ambiente. A tabela a seguir, apresenta os principais poluentes atmosféricos e suas respectivas fontes geradoras, na indústria de papel e celulose:

Tabela 2.1 - Poluentes atmosféricos gerados na produção de papel e celulose

| PROCESSOS | POLUENTES |
|--------------------------|--|
| Caldeiras de Recuperação | MP, TRS, SO ₂ , NO ₃ |
| Caldeira de biomassa | MP, SO ₂ , NO ₃ |
| Tanque de dissolução | MP, TRS |

| | |
|---------------|--|
| Forno de cal | MP, TRS, SO ₂ , NO ₃ |
| Branqueamento | Cl ₂ . ClO ₂ |

Fonte: adaptado de MIELLI (2003).

2.3.2 Resíduos sólidos

A indústria de papel e celulose também gera resíduos sólidos constituídos de alto teor de matéria orgânica, sobre tudo, de fibras celulósicas. Os resíduos inorgânicos principais são os dregs, grits e lama de cal do processo de recuperação. A Tabela 2.2 relaciona os resíduos gerados em cada etapa de produção de celulose.

Tabela 1.2 - Resíduos gerados nas etapas de produção de celulose.

| ETAPAS | RESÍDUOS |
|----------------------|---------------------------|
| Descascamento | Casca suja |
| Picagem dos Cavacos | Serragem |
| Cozimento | Licor negro Dregs, Grits, |
| Lavagem | Lodo orgânico |
| Branqueamento | Lama de cal |
| Caldeira de Biomassa | Cinzas |

Fonte: MIRANDA (2008).

Esses resíduos podem ser transformados em produtos através de processos de reciclagem práticos e econômicos e destinados à utilização em plantios e outros fins

Casca e serragem: A casca e a serragem, além do fornecimento de energia para a própria fábrica, na queima da caldeira, são bastante usadas como compostagem. No caso da serragem, pode ser também é usada na fabricação de briquetes.

Lodo primário: Proveniente do sistema primário do tratamento de efluentes. Possui em geral, 50 a 60 % de material orgânico, principalmente fibras de celulose (MIELLI, 2007 apud MIRANDA, 2008). O lodo primário pode ser usado na confecção de blocos de cerâmica

vermelha, pois, segundo estudos realizados, o uso do resíduo tem como vantagens, o enriquecimento da massa argilosa por um plastificante e devido à presença de celulose, contribui para a redução do consumo de combustível durante a etapa da queima. Quando misturado à casca, pode ser aproveitado na compostagem.

Grits: Gerado na hidratação da cal da recuperação da lama de cal. É constituído areia, pedregulho, calcário e outras impurezas que não reagiram, podendo possuir, também, quantidades de CaO, Ca(OH), Na e CO. Usados para a estabilização química nas estradas florestais.

Cinzas: é o resíduo inorgânico, produto da combustão de cavacos, cascas, etc. São ricas em potássio, o que as confere um grande potencial para reutilização e aplicação no solo como nutrientes para plantas (MIELLI, 2007).

Lama de cal e Dregs: A lama de cal, extraída da caustificação do licor verde e o dregs, removido durante a clarificação do licor verde, podem ser usados como corretivos da acidez do solo (ALMEIDA, 2007).

2.3.3 Poluentes líquidos

Os sólidos suspensos, presentes nos efluentes das indústrias de papel e celulose, constituem-se principalmente de fibras ou partículas fibrosas. Esse material tende a sedimentar-se em áreas vizinhas ao ponto de descarga, formando leito de fibras onde pode ocorrer uma decomposição biológica com a conseqüente formação de gás metano.

Fibras finas em suspensão que não sedimentam causam no corpo receptor aumento de turbidez da água e redução de sua transmitância à luz; sintomas de asfíxiamento em peixes, influência em seu crescimento e alteração de sua composição sanguínea, etc.

Uma considerável parte dos componentes da madeira dissolvidos na água é facilmente biodegradável. Os teores de compostos facilmente biodegradáveis são mensurados através de demanda bioquímica de oxigênio — DBO, que constitui na quantidade de oxigênio consumida na oxidação bioquímica de matéria orgânica, em determinadas condições. Estes compostos são nocivos porque ocorre a absorção do oxigênio contido nas águas receptoras e isso afeta as espécies biológicas, porventura existentes, ocorrendo conseqüentemente um processo de fermentação.

Os compostos de biodegradação lenta são constituídos principalmente de substâncias de alto peso molecular (lignina e carboidrato), podendo sua presença ser estimada pela medida do teor da demanda química de oxigênio — DQO, que representa a quantidade total de substâncias oxidáveis presentes.

Tais compostos, geralmente, são coloridos e, portanto, influenciam a penetração de luz na água e a qualidade da água potável. Aqueles que possuem uma tendência à absorção por organismos vivos podem acumular-se e causar efeitos biológicos. Os efeitos tóxicos dos efluentes de fábricas de celulose têm sido intensivamente estudados e as pesquisas sobre toxicidade dos efluentes das várias etapas de uma fábrica kraft mostram que o licor negro e depois os condensados contêm os componentes mais tóxicos para os peixes.

Os estágios de cloração e alcalino na etapa de branqueamento frequentemente produzem efluentes com substâncias tóxicas. Os efluentes das fábricas de celulose podem afetar, também, o pH dos corpos receptores, podendo-se verificar que, geralmente, os altos valores (pH maior que 9) como os baixos (pH menor que 5) influenciam a vida biológica e aumentam o efeito tóxico dos efluentes. Sais inorgânicos dissolvidos normalmente não causam danos à vida aquática, entretanto, sais contendo nitrogênio e fósforo atuam como fertilizantes nos receptores, contribuindo para aumentar a velocidade de eutrofização (CRUZ, 2017).

2.4 Tratamento de efluentes

Mielli (2007) destaca que o tratamento de efluentes líquidos na fábrica de celulose é composto por quatro etapas distintas com diferentes objetivos:

- 1) Tratamento preliminar: Seu objetivo é remover os sólidos grosseiros. Nas fábricas integradas na produção de papel e celulose pelo processo kraft, São adotados dois tipos de tratamento preliminar que são o resfriamento do efluente e remoção dos sólidos grosseiros. Geralmente, o tratamento requerido nas fábricas, é o resfriamento do efluente, pois, este pode chegar à estação com temperaturas superiores a 45°C, e a temperatura ideal para o tratamento secundário biológico é de 35°C, devendo o mesmo ser resfriado antes de entrar no reator biológico.
- 2) Tratamento primário: Seu objetivo é remover os sólidos em suspensão;
- 3) Tratamento secundário biológico: O objetivo é reduzir a DBO solúvel.

Os tipos de tratamentos secundários biológicos utilizados pelas Indústrias de Papel e Celulose são:

- Lagoas de estabilização
- Lagoas aeradas
- Lodos ativados
- Filtros biológicos

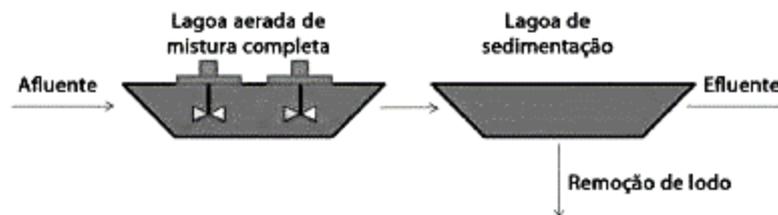
4) Tratamento terciário: Faz remoções adicionais de poluentes em águas residuárias, antes de sua descarga no corpo receptor; essa operação é também chamada de “polimento”. Os processos de tratamento terciário em estudo compreendem:

- Filtração para remoção de DBO e DQO;
- Cloração ou ozonização para a remoção de bactérias;
- Absorção por carvão ativado;
- Processo da pasta de cal e outros processos de absorção química que remova a cor;
- Redução de espuma e de sólidos inorgânicos através da eletro diálise, da osmose reversa e da troca iônica.

Dentre os segmentos industriais, a fabricação de papel e celulose destaque-se pelo grande consumo de água, cuja média é da ordem de 15 a 270 m³ de água por tonelada produzida. Na tabela abaixo apresenta-se as características típicas do efluente deste segmento.

Para correção do pH utiliza-se um tanque para equalização com mistura (mecânica ou aerada) equipamentos e bombas de dosagem de soluções ácidas e alcalinas associadas a sensores de pH instalados em campo ou em laboratório específico da ETE. Já a remoção de sólidos e matéria orgânica é efetuada por sistema biológicos aeróbios principalmente por lagoas aeradas ou lodos ativados, não sendo recomendado o uso de sistema anaeróbios, pois o efluente apresenta baixa carga orgânica e de difícil digestão, devido à presença de compostos como a lignina.

Figura 2.11 - Lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação.



Fonte: MARTINS NETO (2014).

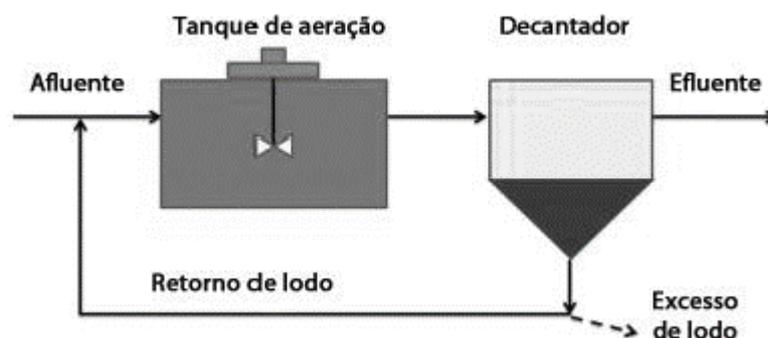
A lagoa aerada, consiste em geral em uma escavação no solo impermeabilizado através do uso de membranas geotêxteis, a profundidade média é de 3,0 a 4,0 metros com sistema de aeração mecânica ou difusa. Em geral tem-se optado pela aeração difusa devido às novas tecnologias com maiores eficiência de transferência com baixo custo de consumo de energia. O tempo de detenção hidráulico varia de 5 a 7 dias e a taxa de aplicação de carga orgânica volumétrica é de 40 a 60 DBO g/m³.dia de acordo com o local da instalação.

Após a lagoa aerada é necessário uma lagoa de decantação, para que a biomassa e parte dos sólidos sedimente para que o efluente possa sair clarificado. O sistema de lagoa apresenta o benefício de baixa geração de lodo em conjunto com reduzidos custos operacionais, porém requerem grandes espaços devido ao longo período de detenção hidráulico. A figura acima ilustra o processo de lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação. Já o sistema de lodo ativado possui um tanque de aeração com aeração superficial ou difusa assim como a lagoa aerada, porém o tempo de detenção hidráulica é menor e pode variar de 8 a 24 horas, a carga orgânica volumétrica é maior e está compreendida na faixa de 1,0 a 3,0 kg DBO/m³.dia.

Após o tanque de aeração existe o decantador final, que possui a mesma função da lagoa de sedimentação, porém o grande diferencial operacional do sistema de lodo ativado é o retorno da biomassa.

A manobra de recirculação do lodo do fundo do decantador secundário para o tanque de aeração permite que as células permaneçam por mais tempo no sistema, 10 a 25 dias, desse modo a operação emprega mais biomassa e assim o tempo necessário para oxidação biológica da matéria orgânica será reduzido. A figura abaixo apresenta o fluxograma típico do sistema de lodo ativado.

Figura 2.12 - Fluxograma do sistema lodo ativado.



Fonte: MARTINS NETO (2014).

Ainda especificamente no tratamento de efluente de indústria de papel e celulose, deve-se adicionar alguns macronutrientes e micronutrientes ao efluente bruto antes do tratamento biológico, pois em geral este é pobre em Nitrogênio e Fósforo (MARTINS NETO, 2014).

2.5 Competitividade entre as indústrias e mercado consumidor

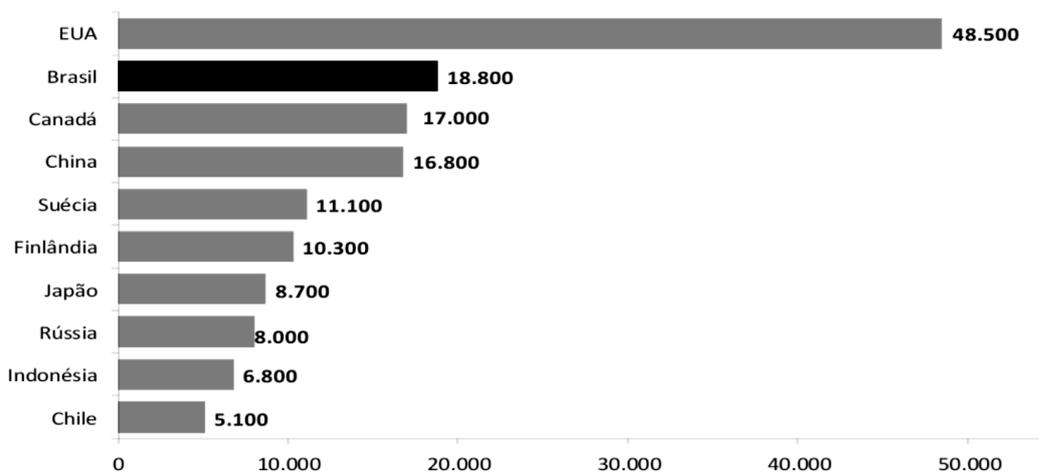
Partindo com a excelente vantagem climática e levando em consideração que o eucalipto leva em média 7 anos para crescer, enquanto que o pinus leva em média 15 a 20 anos, o Brasil é uma dos maiores competidores mundiais de produção de celulose. As indústrias sempre buscam árvores mais produtivas, com mais fibras e maior resistência às pragas, variações climáticas e salinidade.

A produção de materiais derivados de madeira também apresenta avanços, buscando oferecer alternativas mais leves e resistentes para diversos mercados, além de gerar matéria-prima para futuras biorrefinarias e para a produção de nanocelulose (FAIRBANKS, 2017).

O custo de produção de celulose no Brasil é o mais baixo do mundo e as indústrias brasileiras utilizam biotecnologia de engenharia genética que favorecem a produtividade Brasileira de modo que produção de 1,5 milhão de tonelada de celulose no Brasil requer 140 mil hectares de madeira, enquanto que na Escandinávia são necessários 720 mil hectares e na China 300 mil (IBÁ, 2018).

Nos Players mundiais o Brasil está no segundo lugar no ranking perdendo apenas para os EUA. Até o ano de 2016 o Brasil ocupava a quarta posição e passou a frente da China e do Canadá no Ranking, devido o início de operação da nova fábrica Klabin, no fim de 2017 e com a expansão da Fibria em Três Lagoas (MS).

Figura 2.1 - Principais produtores mundiais de celulose - mil toneladas.



Fonte: IBÁ, Bradesco (2016).

O aumento da importação chinesa teve uma alta colaboração no impulsionamento da produção de celulose brasileira nos últimos anos, tais importações foram graças ao fato de a

China estar substituindo a produção local de celulose com alto impacto no meio ambiente por matéria-prima mais sustentável e uma maneira de fazer isso é migrar da celulose que absorve menos carbono para a matéria-prima brasileira uma vez que a genética arbórea brasileira produz árvores mais capacitadas à absorção do carbono (SINPAPEL, 2016).

O setor de árvores plantadas encerrou 2017 com um superávit em sua balança comercial de 7,5 bilhões de dólares, alta de 12,9 por cento ante 2016, apoiado principalmente nas exportações de celulose conforme o levantamento da IBÁ (2017).

Os embarques da matéria-prima do papel geraram uma receita de 6,4 bilhões de dólares, 14 por cento maior na base anual, enquanto as exportações de papel somaram 1,9 bilhão de dólares e as de painéis de madeira totalizaram 289 milhões de dólares (MELLO, 2018).

Manter essa posição não seria possível sem a adoção de novas ferramentas, mais automatizadas e com forte apelo de redução de custos. O segmento vem adotando soluções de vanguarda, no campo da automação e da tecnologia de informação, de forma progressiva.

Devido a produção conjunta de celulose e energia, o processo Kraft se estabeleceu como dominante ao redor do mundo, porém é um processo altamente complexo, com várias unidades internas e alta demanda de capital inicial e requer grandes extensões de terra para o plantio de florestas capazes de suprir o empreendimento, com todos os custos logísticos disso decorrentes, e em vantagem, o Brasil ainda tem bastante terra disponível, mas a Europa e o Japão não, além do clima e variedades de árvores bem adaptadas, constituindo uma vantagem considerável contra concorrentes.

O processo kraft admite o uso da lignina como combustível para caldeiras, aumentando a geração de energia, que pode ser reforçada com a queima de resíduos florestais, óleos e outros. As amplas áreas também podem receber painéis fotovoltaicos e torres eólicas, aumentando a geração de energia para venda ao mercado. A incapacidade de aproveitar economicamente bem a lignina sobranete acabou por inviabilizar o processo Organosolv, criado no Canadá, que usava etanol como solvente.

Empresas, universidades e institutos de pesquisas estão desenvolvendo na Holanda o processo Deep Eutetic Solvents (DES) como alternativa ao kraft com o objetivo de reduzir emissões de gás carbônico em 80% e de aumentar em 50% o valor dos produtos obtidos.

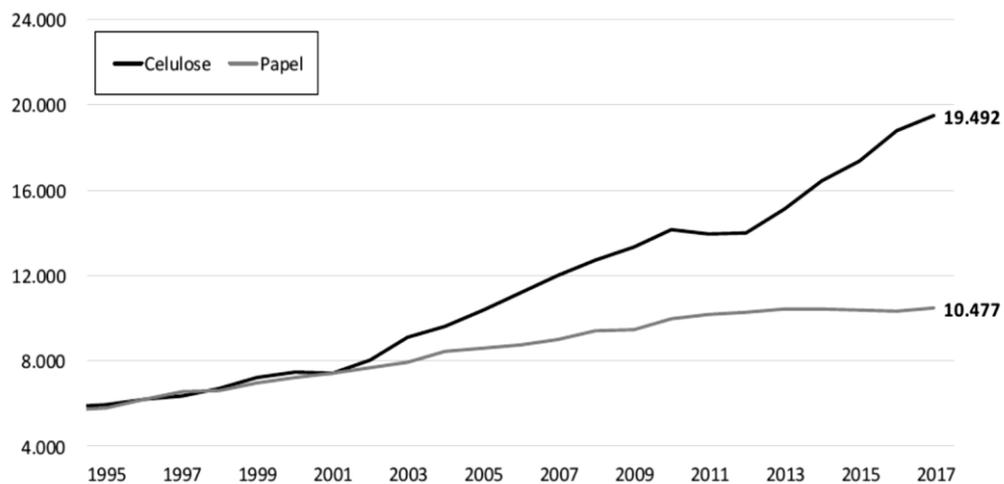
O DES trata-se de um grupo de solventes de alto ponto de ebulição que são produzidos pelas próprias árvores para manter líquida a seiva em seus vasos durante o ano todo. Esses solventes são capazes de dissolver seletivamente a lignina, hemicelulose e celulose, de forma rápida e eficiente, com baixo consumo de energia e bom aproveitamento de subprodutos. Os

insumos químicos consumidos nesse processo são baratos e recuperáveis (FAIRBANKS, 2017).

3 ESTUDO DE CASO: A ADAPTAÇÃO DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE BRASILEIRA AOS AVANÇOS TECNOLÓGICOS

As Indústrias de Papel e celulose no Brasil de fato possuem sua relevância e destaque na economia nacional e vêm aumentando significativamente suas produções devido à forte demanda e crescimento de consumo populacional que mesmo diante à mudança radical na vida das pessoas devido ao boom de tecnologia expandindo o uso de celulares, livros online e mais utilização de meios digitais, a indústria supera suas metas de produção a cada ano como mostrado no gráfico abaixo:

Figura 3.1 - Produção Brasileira de Papel e Celulose.



Fonte: IBÁ (2016).

Como maior produtora de celulose de fibra curta que produz papéis menos resistentes e pouca produção de fibra longa, que nesse quadro contemporâneo está sendo mais usada devido à sua utilização na confecção de muitas embalagens, as indústrias brasileiras precisam se adaptar e para um bom desempenho industrial e mais econômico, é necessário buscar novas tecnologias e meios cada vez mais sustentáveis que agrega custo benefícios para as Indústrias.

As maiores indústrias brasileiras de papel e celulose como a Klabin e a Suzano, utilizam de estratégias de inovações por meio de pesquisas e sustentabilidade, usufruindo do meio ambiente de forma consciente e responsável para garantir a perenidade das regiões.

Recentemente as indústrias brasileiras também têm se destacado em biotecnologia, nanotecnologia e melhoramento de controle e automação que é crucial para otimizar os

processos produtivos, tornando-os mais eficientes e seguros, além de garantir um produto final de melhor qualidade.

3.1 Biotecnologia na indústria de papel e celulose

A produção de papel e celulose atual se utiliza da biotecnologia principalmente na substituição de produtos químicos utilizados na produção por enzimas que melhoram a qualidade do produto final.

Durante o processo de produção, como o Kraft mencionado neste trabalho, a madeira é reduzida a uma espécie de pasta, na qual são adicionados produtos químicos para a extração dos seus subprodutos (a hemicelulose e a lignina), para que então ocorra a liberação da celulose da madeira.

A adição de alguns desses produtos químicos é prejudicial ao meio ambiente, e então a biotecnologia fornece enzimas, que substituem esses produtos e extraem a celulose de forma menos nociva.

As enzimas mais utilizadas nesse processo são as xilanases (que ajudam no branqueamento da pasta, de onde será extraído o produto), as lípases (que diminuem a goma liberada pela madeira) e as pectinases (que ajudam a tratar a água proveniente desse processo industrial) (NOVOZAYMES, 2018).

A Suzano possui uma subsidiária integral no ramo de biotecnologia chamada FuturaGene, que trabalha no desenvolvimento genético de culturas florestais e biocombustíveis. A FuturaGene, é pioneira em pesquisa e desenvolvimento genético de plantas para os mercados globais do setor florestal, de bioenergia e de biocombustíveis.

Com centros de pesquisa no Brasil, China e Israel, a empresa desenvolve tecnologia sustentável para atender à crescente demanda por culturas produtoras de fibra, combustível e energia, em um cenário de redução da disponibilidade de terras e de recursos hídricos.

A tecnologia em desenvolvimento pela FuturaGene enfoca duas plataformas principais: aumento de produtividade durante o crescimento da planta e melhor capacidade de processamento após a colheita; e proteção de cultivos para defendê-los de ameaças causadas por mudanças climáticas e diminuição de recursos naturais, além de possibilitar o uso de áreas marginais (SUZANO, 2017).

A indústria brasileira Klabin tem investido em biotecnologia para entender melhor a utilização de catalisadores biológicos como um recurso para reduzir o consumo de energia no refino de celulose para a fabricação de papel (KLABIN, 2017).

As empresas hoje contam também com a clonagem de eucalipto, principalmente de eucaliptos tropicais, que são aqueles plantados nas áreas mais quentes do país. Há um vasto

conhecimento sobre isso, em termos de propagação de plantas, silvicultura clonal, e há avanços em pesquisas para levar esses ganhos dos eucaliptos em climas subtropicais, plantados nas áreas mais frias do Brasil, onde ocorrem geadas durante o inverno.

A clonagem de eucaliptos também é fundamental para a economia das indústrias, uma vez que utilizando troncos heterogêneos a indústria tem mais gasto, porque precisa oscilar intensidade da caldeira e quantidade de agentes químicos, já que as fibras são diferentes e isso resulta na perda de parte do material. Nas toras clonadas isso não existe, já que a medida de cada etapa do processo de industrialização da celulose é constante (BERNARDO, 2009).

A tecnologia de clonagem de mudas foi totalmente desenvolvida no Brasil por pesquisas realizadas entre as empresas, a Embrapa e universidades, como exemplo de um ramo de pesquisa e inovação, temos a Clonar Resistência a Doenças Florestais que é uma empresa inovadora, vinculada à incubadora de empresas de base tecnológica da Universidade Federal de Viçosa (UFV) que desenvolve clones produtivos e resistentes a doenças para atender os diversos setores da cadeia produtiva florestal a ser disponibilizada para o mercado florestal.

3.2 Nanocelulose

Figura 2- Gel de nanocelulose.



Fonte: Jornal da USP (2018).

Em Busca diversificação no portfólio de produtos, a indústria que mais tem investido em pesquisas na área de nanotecnologia é a de papel e celulose. Um exemplo de pesquisa brasileira ocorre na Escola de Engenharia de Lorena (EEL) da USP, no Laboratório de Biocatálise e Bioprodutos onde estão sendo pesquisados novas rotas de obtenção e aplicação destas nanopartículas a partir de fibras celulose.

A partir da celulose é possível obter dois tipos de nanopartículas: a celulose nanocristalina e a nanofibrilada. A celulose nanofibrilada fica disposta em feixes paralelos organizados “como macarrões espaguete na embalagem”, enquanto a celulose cristalina (ou nanocristais) com aspecto de minúsculos bastonetes cristalinos “se assemelha a agulhas ou grãos de arroz, porém com espessura cerca de 200 mil

vezes menor”, exemplifica o coordenador do grupo de pesquisa, o professor Valdeir Arantes (COLOMBO, 2018).

Os nanomateriais celulósicos têm propriedades fotônicas e piezelétricas únicas e fornecem alta resistência e alta rigidez com baixo peso. As aplicações potenciais desses nanomateriais incluem o uso em componentes estruturais, materiais de construção e compósitos, papel e embalagens de alta resistência e componentes eletrônicos biodegradáveis. Esses atributos atraíram o interesse do Departamento de Defesa para uso em armadura leve e vidro balístico, bem como empresas dos setores automotivo, aeroespacial, produtos de consumo, eletrônicos e dispositivos médicos. Todos vêem um enorme potencial econômico para esses materiais inovadores derivados da madeira.

Os materiais de nanofibrila de celulose (CNF) são produzidos usando meios mecânicos, na verdade, uma versão altamente refinada de ser “quebrada em pedaços”. Os CNFs também são conhecidos como celulose nanofibrilada. O outro tipo principal de nanomateriais celulósicos os nanocristais de celulose (CNC), são estruturas em forma de bastão ou em forma de bigode, produzidas por meios químicos, como a hidrólise ácida (SPARTZ, 2012).

Na Universidade Federal do Paraná ((UFPR) a nanocelulose também foi estudada e recentemente suas pesquisas mostraram resultados utilizando a nanotecnologia para potencializar propriedades físicas e químicas que agregam maior valor à celulose para desenvolver uma membrana para uso na recuperação da pele queimada.

Os resultados mostraram que, por não ter porosidade, a membrana é adequada para aplicações como barreira e a característica de translucidez favorece o acompanhamento da cicatrização sem a necessidade de retirada do curativo para avaliação da ferida. Outra vantagem é o custo de produção, que poderá ser até mil vezes menor que o de curativos disponíveis no mercado. A tecnologia ainda passará por testes clínicos e deverá ser disponibilizada ao público dentro de quatro anos (CLARO, 2017).

O custo de produção de até mil vezes menor do que os curativos produzidos no mercado se baseia em cálculos que levaram em conta o uso da celulose branqueada oriunda da indústria de papel e celulose. Assim é crucial o surgimento de indústrias para produzir nanocelulose em uma escala maior, provavelmente será mais vantajoso comprar o gel de nanocelulose produzido por elas e suprimir uma etapa do processo. Mesmo se a empresa produtora de curativos quiser verticalizar a produção, ainda assim será possível ter um preço competitivo.

A nanocelulose, portanto é uma inovação muito bem qualificada e com investimento em pesquisas promissor o método de fabricação seria vantajoso em ser adotado pelas indústrias de papel e celulose brasileiras altamente competitivas e inovadoras.

3.2 Controle e automação nas indústrias de papel e celulose

Quanto maior o nível de automação industrial, maior a capacidade de a empresa adotar a conectividade para gestão e controle do processo produtivo. No caso da indústria de papel e celulose não há robôs gigantes, como nas montadoras de automóveis, mas há uma grande necessidade de controle de processos, de forma a reduzir o custo operacional e se tornar competitivo dentro deste mercado.

Não só as grandes indústrias brasileiras de papel e celulose, mas espalhadas em todo o território nacional e tradicionalmente familiares, as pequenas fábricas também procuraram na automação o meio de aumentar a produção e melhorar a qualidade.

Desde a década de 1990, com o desenvolvimento e a consolidação do mercado de papel e celulose no Brasil, as melhorias do controle e automação nas indústrias foram medidas diretas para garantir o sucesso das produções. Helder Alves Batista, engenheiro da Yokogawa, frisa que a automação confere maior estabilidade ao processo, considerando-se suas diversas variáveis. Segundo ele, esse é um dos principais fatores que levam as equipes de operação a atingir a excelência operacional. Além disso, com os diversos dispositivos e sensores monitorando o processo, a operação fica muito mais segura, o que influencia diretamente no custo de produção (MARTIN, 2014).

Como destaque para enfatizar a eficiência do controle e automação nas indústrias, pode-se citar as etapas de branqueamento que nas décadas de 1970 e 1980 apresentava uma média de sete etapas, mas hoje se limita a quatro devido ao avanço tecnológico dos equipamentos e periféricos de controle de processo.

Como resultado da automatização podemos citar dentre vários avanços eficazes, a compactação das salas elétricas, com a otimização do espaço disponível e a evolução dos componentes, a caustificação com filtros mais compactos em relação aos antigos clarificadores e deslignificação por oxigênio e os novos paradigmas de polpação que garantiram melhor qualidade da polpa e redução do consumo de químicos no processo, de modo a se alcançarem melhores parâmetros relacionados ao meio ambiente (MARTIN, 2014).

3.2.1 Ferramentas de Controle utilizadas nas indústrias de papel e celulose

Com a evolução da eletrônica industrial, os equipamentos evoluíram de pneumáticos para microprocessadores, o que permitiu sua monitoração por meio de softwares inteligentes, com autodiagnóstico, contribuindo para a manutenção e diminuindo o tempo de reparo dos equipamentos.

A automação trouxe todos os dados de monitoramento para uma tela de computador, evitando perda de tempo com deslocamento e verificação local, entre outras necessidades. Além do monitoramento centralizado, a manutenção ganhou sistemas de alarme, gráficos de desempenho, histórico de falhas, tempo de operação de equipamentos e outras informações que geram o dinamismo e a eficiência na manutenção. Considera-se o monitoramento assim realizado como a chave mestre que fez a manutenção passar de corretiva para preditiva e preventiva

Os mecanismos de gestão nas indústrias de papel e celulose, são compostos pelo Sistema Digital de Controle Distribuído (SDCD) e os Controladores Lógicos Programáveis (CLP) que mantêm todas as unidades produtivas sob uma mesma gestão.

O SDCD tem a principal função de controlar de processos para otimizar a produtividade industrial. Utiliza técnicas de processamento digital com o objetivo de proporcionar fácil manutenção no processo da planta da indústria. Oferece IHM que permite o interfaceamento com CLP's, controladores PID, equipamentos de comunicação digital e sistemas em rede.

Os sistemas de informação das indústrias permitem que todos os dados históricos de produção e desempenho sejam constantemente analisados e atualizados. Por fim, são as ferramentas de planejamento de recursos empresariais que conectam a comercialização às linhas de produção. Todas as fases, da produção até o enfardamento, se mantêm integradas e automatizadas (MARTIN, 2014).

3.3 Sustentabilidade

Os avanços das indústrias estão voltados para o melhoramento das atividades em prol da sustentabilidade como forma de proteção ao ambiente e ao mesmo tempo economizando matéria prima na própria produção.

É preciso reutilizar produtos e descartar o mínimo possível ao ambiente de forma que os gastos com processo de reutilização seja um investimento.

Começando pelas matrizes energéticas, as indústrias brasileiras buscam a utilização de combustíveis renováveis e para isso podem implantar novas caldeiras de biomassa que possibilita a implantação desses recursos.

A troca por novos equipamentos que consomem menos energia, também é uma pratica eficaz para ter uma matriz energética sustentável.

A consolidação de sistemas elétricos nas indústrias de papel e celulose que possuem alta demanda de energia também é fundamental para que a indústria poupe gastos com compras externas de energia e obtenha mais lucros.

É possível fazer um controle das emissões atmosféricas controladas por meio de Equipamentos de controle de emissões atmosféricas como os precipitadores eletrostáticos, ciclones e scrubbers.

- Precipitadores eletrostáticos: São equipamentos de carregam as partículas do gás com cargas elétricas negativas, que são atraídas através de eletrodos de placa, carregados positivamente. São equipamentos muito eficientes, atingindo remoções acima de 99% do material particulado presente no gás. Porém, são também, são demaior custo de operação e instalação. São usados geralmente na caldeiras debiomassa, caldeiras de recuperação e forno de cal.
- Ciclones: Equipamentos que utilizam a força centrífuga para separar as partículas maiores e mais pesadas do gás. Comparados aos precipitadores eletrostáticos, sua eficiência é relativamente baixa, mas seu custo é bastante inferior. Utilizados normalmente em caldeiras de biomassa.
- Scrubbers ou lavadores de gás: Utilizam o princípio de separação dos ciclones adicionados à lavagem dos gases usando dispersores de água. Dentre os diversos tipos de lavadores de gás, os mais usados nos tanques de dissolução de fundidos e caldeiras de biomassa, são os lavadores Venturini e ciclones múltiplos. A eficiência de remoção desses equipamentos, pode ser até de 98% (MIELLI, 2007 apud MIRANDA, 2008).

Na Unidade Suzano (São Paulo) houve uma redução de 67% na geração de gases do tipo NO_x, devido a melhorias na tecnologia eletrônica de controle dos queimadores das caldeiras de recuperação (SUZANO, 2016).

Os resíduos sólidos também necessitam de cuidados responsáveis, uma alternativa eficaz que vem sendo adotada é a implementação de sistemas para queimar 100% do lodo primário, gerado na estação de tratamento de efluentes, na caldeira de biomassa. Esse material, composto principalmente por fibras oriundas do processo, possui poder calorífico suficiente para ser utilizado como combustível alternativo.

Para a sustentabilidade dos recursos hídricos, são necessários tratamentos dos efluentes líquidos altamente tóxicos por meio das ETEs e forma moderna para que diminuía ainda mais a carga orgânica despejada nos rios que prejudicam o ecossistema já que as IPCs vêm enfrentando diversos desafios para cumprir, as normas ambientais mais rigorosas dentre eles a implementação de tecnologias inovadoras de tratamento de efluentes que possibilitem o lançamento de efluente com melhor qualidade no corpo receptor e, principalmente, a sua reutilização e/ou reciclagem dentro do processo produtivo, diminuindo, desta forma a captação de águas superficiais e a geração de efluentes.

A tecnologia de biorreator de membranas (BRM) é uma das opções potenciais para o tratamento de efluentes de indústrias de papel e celulose. Isto devido as suas elevadas capacidades de remover ampla variedade de compostos orgânicos e tóxicos, proporcionando efluente final com excepcional qualidade para reuso, a partir de instalações de tratamento mais compactas, automatizadas, modulares e, atualmente, com custo competitivo em relação aos demais sistemas convencionais de tratamento (NEVES et al., 2011).

E por último e como destaque relevante para a sustentabilidade, ressaltamos a produção do papel reciclado que diminui a poluição ambiente e economiza metade da energia, podendo-se chegar a 80% de economia quando se comparam papéis reciclados simples com papéis virgens feitos com pasta de refinador. As indústrias de reciclagem podem funcionar com mínimos impactos ambientais, pois a fase crítica de produção de celulose já foi feita anteriormente, entretanto, indústrias brasileiras de reciclagem, sendo de pequeno porte e competindo com grandes indústrias, às vezes subsidiadas, não fazem muitos investimentos em controle ambiental (RICCHINI, 2017). Portanto, seria interessante as grandes indústrias que não o fazem, anexarem o setor de reciclagem como forma complementar, sendo fornecedoras também de papel reciclado gerando mais lucros e empregos.

4 CONCLUSÃO

Ao longo desse trabalho, verificou-se a clara importância das Indústrias de Papel e celulose brasileiras para a economia do país sendo um meio altamente promissor para várias áreas e para a atuação do engenheiro químico no processo.

O setor de papel e celulose, sendo altamente dependente do meio ambiente, precisa sempre promover novas técnicas e reutilizar o máximo da matéria prima como forma de garantir as mesmas boas condições no futuro mantendo boas Estações de Tratamento de Efluentes, bem como equipamentos eficientes para remoção das emissões atmosféricas altamente prejudiciais e investimento no setor de reciclagem nas grandes indústrias.

A biotecnologia e a nanocelulose representam uma alternativa de investimento eficaz para a adaptação das indústrias de papel e celulose que, por serem mais produtoras de fibra curta do que longa, podem enfrentar um quadro crítico de produção no futuro, uma vez que com a era da digitalização os papéis para escrever ficarão cada vez menos necessários. Assim com essas alternativas as Indústrias podem passar a produzir não só papel e celulose, mas sustentar os outros setores com a incorporação eficiente da nanocelulose em matrizes poliméricas que poderão ser utilizadas para embalagens alimentícias, componentes plásticos

automobilísticos, ou embalagens em geral que é o setor em constante crescimento em decorrência da expansão do comércio eletrônico.

O setor de controle e automação também representa uma forte campo de competição das indústrias com sistemas digitais de controle, que aparecem associados aos sistemas de informação e de gestão de negócios economizando tempo de produção que é um dos ativos mais preciosos para as indústrias atuais.

O Brasil intensificando mais suas pesquisas tecnológicas a longo prazo com mais participação das universidades do país desenvolverá ainda mais sua tecnologia própria, e manterá seu destaque em relação a outros lugares do mundo.

Com todos os itens abordados no trabalho, é possível concluir então, que o setor de papel e celulose é um bem precioso para o Brasil que possui retornos em investimentos, de tal modo que está interligado a várias áreas que fornecem oportunidade de empregos e alta circulação de capital.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, H.C. **Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (DREGS), 2007.** Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000700032>.

Acesso em 11 ago. 2018.

BERNARDO, Rodrigo. **Clonagem do eucalipto: a primeira experiência do Brasil foi feita em Aracruz, 2009.** Disponível em:

<http://www.folhalitoral.com.br/site/?p=noticias_ver&id=224>. Acesso em 27 nov. 2018.

BORDINI, Luís Mário. **Um Brasil melhor, para um sertão ainda melhor, 2018.** Disponível em: <<https://www.abtcp.org.br/publicacoes/publicacoes/noticias/260-um-brasil-melhor-para-um-setor-ainda-melhor>>. Acesso em: 23 nov. 2018.

CARDOSO, M. **Análise da unidade de recuperação do licor negro de eucalipto no processo “Kraft”, avaliando alternativas de processamento.** Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, 1998.

CLARO, Francine Ceccon. **Elaboração e Caracterização de Filmes a Partir de Nanofibras de Celulose Vegetal.** Dissertação (Dissertação em Engenharia e Ciência dos Materiais) –

Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais - PIPE. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

COLOMBO, Simone. Jornal da USP. **Com propriedades exclusivas, nanocelulose revoluciona materiais.** Disponível em: <<https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/com-propriedades-exclusivas-nanocelulose-revoluciona-materiais/>>. Acesso em 25 nov. 2018.

COSTA, A. O. S. **Alternativas para o controle de um sistema de evaporadores de múltiplo efeito.** 164p. Tese (mestrado em Ciências em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000.

CRUZ FILHO, Paulo Bastos. **Controle ambiental em fábricas de papel e celulose, 2017.** Disponível em: <<https://revista.enap.gov.br/index.php/RSP/article/download/2157/1088>>. Acesso em 7 nov. 2018.

FAIRBANKS, MARCELO. Celulose & Papel: **Competitividade setorial pede reforço ao desenvolvimento de tecnologias inovadoras, 2017.** Disponível em: <<https://www.quimica.com.br/celulose-papel-competitividade-setorial-pede-reforco-ao-desenvolvimento-de-tecnologias-inovadoras/2/>>. Acesso em 15 nov. 2018.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Celulose;** Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/celulose.htm>>. Acesso em: 18 set. 2018.

GUT, Jorge Andrey W. **Como o Papel é Feito?, 2016.** Disponível em: <<http://www.riaeduc.org/papel-parte-1>>. Acesso em 20 out. 2018.

IBÁ, Indústria de Árvores Brasileiras. **Papel e Celulose,** 2018. DEPEC – Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/.../infset_papel_e_celulose.pdf>. Acesso em 20 ago. 2018.

IESA, **Fábrica de Descascador de Madeira para ANDRITZ /KLABIN.** Disponível em: <<http://www.iesa.com.br/site/noticias/descascadormadeira.htm>>. Acesso em 15 jul. 2018.

KLABIN, 2018 Disponível em: <<https://www.klabin.com.br/pt/home/>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

MARTINS NETO, Henrique. Revista TAE. **Tratamento de efluentes na indústria de papel e celulose, 2014.** Disponível em: <http://www.revistatae.com.br/7197-noticias?fb_comment_id=1380304105357292_1608604142527286>. Acesso em 20 nov. 2018.

MATOS, Elrian. **Medição de Nível no Digestor na Indústria de Papel e Celulose, 2018.** Disponível em: <<https://instrumentacaoecontrole.com.br/medicao-de-nivel-no-digestor-na-industria-de-papel-e-celulose/>> Acesso em: 13 set. 2018.

MELLO, Gabriela. **Produção de celulose no Brasil cresce 3,8% em 2017 e atinge volume recorde, diz Ibá, 2018.** Disponível em: <<https://extra.globo.com/noticias/economia/producao-de-celulose-no-brasil-cresce-38-em-2017-atinge-volume-recorde-diz-iba-22348998.html>>. Acesso em 22 Ago. 2018.

MIELI, João Carlos de Almeida. **Sistema de Avaliação Ambiental na Indústria de celulose e Papel.** Tese (Mestrado em Engenharia Química). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/618/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 5 nov. 2018.

MINE, E.Y. et al. **Produção Industrial de Celulose e Papel, 2013.** Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAgWYAK/celulose-papel>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

MIRANDA. R. E. S. **Impactos Ambientais Decorrentes dos Resíduos Gerados na Produção de Papel e Celulose.** Monografia (Monografia em Engenharia Florestal) – Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica,RJ. 2008.

MJOBORG, J. **Environmental Technology in Pulp and Paper Industries** (material apresentado no curso promovido pela SIDA-Swedish International Development Cooperation Agency). Markaryd. Sweden, 1999.

MORKFIENSKI. A, **Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel.** 2005.

NEVES, Ludmila Carvalho et al. **Biorreator de membrana: alternativa para o tratamento de efluente de indústrias de papel e celulose, 2011.** Disponível em <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/biorreator-de-membrana-alternativa-para-o-tratamento-de-efluente-de-industrias-de-papel-e-celulose/>>. Acesso em 20 nov. 2018.

NOVOZAYMES, **Biotecnologia na indústria de papel e celulose, 2016**. Disponível em: <<http://www.bioblog.com.br/biotecnologia-na-industria-de-papel-e-celulose/>>. Acesso em 20 out. 2018.

PASSINATO, Prof^a Cristiana de Barcellos. **Processo de Produção de Celulose**. Disponível em: <<http://crispassinato.wordpress.com/2008/07/19/processo-de-producao-de-celulose/>>. Acesso em: 15 out. 2018.

PIOTTO, Zeila Chittolina. **Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel - Estudo de Caso**. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003.

QUINTIERE, Marcelo. **Impactos Ambientais – A Indústria de Papel e Celulose**. Disponível em: <<https://blogdoquintiere.wordpress.com/2012/11/13/impactos-ambientais-a-industria-de-papel-e-celulose/>>. Acesso em: 27 out. 2018.

RICCHINI, Ricardo. **Reciclagem industrial de papel, 2017**. Disponível em: <<http://www.setorreciclagem.com.br/reciclagem-de-papel/reciclagem-industrial-de-papel/>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

SHREVE, R. N.; BRINK Jr., A., J. **Indústria de processos químicos**. Editora Guanabara Koogan S.A, Rio de Janeiro - RJ, 2008.

SOSA, I. R. H. **Sistemas multiagentes para controle inteligente da caldeira de recuperação**. 168 p. Tese (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

SILVA, Erica; Júlia Brandão e Mirna Mesquita. **Histórico - Surgimento e Evolução do Setor, 2016**. Disponível em: <<http://economyindustrialpapelecelulose.blogspot.com/2016/04/1.html>>. Acesso em 22 jun. 2018.

SINPAPEL, Sindicato das indústrias de celulose, papel e papelão no estado de Minas Gerais. **Brasil será o 2º maior produtor do mundo**. Disponível em: <<http://www.sinpapel.com.br/noticias/nacionais/brasil-sera-o-2o-maior-produtor-do-mundo>> Acesso em 22 ago. 2018.

SPARTZ, James. T. Forest Products Laboratory Office of Communication. **The Nanocellulose Pilot Plant – A “Game Changer” in the News.** Disponível em: <<https://www.fpl.fs.fed.us/labnotes/?p=213>>. Acesso em 12 nov. 2018.

SUZANO, 2018. Disponível em: <<http://www.suzano.com.br/negocios-e-produtos/biotecnologia/>>. Acesso em 24 maio. 2018.

Y, M. Erick. et al. **Produção Industrial de Celulose e Papel , 2013.** Disponível em: <<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAgWYAK/celulose-papel>>. Acesso em 20 jul. 2018.