Eucalyptus Online Book & Newsletter

°Celsius Degree / Grau Celsius

# Aspectos Práticos e Conceituais sobre a Fabricação de Celulose de Mercado do Tipo Kraft Branqueada a Partir de Madeira de Eucalipto

**Celso Foelkel**
http://www.celso-foelkel.com.br
http://www.eucalyptus.com.br
https://twitter.com/AVTCPEP
https://twitter.com/CFoelkel

**Julho 2013**

Eucalyptus Online Book & Newsletter

# EUCALYPTUS ONLINE BOOK

## CAPÍTULO 31

# Aspectos Práticos e Conceituais sobre a Fabricação de Celulose de Mercado do Tipo Kraft Branqueada a Partir de Madeira de Eucalipto

**Organizações Facilitadoras:**

**ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel**
http://www.abtcp.org.br/Home.aspx

**BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel**
http://www.bracelpa.org.br/bra2/index.php

**IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**
http://ipef.br/

## Empresas patrocinadoras:

**Fibria**
http://www.fibria.com.br/

**ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel**
http://www.abtcp.org.br/Home.aspx

**ArborGen Tecnologia Florestal**
http://www.arborgen.com.br/

**Ashland**
http://www.ashland.com.br/

**BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel**
http://www.bracelpa.org.br/bra2/index.php

**Celulose Irani**
http://www.irani.com.br/

**CENIBRA – Celulose Nipo Brasileira**
http://www.cenibra.com.br/

**CMPC – Celulose Riograndense**
http://www.celuloseriograndense.com.br/

**Eldorado Brasil Celulose**
http://www.eldoradobrasil.com.br/

**Klabin**
http://www.klabin.com.br/

**Lwarcel Celulose**
http://www.lwarcel.com.br/

**Pöyry Silviconsult**
http://www.silviconsult.com.br/

**Stora Enso Brasil**
http://www.storaenso.com/sales/publication-paper/central-and-latin-america/brazil/stora-enso-brasil/

**Suzano Papel e Celulose**
http://www.suzano.com.br

**Uma realização**

º Celsius Degree / Grau Celsius
*Negócios em Gestão do Conhecimento*

# Agradecimentos

Com esse capítulo, esperamos estar colaborando para um maior entendimento acerca dos fatores de sucesso e as tecnologias empregadas para a fabricação de um dos principais produtos de exportação do Brasil: a celulose kraft branqueada de mercado obtida a partir da madeira dos eucaliptos

Esse capítulo surgiu em função da necessidade de se colocar à disposição das partes interessadas da sociedade de uma espécie de guia explicativo sobre todas as etapas do processo de produção de celulose de mercado de eucalipto, em seus aspectos práticos e tecnológicos. Não temos com isso o objetivo de oferecer um texto completo e profundo, mas sim, uma coletânea de temas que irão descortinando aos leitores os principais aspectos e tecnologias

industriais e florestais que permitiram a esse setor se colocar como um dos mais competitivos da indústria brasileira.

Por incrível que possa parecer, não existem disponíveis na web muitas informações tecnológicas que permitam um entendimento de como a celulose de mercado de eucalipto é produzida e quais os principais fatores práticos e técnicos que fortalecem essa rede de valor no Brasil. Na verdade, existe uma enorme gama de informações, mas fragmentadas e dispersas, em geral, focadas em um ou outro tópico, mas raramente envolvendo uma explanação abrangente e variada sobre todas as etapas desse processo – desde a floresta plantada até o despacho do produto para o cliente final para a sua apropriada utilização. É exatamente por essa razão que optei por consolidar uma série de textos anteriores que eu havia escrito em anos recentes, procurando complementar com outros textos novos para compor esse capítulo, trazendo a vocês algo simples, versátil, amplo e mais que tudo - didático. Evidentemente, não se trata de um texto para aqueles que são doutores no assunto: o objetivo é exatamente outro – que estudantes, professores, políticos, administradores, legisladores, financistas, agricultores, jornalistas, etc., enfim, as chamadas partes interessadas da sociedade, possam conhecer mais sobre as causas de sucesso desse setor industrial. Até mesmo, pensei em escrever algo que também fosse muito útil para um grande contingente de pessoas que trabalham nesse setor, mas não diretamente na área industrial – com isso, elas poderão complementar e completar seu aprendizado acerca do que consiste esse processo industrial. Assim, acredito que elas possam inclusive oferecer contribuições mais adequadas às realidades fabris.

Quero também agradecer a alguns autores que têm disponibilizado textos de alta qualidade técnica e que podem perfeitamente se complementarem ao que estamos trazendo com esse capítulo. Graças a eles, tanto eu como vocês, poderemos enriquecer ainda mais nossos conhecimentos sobre esse processo industrial e suas causas de sucesso. Meu agradecimento a alguns amigos que enriquecem nossa literatura setorial com suas contribuições técnicas, em especial a:

- Admir Mora
- Alfredo Mokfienski
- Andréia Magaton

- Carlos Eduardo Núñez
- Francides Gomes da Silva Júnior
- Heizir Ferreira de Castro
- Honghi Tran
- Jorge Luiz Colodette
- José Lívio Gomide
- José Otávio Brito
- Luiz Ernesto George Barrichelo
- Marco Antônio Andrade
- Maria da Graça Videira Sousa Carvalho
- Maria Luiza Otero D'Almeida
- Miguel Ángel Mário Zanuttini
- Paulo Jorge Tavares Ferreira
- Sílvia Bugajer
- Umberto Klock
- Zeila Chittolina Piotto

Já a todos vocês leitores, agradeço mais uma vez toda a atenção e o imenso apoio. Todos vocês nos têm ajudado - e muito - a fazer do **Eucalyptus Online Book** algo muito útil para os técnicos e interessados por esse nosso setor de celulose e papel.

**A todos, um abraço fraterno e um enorme muito obrigado.**

**Celso Foelkel**

==========

# Aspectos Práticos e Conceituais sobre a Fabricação de Celulose de Mercado do Tipo Kraft Branqueada a Partir de Madeira de Eucalipto

## CONTEÚDO DO CAPÍTULO

A rede de valor correspondente à industrialização da celulose branqueada de mercado de eucalipto consiste de processos tecnológicos florestais e industriais vencedores e que se fortaleceram graças à inovação e à pesquisa

- OS EUCALIPTOS NO BRASIL
- GT-EUCA: GRUPO DE TRABALHO SOBRE O EUCALIPTO
- A INDÚSTRIA BRASILEIRA DE CELULOSE DE MERCADO DE EUCALIPTO E SEUS FATORES DE COMPETITIVIDADE
- ASPECTOS DA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL
- CARACTERÍSTICAS DESEJADAS NAS ÁRVORES DAS FLORESTAS DE EUCALIPTO
- ANATOMIA DA MADEIRA DO EUCALIPTO ASSOCIADA À POLPAÇÃO KRAFT
- QUÍMICA DA MADEIRA DO EUCALIPTO ASSOCIADA À POLPAÇÃO KRAFT

- PROPRIEDADES CELULÓSICO-PAPELEIRAS DAS MADEIRAS DOS EUCALIPTOS

- O PROCESSO KRAFT DE FABRICAÇÃO DE CELULOSE

- AS MELHORES TECNOLOGIAS E PRÁTICAS ORIENTADAS À PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT BRANQUEADA DE EUCALIPTO

- PROCESSOS TECNOLÓGICOS INDUSTRIAIS PARA CONVERSÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO EM CELULOSE KRAFT

- PROCESSOS TECNOLÓGICOS INDUSTRIAIS - PÁTIO DE MADEIRA E PRODUÇÃO DE CAVACOS

- PROCESSOS TECNOLÓGICOS INDUSTRIAIS - LINHA DE FIBRAS KRAFT

    - POLPAÇÃO KRAFT

    - LAVAGEM E DEPURAÇÃO DA MASSA NÃO BRANQUEADA

    - PRÉ-BRANQUEAMENTO OU DESLIGNIFICAÇÃO COM OXIGÊNIO

    - BRANQUEAMENTO DA CELULOSE

    - LIMPANDO A MASSA BRANQUEADA

    - FORMAÇÃO E SECAGEM DA FOLHA DE CELULOSE

    - ENFARDAMENTO, ESTOCAGEM E LOGÍSTICA

- PROCESSOS TECNOLÓGICOS INDUSTRIAIS - PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DO LICOR PRETO KRAFT

    - EVAPORAÇÃO DO LICOR PRETO

    - CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO

    - CAUSTIFICAÇÃO E FORNO DE CAL

- PROCESSOS TECNOLÓGICOS INDUSTRIAIS - SETOR DE UTILIDADES

- COGERAÇÃO DE ELETRICIDADE E DE VAPOR
- CONSUMO DE ÁGUA E FECHAMENTO DE CIRCUITOS
- TRATAMENTO DE EFLUENTES
- TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

– PROCESSOS TECNOLÓGICOS INDUSTRIAIS – CONTROLE DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

– PROCESSOS TECNOLÓGICOS INDUSTRIAIS – PRINCIPAIS INSUMOS E MATERIAIS REQUERIDOS NAS OPERAÇÕES INDUSTRIAIS

– ITENS VITAIS A SEREM OTIMIZADOS NA REDE PRODUTIVA DA CELULOSE E DO PAPEL DE EUCALIPTO - "DA FLORESTA AO PAPEL"

– AS FUTURAS FÁBRICAS DE CELULOSE KRAFT

– CONSIDERAÇÕES FINAIS

– REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

Da floresta plantada ao cliente de celulose de mercado...
Chaves para o sucesso dessa rede industrial

==========

# Aspectos Práticos e Conceituais sobre a Fabricação de Celulose de Mercado do Tipo Kraft Branqueada a Partir de Madeira de Eucalipto

## OS EUCALIPTOS NO BRASIL

Nas últimas décadas, conseguimos desenvolver uma fantástica tecnologia para plantar e fazer crescer florestas. Aprendemos a fazê-las desenvolver bem e produzindo madeiras especializadas para utilizações finais específicas. Os saltos de produtividade foram igualmente fantásticos: de crescimentos abaixo de 20 metros cúbicos por hectare.ano na década dos 60's para cerca de 40-55 m³/ha.ano na segunda década dos anos 2000's.

As plantações florestais foram desenvolvidas para produzir madeira (ou outros produtos florestais, igualmente), onde ela seja requerida pelas atividades empresariais, ou onde se necessite de uma fonte adicional de renda aos produtores rurais. Conquistamos, com elas e seus produtos, a admiração do mundo. Somos vistos como competitivos, competentes, detentores da mais moderna tecnologia florestal do planeta; em resumo, algo que nos enche de orgulho e de responsabilidades também. Temos tido muitos sucessos com os *Eucalyptus* e com os *Pinus*, mas outros gêneros como *Acacia*, *Araucaria*, *Tectona*, *Mimosa*, etc. também estão ganhando espaço. Em todos os segmentos, as razões de sucesso algumas vezes se

repetem, mas o inquestionável, é que o setor florestal brasileiro das florestas plantadas compõe uma apreciável parcela da geração de riquezas do País.

Recentemente, a ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas posicionou o setor de florestas plantadas como responsável por 4% do PIB (Produto Interno Bruto) do Brasil, algo realmente impressionante, pela tenra idade do negócio e da atividade no País. O gênero *Eucalyptus* tem participação fundamental nesse processo e é sobre isso que discorreremos nesse capítulo do Eucalyptus Online Book, onde procuraremos mostrar as razões que levaram essas árvores a ser a principal matéria-prima fibrosa para produção de polpa celulósica no Brasil.

Edmundo Navarro de Andrade, o pai da eucaliptocultura no Brasil, escreveu diversos e valiosos livros sobre os eucaliptos. Com uma forma coloquial de redação e de fácil e agradável leitura, seus fantásticos livros são atuais até hoje, mas infelizmente não muito consultados pela atual geração de silvicultores e acadêmicos. A maioria das obras de Edmundo surgiu no início do século 20, exceto a segunda edição da bíblia "O Eucalipto", que foi uma revisão e atualização em 1961, por Armando Navarro Sampaio e uma equipe de agrônomos, para comemorar a 2ª Conferência Mundial do Eucalipto (um evento da FAO – Food and Agriculture Organization junto a parceiros apoiadores brasileiros), que aconteceu naquela época em São Paulo. Em 2010, através uma ação conjunta com o IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais e ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, conseguimos juntos resgatar a maioria das obras de Edmundo Navarro de Andrade, Armando Navarro Sampaio e Octávio Vecchi e as disponibilizar para domínio público nos websites www.celso-foelkel.com.br, www.eucalyptus.com.br, www.ipef.br e www.abtcp.org.br. Com isso e com o efetivo apoio dos familiares dessas celebridades eucalípticas, foi possível descortinar para o mundo essas obras de inestimável valor histórico e que mostram a origem das plantações comerciais dos eucaliptos no Brasil. Na seção final desse capítulo, com as referências da literatura, é possível se encontrar os endereços na web por onde navegar nesses livros.

Temos ainda muito a aprender com os conhecimentos formados no passado, base dos atuais, para nos ajudar a conquistar o futuro que estamos construindo hoje. De acordo com Navarro de

Andrade, foi no Chile que os eucaliptos possivelmente primeiro chegaram à América do Sul, em 1823, por mudas lá deixadas por um veleiro inglês. É difícil precisar como e quando os eucaliptos ingressaram pela primeira vez no Brasil. Há controvérsias sobre o tema: teria sido no Rio de Janeiro em 1855; ou no Rio Grande do Sul, em 1868; ou ainda no RJ em 1865? Nos registros de Navarro de Andrade de 1939, ele afirma que quaisquer dessas introduções mostram verossimilidade e poderiam ter ocorrido, mas carecem de dados históricos e registros. Há inclusive uma citação importante, muito antes dessas datas até agora mencionadas, que acenam para dois exemplares de *E.gigantea*, que provavelmente tenham sido plantados no Jardim Botânico do Rio de Janeiro, em 1825. Navarro de Andrade também citava a possibilidade de que árvores de *E.globulus* tenham sido plantadas no interior de São Paulo, entre 1861 e 1863.

Independentemente de quando os eucaliptos entraram no Brasil, com certeza foi entre 1825 a 1868. As primeiras espécies aqui plantadas teriam sido *E.globulus* e/ou *E.gigantea*. No início, as árvores eram plantadas com fins decorativos, como quebra-ventos e pelo odor de seus óleos essenciais. Entretanto, em outros países, elas já se destacavam como produtoras de madeira, devido ao seu rápido crescimento e rusticidade. Isso levou Navarro de Andrade a considerá-las como potencial recurso madeireiro para a Cia Paulista de Estradas de Ferro, que necessitava de lenha, dormentes, postes e moirões.

Armando Navarro Sampaio, que continuou o trabalho do agrônomo Edmundo, conta a tenacidade e a determinação do mesmo na introdução dos eucaliptos para fins econômicos na Cia Paulista. Formado em 1902, em Coimbra / Portugal, Edmundo foi convidado em 1903 para o cargo de diretor do Horto Florestal de Jundiaí, em SP. Começou naquele horto, em 30.12.1904, seus primeiros estudos comparando o crescimento de espécies nativas e exóticas, quando plantadas em florestas homogêneas. Naqueles ensaios, os eucaliptos se destacaram tanto, que ele não teve dúvidas em recomendar a aquisição de um horto maior em Rio Claro, para intensificar a cultura dos eucaliptos. Em 1910, Navarro planta em Rio Claro, sua primeira grande coleção e em 1919 já possuía cerca de 120 espécies do gênero lá plantadas. Outras introduções de espécies ocorreram ainda mais tarde.

Navarro de Andrade era pessoa simples e não obstante seja hoje aclamado e reconhecido como o grande responsável pelo uso comercial dos eucaliptos no Brasil, naquela época também sofreu duras críticas de fazendeiros, políticos e outros "infalíveis conhecedores do assunto", como menciona Armando Navarro Sampaio. Entretanto, ele continuou seu trabalho. A empresa ferroviária comprou mais hortos florestais e a meta era tornar o combustível acessível às locomotivas, onde fosse requerido ao longo das linhas ferroviárias. Por volta de 1930, já se notava que a paisagem agrícola do interior de São Paulo se modificara, e os eucaliptos eram facilmente notados. Há estimativas de que em 1941, ano da morte de Edmundo, que tínhamos cerca de 24 milhões de árvores plantadas pela Cia. Paulista no estado de São Paulo. Já em 1960, esse número era de 46,5 milhões. As plantações paulistas serviam de exemplo para outros estados brasileiros, como Rio Grande do Sul, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Por isso, naquela época já se encontravam plantas de eucalipto por todas as regiões do Brasil. As primeiras espécies bem sucedidas foram: *Eucalyptus saligna, E.botryoides, E.viminalis, E.tereticornis, E.robusta, E.alba, E.grandis, E.paniculata, Corymbia citriodora, Corymbia maculata, E.camaldulensis, E.pilularis, E.propinqua, E.microcorys, E.triantha, E.punctata*, dentre outras. Já naquela época se falava em hibridação. Recomendava-se também o plantio do híbrido "eucalipto paulistano", que era um híbrido natural de *E.globulus* e *E.robusta*.

Já de início se perceberam que espécies diferentes forneciam madeiras para fins distintos como: lenha, carvão vegetal, postes, dormentes, vigas, celulose, papel, óleos essenciais, etc. Também se identificavam suas sensibilidades e tolerâncias ao clima, solo, déficit hídrico, etc. Estavam definitivamente lançadas as bases de nossa silvicultura competitiva e vitoriosa.

O sucesso inicial do crescimento da eucaliptocultura foi impulsionado pelo uso das toras das árvores como biomassa combustível (lenha e carvão) e depois pela fabricação de celulose e papel. Isso porque Navarro de Andrade se preocupara em desenvolver usos alternativos para os eucaliptos. Em 1925, ele levou pessoalmente para o Forest Products Laboratory, em Madison / USA, madeiras de *E.saligna* e *E.tereticornis* para ensaios para celulose e papel. Em 30.12.1925 menciona que "os auspiciosos resultados do FPL abrirão nova era na manufatura do papel no Brasil, uma vez que está provado que se reduziria à metade o custo de fabricação do

papel". Após a experiência exitosa nos USA, houve interesse seu em instalar uma fábrica de papel à base de eucalipto no Brasil, mas não conseguiu sensibilizar empresários ou governos. Paralelamente, incentivou os empresários brasileiros a avaliar o exemplo australiano, onde se produziam papéis com eucaliptos. Os processos e as espécies existentes na época mostravam potencial. Relata-se que a primeira empresa a fabricar e usar celulose e papel de eucalipto foi a Gordinho, Braune & Cia, em Jundiaí, com 10 toneladas diárias de produção, isso por volta de 1927. O papel continha 75% de fibras de eucalipto e o restante era de *Araucaria angustifolia*. Recordem-se que Navarro de Andrade havia começado sua carreira também em Jundiaí. Dois euca-goals para essa cidade.

Rapidamente, outras fábricas passaram a utilizá-lo: Matarazzo, Cícero Prado, Melhoramentos, Suzano, Simão. Nos 1960's, instala-se em Mogi Guaçu, a fábrica com mais de 100 toneladas diárias de produção, da Champion Papel e Celulose, um assombro para a época. Estávamos definitivamente no caminho do crescimento. Desde 1957 a Suzano desfruta a honra de ser pioneira na fabricação de papel branco com 100% de fibras de eucalipto. O Brasil passa então, a partir do final dos anos 50's, a conquistar suas copas, quer no futebol, como na indústria de celulose de eucalipto.

Durante as primeiras décadas das plantações florestais de eucalipto, seus usos eram mais restritos e as tecnologias silviculturais menos desenvolvidas. Vale lembrar, que até os anos 60's, não existia uma carreira de engenharia florestal no país. Silvicultura era uma ciência não tão avançada nas faculdades de engenharia agronômica. Praticamente, não existiam programas de pesquisa sobre a silvicultura e para a tecnologia dos produtos obtidos dos eucaliptos. Apesar do enorme esforço feito pelos pioneiros da Cia Paulista de Estradas de Ferro e do Instituto Florestal de São Paulo, os ritmos de crescimento das florestas plantadas eram bons para a época, mas longe dos atuais. Era comum o manejo através da condução de duas ou mais rotações. Com isso, os plantadores perdiam muita qualidade nas árvores das rotações conduzidas, pois era até mesmo recomendado pelos acadêmicos da época, que se deixassem dois ou três brotos a crescer por cada cepa. Isso para aumentar o volume empilhado de madeira produzida, mas com sensíveis danos em sua qualidade. Também, os eucaliptos tinham dificuldades em encontrar usos mais sofisticados para sua madeira, que não tinham sucesso nas serrarias e na indústria do mobiliário, pois rachavam e empenavam.

Por isso, as utilizações mais usuais eram para lenha, cercas, postes, dormentes e pequenas construções rurais. Nas indústrias de manufatura, serviam de matéria-prima para a de celulose e papel e para a de chapas de fibras e de aglomerados, onde não se tinham muitas exigências para a qualidade das toras. A produção de carvão vegetal para fins siderúrgicos era também um destaque, pois essa era mais exigente em peso de biomassa, apenas.

Em 1966, o Governo Federal brasileiro decidiu promover as plantações de florestas no País. Para isso, abdicou de parte do imposto de renda de cidadãos e empresas e instalou o Programa de Incentivos Fiscais ao Reflorestamento (PIFR). Esse programa vigorou até 1987, sendo que mais de 3,5 milhões de hectares foram relatados como tendo sido plantados. O sucesso do programa foi enorme, apesar das muitas críticas recebidas, muitas delas com justificadas razões. Afinal, sempre que se abre uma porteira, entram não convidados e não desejados, isso até nos dias atuais. Com isso, o programa teve também muitos desacertos, e é mais por eles que ficou lembrado. Entretanto, a intensificação das plantações favoreceu a pesquisa, o ensino, a inovação e o desenvolvimento. Com o crescimento da silvicultura no País, era necessário que crescesse a tecnologia e o conhecimento. Surgiram as primeiras escolas de engenharia florestal, em Curitiba, Viçosa, Rio de Janeiro e Piracicaba. Entre o final dos 60's e dos 70's surgiram e se consolidaram instituições fortes de pesquisa em florestas e madeiras como IPEF/USP (http://www.ipef.br), SIF/UFV (http://www.sif.org.br), IPT/SP (http://www.ipt.br), FUPEF/UFPR (http://www.fupef.ufpr.br), a Embrapa Florestas (http://www.cnpf.embrapa.br), dentre outras. Nasceram, a ABTCP (http://www.abtcp.org.br), a SBS (http://www.sbs.org.br), e muitas outras associações nacionais e regionais. Surgiram os cursos de pós-graduação em florestas e em celulose e papel. Apareceram os congressos ligados à engenharia florestal e seus produtos. Floresceram os programas cooperativos entre empresas e universidades para desenvolvimento de tecnologia através de pesquisas. Depois, foi só acompanhar o crescimento enorme da C&T nessas áreas.

Os grandes motores para esse desenvolvimento foram, sem dúvidas, o PIFR e o II PND (Programa Nacional de Desenvolvimento) do governo federal das respectivas épocas. Esse último programa privilegiava o desenvolvimento da siderurgia e da fabricação de celulose e papel, tanto para suprimento interno como para gerar

excedentes significativos para exportação. Em 1974, foi lançado o audacioso e ambicioso PNPC – Programa Nacional de Papel e Celulose para apoiar, com recursos do BNDE – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico (na época), o crescimento dessa indústria. O modelo exportador surgia e os empresários souberam fazer o dever de casa. Rapidamente, nossa indústria escolheu o eucalipto como sua matéria-prima preferida, tanto para a siderurgia, como para a celulose e papel. Cresceram as empresas existentes e surgiram novas e modernas aciarias (Usiminas, Açominas, Acesita) e fábricas de celulose (Riocell, Cenibra, Aracruz, Jari, Celulose da Bahia, Bahia Sul). As empresas de papel baseadas no eucalipto e que já existiam nessa época também cresceram e expandiram suas fábricas e fronteiras (Suzano, Ripasa, Simão, Champion depois International Paper, Klabin, etc.). Mesmo a Jari, no Pará, que começara com *Gmelina* e *Pinus*, migrou para o eucalipto e notou as vantagens da decisão. O setor de celulose e papel saiu das cerca de 700 mil toneladas anuais de produção de celulose em 1970 para cerca de 15 milhões em 2012, um crescimento médio de aproximadamente 7,5% ao ano. As estatísticas de áreas plantadas atuais não são totalmente exatas, até mesmo pela grande quantidade de pequenos talhões em fazendas para consumo na propriedade ou geração de alguma renda marginal. Sabe-se que hoje existem cerca de 5,1 milhões de hectares de florestas plantadas de eucaliptos no Brasil (ABRAF, 2013), sendo Minas Gerais, São Paulo, Bahia e Mato Grosso do Sul os principais produtores de plantações de eucaliptos. Minas Gerais, que com méritos se coloca como o estado líder em plantios de eucaliptos, consegue essa posição pelo destaque de sua siderurgia a base de carvão vegetal e pela produção de celulose para exportação.

Tecnologia e inovação têm sido fatores chaves de sucesso na competitividade do eucalipto. Inicialmente, por terem permitido desenvolver florestas produtivas com base em seu crescimento rápido, fruto do melhoramento genético e das práticas silviculturais. Concomitantemente, na tecnologia industrial, ao se produzir papéis e celulose de mercado de classe mundial em fábricas estado-da-arte. Hoje, estamos certamente vitoriosos na indústria de celulose e papel, temos inúmeras vantagens competitivas na área de biomassa energética, e estamos a desenvolver, com muito sucesso, desde o início dos anos 90's, o uso da madeira do eucalipto para produtos sólidos de madeira (madeira serrada, painéis, laminados, compensados, móveis, etc.). Ao mesmo tempo, as madeiras, que

vêm sendo desenhadas conforme seus usos finais estão em pleno desenvolvimento tecnológico, para as mais diversas finalidades. As novas alternativas que se desenvolvem hoje são as biorrefinarias integradas à fabricação de celulose e papel. Com elas, espera-se que o setor de celulose e papel seja mais ecoeficiente, mais competitivo e maior gerador ainda de riquezas. Nessas biorrefinarias espera-se produzir além de celulose e/ou papel, outros produtos valiosos como eletricidade, biocombustíveis e bioprodutos químicos. Tudo isso vem sendo resultado de muita inspiração, mas de muita transpiração também. E porque não dizer também, de coragem, determinação e integração.

Novos caminhos tecnológicos ainda se oferecem para desbravamento, visando a avanços sequer imaginados; além do atingimento da sonhada sustentabilidade que precisa ser praticada e reconhecida pela sociedade. Os espaços para inovações e desenvolvimentos se encontram às centenas. Além disso, há que se manter a competitividade conquistada, pois o ambiente dos negócios é definitivamente competitivo.

Fomos impulsionados à busca de tecnologias na eucaliptocultura, tanto pelas oportunidades como pelas ameaças. A primeira grande ameaça surgiu no início dos anos 70's, quando se notou que nossos eucaliptos da época estavam por demais hibridados, com seus genomas mesclados ou contaminados. Havia então a necessidade de se reintroduzir espécies e procedências, tudo como Navarro de Andrade havia feito, só que em escala muito maior. Um programa fenomenal de busca de material genético surgiu, envolvendo o governo através do PRODEPEF – Projeto de Desenvolvimento e Pesquisa Florestal e da Embrapa Florestas, com ampla participação das empresas e dos institutos de pesquisas florestais das universidades. Essas reintroduções permitiram crescimento de nossa base genética e a seleção desse material oportunizou um novo passo, que foi dado pela hibridação controlada seguida de clonagem. Outra ameaça concomitante veio potencializar inovações significativas no setor. As introduções de *Eucalyptus saligna* e *E.grandis* nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Bahia encontraram uma terrível ameaça. As árvores passaram a ser atacadas e dizimadas por uma doença fúngica, o "cancro do eucalipto". Resultado, a busca de espécies resistentes foi rápida, para salvar a eucaliptocultura nas regiões tropicais do país. Ao mesmo tempo, aperfeiçoaram-se as técnicas da hibridação e da propagação

vegetativa (clonagem) dos indivíduos que mostravam alta produtividade e resistência à doença. A clonagem do híbrido *Eucalyptus urograndis* foi o grande impulsionador do ritmo de crescimento florestal, bem como da qualidade mais homogênea das florestas plantadas. Inicialmente tímida nos anos 80's, a clonagem deslanchou nos anos 90's. Hoje, é a prática dominante no País para diversos tipos de híbridos ou para espécies puras. Paralelamente, as empresas mantêm bancos genéticos para que novos genes possam ser acionados, quando requeridos. Por isso, a importância do mapeamento genômico, outro sucesso atingido pelas pesquisas em consórcios universidades/empresas.

Atualmente, as empresas líderes conseguem produtividades médias de 40 a 55 m³/ha.ano, mas há muitos talhões crescendo com 60-70, ou mesmo mais. A madeira também está sendo melhorada para seu uso final, quer ele seja carvão, lenha, papel de impressão, papel higiênico, madeira serrada, móveis, etc. Temos hoje clones cujas madeiras se secam sem rachar, altamente viáveis para serrarias; temos madeiras especiais para laminação, painéis de madeira reconstituída, etc., etc. A tecnologia mudou e deu competitividade aos negócios, definitivamente. Uma surpresa para alguns executivos do setor que não acreditavam em pesquisas. Má sorte para eles, mas muitos sucessos para os que acreditaram.

O Brasil apresentou em 2012 uma área total de plantações florestais correspondentes a 7,186 milhões de hectares de efetivo plantio. Desse total, as plantações de eucalipto atingiram 5,1 milhões e as de *Pinus* 1,56 (ABRAF, 2013). O complemento corresponde a plantios de outras espécies como *Acacia mearnsii*, *Acacia mangium*, paricá, guanandi, seringueira, teca, cedro australiano, plátano, álamo, araucária, bracatinga, etc. Essa área de florestas plantadas corresponde a uma fração ainda pequena da área territorial do País (0,844%). Entretanto, existem regiões onde a concentração de plantações é bem superior a esse percentual (regiões específicas dos estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Bahia, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Maranhão, Tocantins, etc.).

Ainda é comum o entendimento por parte da população que as plantações florestais são monocultivos de árvores de baixo nível de biodiversidade. Em parte essa crença se aplica, caso se observe apenas a área de efetivo plantio da floresta com finalidades

comerciais. Entretanto, a gestão ambiental e o planejamento de uso da terra alocam extensas áreas de preservação natural, pelo desenho de eficientes mosaicos florestais, que são conhecidos como mosaicos de sustentabilidade ou mosaicos florestais sustentáveis. Com isso, os mosaicos eco-florestais oferecem duas funções vitais: produção e conservação.

O setor florestal brasileiro está consciente que as atividades concentradas da silvicultura afetam o ambiente e podem ter impactos negativos nos ecossistemas e nos recursos naturais. Por isso, aplicam práticas de bom manejo florestal, que em sua quase totalidade são garantidas por sistemas de certificação florestal. Os "Planos de Manejo Florestal" estão tornados públicos e explicitam de forma clara e objetiva o que as empresas vêm promovendo em termos de suas atividades, ações, crenças, metas e valores.

Os objetivos das empresas florestais brasileiras são os normalmente esperados em atividades empresariais: crescer, competir, liderar, inovar e resultar. Todas possuem forte vocação de ampliação da capacidade produtiva, até porque a escala de produção é um dos fatores alavancadores de competitividade. Levando em conta esse crescimento potencial, há expectativas de que o setor venha a plantar no curto prazo no mínimo 1,5 a 2 milhões de hectares de florestas de eucalipto, adicionalmente ao que existe hoje. Isso principalmente para atender ao crescimento das necessidades de matérias-primas para produção de celulose, papel, chapas e painéis de madeiras, carvão vegetal de finalidades siderúrgicas, biomassa energética, etc.

Também o crescimento da base florestal em propriedades rurais de pequeno e médio porte é esperado acontecer com intensidade. Isso porque a "madeira de reflorestamento" tem-se tornado uma interessante alternativa para a diversificação da produção agropecuária. Sistemas integrados do tipo ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta) têm sido preferidos por muitos agricultores com a finalidade de oferecimento de alternativas novas na produção rural. O plantio de florestas por produtores rurais tem despertado o interesse das entidades públicas já que evita o êxodo rural e aumenta o emprego nas áreas rurais. Também oferece resultados econômicos adicionais aos agricultores e benefícios ambientais relevantes, principalmente a utilização da madeira de

reflorestamento ao invés de madeira de matas nativas na própria propriedade rural (lenha, cercas, postes, construções, etc.).

Com todas essas possibilidades, não há dúvida alguma que a silvicultura de plantações florestais tenderá a crescer no Brasil, demandando cada vez mais pela disponibilização de zoneamentos ecológico-econômicos que privilegiem as atividades florestais. Isso facilitaria o planejamento conservacionista e produtivo das diversas regiões do País: colocaria o crescimento em rotas corretas e permitiria mais tranquilidade aos investidores.

Dessa forma, a eucaliptocultura continuará a contribuir para a crescente participação do setor florestal na economia brasileira e para a maior presença de seus produtos nos mercados internacionais de produtos madeireiros. É importante frisar que o crescimento desse setor não se deve apenas às condições edafoclimáticas favoráveis, mas principalmente pela intensa agregação de valor tecnológico florestal e industrial. Isso só foi possível pelas amplas atividades de inovação tecnológica que ocorrem nas empresas florestais, em parceria com universidades, institutos de pesquisas, etc.

Os grandes desafios atuais vêm sendo alcançar patamares de altíssima produtividade florestal em regiões pioneiras (novas

fronteiras florestais, como os estados de Tocantins, Piauí, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Maranhão, Goiás, etc.) e consolidar entre os participantes desse negócio o conceito de sustentabilidade florestal.

Ao se falar em sustentabilidade nas empresas de base florestal estão sendo focados basicamente quatro vertentes distintas, mas que se interligam de forma íntima:

**Sustentabilidade do negócio:** é o interesse do empresário que seu negócio continue competitivo no futuro, conseguindo crescer e/ou manter sua participação no mercado ("market share"). Significa manter o negócio em uma posição competitiva, não perdendo terreno para os competidores e garantindo um desempenho cada vez melhor nos mercados.

**Sustentabilidade da capacidade produtiva do sítio florestal:** é a busca da manutenção ou melhoria da produtividade da área florestal, controlando os fatores que podem reduzir a capacidade produtiva da área, como erosão, fertilidade, pragas e doenças, umidade, matocompetição, estresses, etc., bem com o desenvolvendo materiais genéticos mais produtivos e adaptados.

**Sustentabilidade ambiental ou ecológica:** consiste na adequada utilização de práticas preservacionistas, que minimizem os impactos ambientais das plantações florestais sobre a biodiversidade, solo, regime de águas, clima e também ao homem.

**Sustentabilidade social:** consiste em garantir condições de perpetuidade para a espécie humana, de forma que ela possa não apenas sobreviver no planeta, mas em ter a desejada felicidade.

O resultado desses quatro enfoques conduz à Sustentabilidade ou ao Desenvolvimento Sustentável, que têm seus fundamentos nos aspectos econômicos (Negócio), ambiente (Natureza) e sociais (Ser Humano). Caminhamos rapidamente nesse sentido, ele nos interessa: aos empresários, trabalhadores e sociedade. Muitas novas tecnologias estão sendo gradualmente introduzidas, com mitigação de impactos adversos. Há ainda muito a desenvolver, a inovar e a

implementar, sem dúvidas. Mas há o interesse e a conscientização, ambos cada vez maiores.

Uma coisa é absolutamente verdadeira em relação ao setor e à sua sustentabilidade: é preciso se plantar florestas e elas precisam ser produtivas e sustentáveis. Quanto maior a produtividade e a sustentabilidade, mais nós estaremos suprindo as demandas da sociedade humana com menor necessidade de área plantada e maior oferta de produtos. Com isso, estaremos ajudando a preservar as fontes de madeira de florestas nativas, aquelas que por anos foram rapinadas por gerações e gerações no mundo todo. A sustentabilidade de um sítio florestal também se mede por sua capacidade de manter a perpetuidade da produtividade florestal. Esse ponto é vital – perder produtividade pode significar empobrecer o ecossistema e depauperá-lo para as gerações futuras.

É importante reforçar que esses ritmos elevados de crescimento florestal são fundamentais para o sucesso das plantações florestais. Uma razão econômica para esse fato é que o processo de reflorestamento tem maturação longa. O dinheiro colocado hoje no plantio, só retornará alguns anos à frente. Em países com escassez e alto custo do dinheiro, como o Brasil, quanto mais cedo retornar o dinheiro com resultados econômicos, mais alegre fica o investidor. Muitas vezes isso é bom para o investidor, mas não é tão legal para o meio ambiente. Em geral, a madeira é uma matéria-prima de baixo preço, principalmente se for para produtos tipo *commodities* como papel e celulose. Esses produtos possuem preço real de mercado decrescente com o passar do tempo, logo isso exige que sejam produzidos de formas mais eficientes e com mais baixos custos,

sempre e sempre. Por outro lado, esse aumento de produtividade tem também seus impactos que precisam ser avaliados, monitorados e minimizados. Áreas extremamente produtivas precisam de manejo florestal diferenciado, senão correm o risco de serem depauperadas no longo prazo.

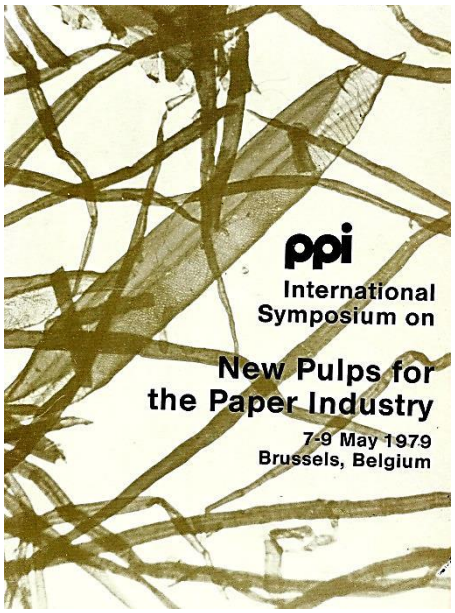
A certificação florestal das plantações, do manejo e dos produtos da floresta plantada vem sendo uma maneira aberta e transparente para mostrar que as empresas de base florestal estão buscando a requerida e desejada sustentabilidade. Uma empresa florestal certificada por um selo de credibilidade mostra que está cumprindo a legislação, que tem formas de avaliar e controlar seus impactos ambientais, que é submetida a auditorias externas de terceira parte e que possui um programa de melhoria contínua. A certificação florestal é uma boa combinação dos quatro níveis anteriores relatados para sustentabilidade.

As recentes decisões de promover o desenvolvimento florestal junto ao produtor rural, multiplicando-se florestas em programas agroflorestais, permitirão maior equilíbrio ambiental e social, bem como a melhor divisão das riquezas geradas pelas florestas plantadas. A transferência de tecnologia, dos melhores genótipos e dos conhecimentos adquiridos ao produtor rural mostram que estamos começando a praticar mais os conceitos de sustentabilidade e a sermos menos egoístas. Com essa nova sistemática, as florestas poderão trazer mais benefícios sociais e mais segurança ambiental, pois elas estarão muito melhor distribuídas nos ecossistemas. Entretanto amigos, não se esqueçam, a real sustentabilidade só será alcançada, quando distribuirmos igualitariamente os ganhos entre negócio, meio ambiente e pessoas. Toda vez que houver um desequilíbrio favorecendo um dos pilares, quem perde será a sustentabilidade, e por extensão, as gerações futuras. Se privilegiarmos só o desenvolvimento social, ou só o ambiente, as empresas perderão lucratividade, não gerarão empregos e impostos e não mais investirão em projetos ambientais e sociais. Se pensarmos egoisticamente só nos nossos negócios e nos esquecermos do ambiente e das pessoas, poderemos degradar nossas fontes de matérias-primas naturais e dos insumos e também perderemos a confiança e a motivação das pessoas. Logo, saber achar o equilíbrio é a missão fundamental dos empresários, governos e cidadãos. Como sempre, teremos pontos de vista diferentes entre as partes interessadas. O diálogo e os compromissos mútuos devem ser

incentivados. Isso é algo que não está acontecendo na intensidade que deveria. Mais fóruns, mais pesquisas com finalidades múltiplas, mais tecnologias desenvolvidas visando à sustentabilidade são requeridas. Uma meta importante que hoje as empresas plantadoras de florestas devem ter é encontrar melhores maneiras para dialogar e se comunicar com as partes interessadas. Isso significa que novas ciências estão chegando agora às plantações de eucaliptos: a sociologia e a antropologia. Esse é um mundo definitivamente em mudanças. E muito desafiador e excitante também.

==========

## GT-EUCA
## GRUPO DE TRABALHO SOBRE O EUCALIPTO




Ao final dos anos 1960's, o Governo Federal brasileiro já conhecia e se entusiasmara com as florestas plantadas de eucalipto, que naquela época já abasteciam com sucesso diversos processos industriais, como as fábricas de chapas e aglomerados de fibras, de preservação de peças de madeira para postes e moirões, e em especial, empresas fabricantes de celulose e papel. Havia toda uma história de determinação e de esforço de pesquisas e estudos que culminaram para que, naquela época, a fabricação de celulose sulfato ou kraft branqueada de eucalipto já fosse uma realidade. Eram

quatro grandes empresas brasileiras de papéis brancos (Suzano, Champion, Papel Simão e Ripasa) que fabricavam produtos de qualidade competitiva e que encantavam os clientes brasileiros, mas existiam outras de menor porte que também se destacavam (Cícero Prado, Matarazzo, Spina, etc.). Isso despertou a ideia de promover o crescimento desse setor no Brasil, tanto para atendimento da demanda interna, como para gerar excedentes para exportação. De início, o Governo cuidou sabiamente de incentivar a formação de uma base florestal de florestas plantadas de eucaliptos e de pinheiros. Isso se conseguiu pelo conhecido e divulgado PIFR - Programa de Incentivos Fiscais ao Reflorestamento (Lei nº 5.106, de 02 de setembro de 1966) que perdurou por mais de duas décadas.

A seguir, esse apoio e estímulo ao crescimento industrial foram fortalecidos através do II PND – Segundo Plano Nacional de Desenvolvimento, que entre outros programas englobava o I PNPC – Primeiro Plano Nacional de Papel e Celulose, durante o governo Ernesto Geisel (1974-1979). Surgiam então as grandes estrelas celulósicas da época: Borregaard em 1972 (depois Riocell e hoje Celulose Riograndense), Cenibra, Aracruz (atualmente Fibria), Jari, Celulose da Bahia (atualmente Bahia Specialty Cellulose), CELPAG Guatapará (hoje International Paper do Brasil), e mais tarde, em outros momentos, a Bahia-Sul (hoje Suzano) e a VCP (atualmente Fibria). Elas se juntaram naqueles tempos às igualmente competitivas Suzano, Ripasa (hoje Suzano), Simão (hoje Fibria), Champion (atual International Paper do Brasil), Klabin, etc. Mais tarde, ao longo dessa história de sucessos, algumas empresas foram mescladas a outras, algumas desapareceram, outras mudaram de localização, ou de controle acionário. E a vida continua..., isso é parte da história de qualquer setor empresarial.

O grande desafio do final dos anos 70's era convencer Europa, Ásia e USA que a fibra do eucalipto não era uma fibra qualquer, que devesse ser barata para servir só para enchimento no papel - ou apenas uma celulose *filler*, como era vista inicialmente pelos europeus. Os descontos praticados pelas áreas comerciais no início das operações para introdução dessa polpa levaram aos muitos consumidores do mundo a se acostumarem com as fibras curtas e ímpares dos eucaliptos. Hoje, quase todo papeleiro precisa de fibra curta em suas receitas e o eucalipto tem sido a alternativa mais procurada para isso.

Também frequentemente nos esquecemos de que a história da difusão comercial e do *marketing* técnico da celulose brasileira de eucalipto se baseou em um dos melhores trabalhos cooperativos de comunicação e pesquisa tecnológica que se conhece no setor.

Nos anos 70's, as fábricas de celulose branqueada de mercado de eucalipto no Brasil surgiram antes de se ter um mercado desenvolvido para essas fibras. A primeira delas foi a Indústria de Celulose Borregaard (depois Riocell) no Rio Grande do Sul, que exportava uma celulose não branqueada para a Noruega. Lá essa polpa era branqueada e vendida na Europa com o nome de UNICEL – a primeira das polpas com fibras brasileiras orientadas tipicamente para exportação.

Naquela época pioneira, tínhamos fibras relativamente desconhecidas saindo na forma de fardos, mas não sabíamos ainda a quem e onde poderíamos vender a um preço competitivo. Tampouco tínhamos qualificação técnica para orientar os papeleiros estrangeiros sobre a melhor maneira de se produzirem papéis de qualidade com receitas adequadas às condições que eles praticavam. Havia a necessidade urgente de se unirem esforços para a conquista do mercado externo. Esse era um objetivo das empresas que foram sendo criadas e orientadas para a exportação, mas que contaram com o apoio das empresas que abasteciam o mercado doméstico. Essas últimas viam com preocupação o super-abastecimento do mercado interno se as fábricas exportadoras não conseguissem cumprir seu objetivo exportador. As fabricantes domésticas de papel de impressão/escrita e de higiênicos já haviam desenvolvido seus papéis com até 100% de fibras de eucalipto e se orgulhavam disso em suas fábricas integradas. Por razões diversas, comerciais ou técnicas, nacionalistas ou não, mas com a meta de se escoar essa nova e superprodução para o mercado externo, todos se juntaram em outro exemplo fundamental para o sucesso da indústria vencedora que somos hoje. É absolutamente incrível e notável que empresas como Suzano, Champion, Ripasa, CELPAG, Cícero Prado e Papel Simão abriram as portas de seus bancos de dados e de seus conhecimentos técnicos para ajudar o sucesso das novas empresas entrantes. Essas empresas mais antigas já haviam perdido inúmeros de seus profissionais técnicos para essas novas fábricas, e ainda assim se associaram ao propósito de "vender uma imagem e produtos de qualidade para o mundo – a celulose e o papel fabricados com fibras de eucalipto". Algo que muito dificilmente teria acontecido

nos dias muito mais competitivos e aguerridos de hoje. Quando noto que hoje as empresas e as pessoas ou não têm tempo, ou não têm interesse em trabalhar em comissões setoriais, lembro-me com saudades da época em que isso era um requisito vital para o sucesso do setor.

Em 1977, aconteceu a primeira reunião do programa cooperativo GT-EUCA, tendo sido ela abrigada pelo CTCP – Centro Técnico em Celulose e Papel, que tinha o Dr. Leopold Rodés como seu diretor executivo. O GT-EUCA resultou como decorrência de uma necessidade da indústria de celulose e papel da época: a grande carência de conhecimentos técnicos sobre o eucalipto, sendo esse um dos pontos fracos para que esse setor se tornasse vencedor, já que começava a surgir como uma fonte de riquezas e de exportações do Brasil. Essa demanda foi detectada em uma das reuniões do Planejamento Estratégico do Setor de Celulose e Papel, no início de 1977, que tinha a coordenação do CTCP – Centro Técnico em Celulose e Papel, um órgão de pesquisas e estudos técnicos do IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo.

O GT-EUCA foi então criado "com o objetivo de dar suporte técnico à estratégia mercadológica de exportação de pastas celulósicas brasileiras de eucalipto" (em ata de reunião do GT). Ele tinha, entre suas inúmeras funções, as seguintes:

- Colaborar para o maior conhecimento das polpas brasileiras de eucalipto em comparação às celuloses que existiam nos mercados internacionais;

- Desenvolver a competitividade do eucalipto como fibra celulósico-papeleira;
- Aperfeiçoar as tecnologias de produção kraft para essa matéria-prima;
- Equalizar a linguagem técnica entre os diferentes novos atores do setor;

- Suprir informações e criar argumentações que valorizassem a fibra curta do eucalipto para os diversos de seus potenciais usos pelos papeleiros internacionais. Na época, os anúncios das polpas de eucalipto se abstinham de incluir a frase "fibra curta de eucalipto", pois isso era entendido (imaginem...) como um demérito para essas polpas.

• Harmonizar os ensaios analíticos das polpas celulósicas para que elas estivessem em sintonia aos padrões internacionais (dai o surgimento do Programa Interlaboratorial de Ensaios do CTCP). Na época, havia uma enorme confusão entre metodologias de ensaios, já que se estava em uma era anterior às normas ISO para celulose e papel – International Organization for Standardization.

• Valorizar o uso do eucalipto e a qualidade dos papéis com ele fabricados (até mesmo com 100% de fibras de eucalipto na receita – algo inusitado para muitos papeleiros europeus);

• Colaborar para o crescimento da indústria nacional de celulose e papel, inclusive dos fabricantes de equipamentos (máquinas de papel, refinadores, etc.);

• Transferir demandas para as entidades acadêmicas para que tivessem suporte das organizações apoiadoras de P&D do governo.

Havia uma integração bastante forte entre o GT-EUCA e o Conselho Consultivo do CTCP, sendo que alguns dos membros (inclusive eu) eram comuns aos dois grupos. Por outro lado, o Conselho Consultivo colaborava com entidades governamentais e setoriais para a elaboração de políticas públicas dentro dos planos de desenvolvimento industrial do País. Algo absolutamente bem orquestrado na época, sem computadores, sem internet e com sistemas de comunicação precários em relação à hoje – eu diria até, algo definitivamente notável, que só mesmo da união de pessoas de boa vontade, mesmas intenções e ideais poderia resultar no que resultou.

Na segunda reunião do GT-EUCA, que aconteceu em 18.04.1978 (dessa eu tenho a ata, mas não da primeira reunião, infelizmente), já sabíamos o que se devia fazer e o que precisava ser feito rapidamente. Dentro do objetivo "suporte às exportações" precisava-se conhecer mais como as celuloses de eucalipto se comparavam e se complementavam às outras fibras celulósicas. Também havia que se conhecer mais sobre os produtos papeleiros que poderiam ser feitos com elas e quais as receitas mais convenientes em termos de misturas, cargas minerais, aditivos químicos, refino, etc. Já em relação aos processos industriais de

produção de celulose kraft faziam-se necessários desenvolvimentos nos processos de polpação; branqueamento com dióxido de cloro (algo novo na época); otimizações, balanços e modelagens de processos; conservação de energia, etc.

Para mim foi um privilégio ter participado (inicialmente como Cenibra e depois como Riocell) dessa maravilhosa e motivada equipe para avaliações, estudos, trocas de conhecimentos e, principalmente, para comunicação sobre os eucaliptos para as partes interessadas. Dentre as partes interessadas estavam: os fabricantes de celulose e papel, as agências de financiamento, as entidades públicas de apoio à pesquisa e ao desenvolvimento industrial, os clientes nacionais e internacionais de produtos celulósicos e papeleiros, as universidades e institutos de pesquisa, as associações de classe, a indústria gráfica, a indústria de produtos para fins sanitários, etc., etc. O empenho era forte para se criar um fantástico banco de dados para dar suporte a essa indústria que estava prestes a florescer.

É muito importante mencionar que quando o GT-EUCA foi criado e começou a trabalhar, a única das grandes empresas exportadoras a base de eucalipto que já estava operando era a Riocell – Rio Grande Companhia de Celulose do Sul, fabricando uma celulose não-branqueada de eucalipto. As outras grandes da época, Cenibra, Aracruz, Jari, Bahia Sul, estavam ainda ou em construção ou em fase de projetos. Logo, o GT-EUCA surgiu para abrir caminhos para essa indústria que ainda estava no berço. Para ajudar esse nascimento se agregaram os principais fabricantes da época: Suzano, Ripasa, Papel Simão, Cícero Prado, Klabin e Champion – um belo gesto de confiança e de união setorial. Também, não faltaram os apoios de grandes personalidades setoriais da época, como os amigos Max Feffer, Hessel Horácio Cherkasski, Alfredo Leon, Aldo Sani, John Warren e Benjamin Solitrenick.

Empresas fabricantes de celulose e papel, de máquinas e equipamentos para o setor, de engenharia, instituições de ensino e pesquisa (IPT/SP, ESALQ/USP, UFV, etc.), órgãos do governo, entidades de classe (ABTCP, ANFPC, ABECEL) sentavam regularmente à mesma mesa para traçar estratégias, estudar a competição e os competidores, detectar pontos para melhoria, encontrar demandas tecnológicas comuns a serem apoiadas pelas fontes de financiamento do governo, etc. Todos trabalhando juntos para resolverem os problemas do setor - algo a se lembrar com saudades.

O GT-EUCA, de forma integrada e participativa, equalizou conceitos, ajudou a criar valor e amor às fibras do eucalipto, colaborou para convencer mercados e clientes e deu credibilidade aos produtos do setor. Tudo isso aconteceu em velocidade e *timing* muito rápido e com altíssima eficácia. A parceria floresceu - todos criando argumentações técnicas que ajudassem a compreender melhor as fibras, as polpas e os papéis dos eucaliptos. Comparações dos eucaliptos com as fibras da época eram comuns, como com a bétula, a faia, as folhosas mistas do norte e do sul da América do Norte, etc. Sabedores que a fibra curta do eucalipto estava destinada a deslocar as fibras longas mais caras, trabalhou-se muito no tema misturas de fibras e suas vantagens e otimizações na refinação, formação da folha e propriedades conferidas aos papéis. Tudo era muito cooperativo e aberto, sendo que muitos desses resultados constam dos livros técnicos dos congressos da ABCP (atual ABTCP) e nos artigos técnicos da revista O Papel. Também alguns dos participantes do grupo publicavam trabalhos em revistas internacionais, com a finalidade de esclarecimentos sobre o eucalipto e suas fibras. Impulsionava-se ainda a apresentação de palestras em congressos internacionais para divulgação dessa celulose e de suas maravilhas.

O ápice desse trabalho cooperativo resultou na parceria do GT-EUCA, da ANFPC e da ABECEL com a PPI (Pulp and Paper International - Miller Freeman), para a realização, em Bruxelas, em maio de 1979, do *"Symposium on New Pulps for the Paper Industry"*, que versava quase que exclusivamente sobre as fibras do eucalipto, com participação de outros interessados nos eucaliptos como os espanhóis, portugueses, marroquinos e sul-africanos. Pelo sucesso do simpósio, esse evento se converteu na PPI Market Pulp Conferences, que ainda persistem na forma de congressos organizados e promovidos pela RISI – Resources Information Systems Inc., que sucedeu a PPI.

Após o evento, a delegação brasileira elaborou um relato do evento, que foi difundido pelo GT-EUCA. Gostaria de compartilhar algumas frases do mesmo com vocês:

"A pasta celulósica de eucalipto foi a ênfase do simpósio. Aproximadamente 60% dos trabalhos apresentados versaram sobre o eucalipto. Cerca de 50% das conferências foram proferidas por brasileiros ou representantes de empresas brasileiras. A atuação da equipe brasileira teve uma repercussão muito grande sobre uma

audiência global de mais de 450 pessoas ligadas ao setor de celulose e papel."

"A equipe brasileira apresentou-se de forma bastante coordenada, sendo que os trabalhos foram complementares entre si, não se mostrando repetitivos. Foi enorme o impacto causado pela experiência brasileira na utilização de pasta celulósica de eucalipto, comprovada pela distribuição de amostras de papéis de excelente qualidade".

Todo o planejamento do evento e das palestras foi coordenado pelo GT-EUCA, sendo que as palestras brasileiras abordaram os seguintes temas:

- Brazil – a new pulp supplier (Ernane Galveas – Aracruz e ABECEL);
- A historical overview of the *Eucalyptus* in papermaking (Max Feffer – Suzano Feffer);
- *Eucalyptus* pulps in printing paper grades (John Warren – Champion);
- *Eucalyptus* pulps in packaging paper grades (Carlos Gallo Neto – Ripasa);
- *Eucalyptus* pulps for specialty papers (Ovídio Sallada – Simão);
- Riocell mill report (João Carlos Jonker);
- Aracruz mill report (Svein Wenneras);
- Cenibra mill report (José Luiz Paoliello);
- Jari mill report (Stuart Lang);
- Celulose da Bahia report (Francesco Corradini).

Ainda nesse evento foi distribuído a todos os participantes um excelente relatório com a avaliação de quatro polpas de eucalipto brasileiras. Esse relatório serviu para abertura de portas em relação aos técnicos dos futuros clientes das celuloses de mercado feitas no

Brasil. A maioria do material de apoio que foi elaborado pelo GT-EUCA pode ser conferido na seção de referências bibliográficas no final desse capítulo.

Lembro-me com satisfação do quanto os amigos da PPI – Pulp & Paper International se encantaram com o Brasil e com os eucaliptos, a ponto de Leonard Haas e John Kalish se motivarem a editar diversas reportagens sobre o Brasil na revista PPI, que era uma referência para o setor, naqueles tempos.

Também como recomendação do GT-EUCA foi sugerida uma nova rodada em Bruxelas, conjuntamente com a PPI, tendo assim se originado a série de eventos "Market Pulp Conferences", que chegou quase a atingir a vigésima edição, sob a organização recente da RISI.

No evento de 1981, a participação brasileira não foi tão marcante como no primeiro simpósio, mas algumas palestras foram agregadas, complementando-se às palestras de 1979. Entre elas, foram destaque as seguintes apresentações brasileiras:

- Supply of market pulp from Brasil (Abílio dos Santos – Cenibra e ABECEL);

- Mixtures of E*ucalyptus* and pine pulps for papermaking (Sílvia Bugajer – CTCP/IPT);

- 100% *Eucalyptus* papers – mill experiences (Ovídio Sallada – Papel Simão)

- 100% *Eucalyptus* high speed paper machines (Roberto Leonardos – Suzano Feffer)

Também aqui, a coordenação do GT-EUCA foi importante, em especial pela grande geração de informações que provinham do trabalho da Dra. Sílvia Bugajer e da equipe do CTCP, comandada pelo estimado amigo Leopold Rodés.

A partir do final do ano de 1981, as reuniões do GT-EUCA foram-se espaçando, as metas propostas ao grupo já haviam sido atingidas, as novas fábricas estavam operando com suas equipes técnicas já qualificadas, os mercados estavam sendo conquistados - enfim, as coisas foram aos poucos se apagando e os panos se fechando para o GT-EUCA. Entretanto, deve ficar o registro do

enorme valor que foi agregado pelo esforço e dedicação de dezenas de pessoas do setor brasileiro de celulose e papel, que com sua qualificação, competência e dedicação, ajudaram a abrir as portas para a celulose kraft branqueada de eucalipto a nível global.

==========

## A INDÚSTRIA BRASILEIRA DE CELULOSE DE MERCADO DE EUCALIPTO E SEUS FATORES DE COMPETITIVIDADE

Graças a uma história de sucessos e de gestão empresarial bem sucedida, as empresas brasileiras de celulose de mercado possuem capacitação tecnológica, mercadológica e empresarial para competir nos mais dinâmicos e sofisticados mercados internacionais. Essa posição foi uma conquista planejada e orquestrada, que se pode dizer, começou em meados dos anos 50's e que adquiriu maturidade nesse início do século XXI. Portanto, são cerca de 60 anos de história para sair-se de uma modesta produção anual de menos de 100 mil toneladas de celulose para se atingir praticamente 15 milhões.

Esse sucesso tem alicerce em sete pilares básicos que são:

- Apoio do governo com seus planos de metas e políticas industriais desenvolvimentistas, bem como do principal banco financiador dessas expansões, que é de natureza pública – o BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social;

- Orientação exportadora e capacidade de conquistar e encantar mercados a partir de uma celulose praticamente desconhecida a nível global até início dos anos 70's;

- Capacidades de negociação e de articulação das diversas partes-chaves atuantes no negócio;

- Adequadas gestão e orientação estratégica;

- Investimentos seguros em fábricas modernas, com escala de produção e estado-da-arte tecnológico;

- Inovação constante e foco na área florestal;

- Flexibilidade para adaptação às alternâncias desse tipo de negócio (exemplos: orientação para a sustentabilidade e certificações, integração com a reciclagem, etc.).

Em um mundo global, que hoje disputa e conflita pela utilização dos recursos naturais como terra, ar, energia, água, matérias-primas e alimentos, o Brasil está conseguindo levar a indústria de celulose de mercado a partir da madeira de eucalipto a uma posição de liderança e admiração. Em geral, diz-se que quando os competidores passam a admirar o líder, a situação chegou ao ápice, logo é importante se preocupar com alguma potencial descida, que pode acontecer de forma inesperada e imprevisível.

As principais razões para esse rápido e até mesmo inusitado sucesso têm sido:

- Crescimento ímpar e inigualável das florestas plantadas de eucalipto, que graças a muita pesquisa saltou de valores de

incremento anual de cerca de 20 m³/ha.ano nos anos 60's para valores médios acima de 45 em 2012 (valores de produtividade expressos como toras com casca);

- Condições climáticas e edáficas (de solo e topografia) favoráveis;

- Eficiência no manejo florestal;

- Homogeneidade e qualidade das plantações florestais, atualmente a maioria sendo clonal, resultando em madeira apropriada para os processos e para os produtos manufaturados;

- Utilização das melhores tecnologias florestais e industriais disponíveis (tecnologias BAT - *Best Available Technologies*);

- Escalas de produção sendo as maiores disponíveis, principalmente nas fábricas modernas e gigantescas que foram e estão sendo construídas a partir do início desse século;

- Modernização constante das unidades industriais produtivas;

- Eficiente atuação nos mercados globais (logística e relacionamento com clientes).

Com isso tudo somado e acontecendo de forma simultânea, o Brasil se tornou exemplo de crescimento florestal, de custos baixos de produção industrial, de produto de excepcional qualidade e de fábricas modernas e de excelentes desempenhos. A eficiência e a continuidade operacional, a ecoeficiência e a qualidade ambiental das operações são resultantes de uma orientação na gestão empresarial para que o setor seja *benchmarking* nos fatores-chaves de competitividade.

Apesar da grande maioria dos analistas financeiros considerarem que o ainda custo baixo da madeira seja a maior vantagem competitiva que o setor dispõe não se pode deixar de valorizar a escala de produção e a modernização tecnológica. Essas garantem menores consumos unitários de insumos, o que também colabora para os mais baixos custos operacionais. Sabe-se que as

florestas plantadas se constituem no cerne da competitividade do setor, mas apenas com florestas não se conseguiria atingir o estado-da-arte que o setor brasileiro de celulose de mercado conquistou.

Ao invés de optar por exportar toras ou cavacos de madeira, o Brasil decidiu agregar mais valor ao produto em fábricas modernas e de alta tecnologia, vendendo nos mercados globais produtos de alta demanda e com grande potencial para maiores crescimentos. Apesar da alta complexidade de uma fábrica de celulose kraft branqueada, não se pode definir como muito alta a agregação de valor nesse tipo de conversão. Exatamente porque a celulose de mercado é uma *commodity*, uma matéria-prima intermediária e não um produto nicho. A maior agregação de valor nesse setor tem ocorrido em fábricas de papéis especiais, como decorativos, filtros, térmicos, etc. Mas as portas estão abertas caso o setor brasileiro de celulose decidir por verticalizar nessa rede de valor. Conhecimentos e competências existem – faltam decisões e remoções de algumas barreiras a nível local e global.

Acredito que todas as conquistas do setor não teriam sido alcançadas se o setor não optasse por ser exportador e participar da concorrência nos mercados globais, o que agregou competição, competitividade e dinamismo a todos os *players*. Ao mesmo tempo em que o setor de celulose optou por competir e vender polpa de fibra curta no exterior acabou por proteger o mercado interno contra a entrada de produtos similares. Isso porque, sendo globalmente competitivas, as fábricas de celulose de mercado abastecem sem problemas o mercado brasileiro de fabricação de papéis, com um produto de excelente qualidade e em condições extremamente competitivas.

A partir de 2008, o Brasil atingiu a posição de quarto maior produtor mundial de celulose, ficando atrás apenas de USA, China e Canadá. O crescimento da produção de celulose de mercado tem sido de cerca de 700.000 a um milhão de toneladas por ano, o que corresponde à entrada em operação de pelo menos uma grande unidade de produção industrial de celulose por ano, a partir do ano 2000. As expectativas são de um crescimento ainda mais acelerado na segunda década do século XXI. Existem perspectivas de aumentos significativos de novas produções de celulose kraft branqueada de eucalipto até o ano 2025. As projeções indicam que esse aumento

pode variar entre 8 a 15 milhões de toneladas, dependendo da confirmação do *timing* de implantação de diversos novos projetos no Brasil, Chile, China e Uruguai, que por sua vez esperam o tempo oportuno de entrada com suas toneladas adicionais no mercado, para não saturá-lo e com isso provocar reduções significativas nos preços de venda.

Como o consumo de papel é muito afetado pela atividade econômica, pela qualidade de vida da sociedade, pelo aumento populacional e pela riqueza dos países e das pessoas, não se podem ignorar esses fatos para introduzir mais celulose nos mercados. Também é importante reconhecer que as fibras recicladas roubam cada vez mais espaço das fibras virgens na fabricação de inúmeros tipos de papéis (em especial nos segmentos de papéis de embalagem sanitários, cartões, etc.). Logo, o consumo de celulose branqueada de mercado dependerá também do consumo de papel branco e das taxas de reciclagem de papel usado.

As projeções até o ano de 2025 não mostram muitas surpresas pelo caminho, a não ser que surjam imprevistos. A demanda de celulose de mercado deverá continuar crescendo, deslocando as produções de muitas fábricas integradas de papel branco, que passarão a produzir apenas papéis e não mais celulose, passando a comprá-la. Mesmo que os mercados fiquem apertados, a vantagem competitiva do baixo custo de produção é uma arma poderosa na concorrência. Fabricantes de baixo custo podem concorrer com maior facilidade em situações de preços deprimidos, levando muita vantagem sobre os fabricantes de altos custos. Se alguém tiver que sair do mercado, não restam dúvidas que serão os que tiverem altos custos variáveis ou mesmo altos custos caixa de produção (*cash costs,* ou custos que representem efetivos desembolsos de dinheiro ou de caixa). São por essas e outras razões que o setor de celulose é tão focado nos seus custos de produção em moedas ditas fortes (euro, dólar americano, iene, etc.) e que se constituem na base para a comercialização das celuloses.

Em função dessas características, a celulose de mercado é considerada como uma *commodity* global, exatamente por ser muito dependente da relação entre oferta e demanda. As *commodities* são produtos globais que podem ser comprados pelos clientes sem muitas restrições e com alto grau de intercambialidade. Ou seja, não há

muita fidelidade pelas marcas, mais pelos preços. Também, nos produtos comoditizados, os fabricantes têm baixo nível de controle da oferta e menos ainda da demanda. Até certo ponto, a celulose de eucalipto vem-se diferenciando de uma típica *commodity*, por ter certo grau de diferenciação em relação a outros tipos de fibras curtas e longas. Por ser uma das celuloses branqueadas de maior competitividade global, ela pode ser oferecida a preços baixos nos mercados, quando a situação exigir isso, o que lhe confere vantagens competitivas inigualáveis – pelo menos até o presente momento.

Por serem ainda consideradas como *commodities*, os preços de venda das celuloses de mercado estão atrelados aos preços de outras *commodities* como aço, minérios, petróleo, cimento, etc. As razões são simples: as mesmas causas que afetam o consumo de outras *commodities* afetam também o consumo do papel (e por extensão – das celuloses de mercado).

Conhecidos esses fatores, as empresas fabricantes de celulose podem estabelecer suas estratégias de atuação nos mercados, procurando validar sua presença em função dos padrões de concorrência estabelecidos nos mesmos. Em geral, a concorrência que existe para as *commodities* é a concorrência por preços (os produtores de baixo custo caixa são os mais favorecidos). Como já mencionei antes, as fibras do eucalipto, por serem portadoras de vantagens qualitativas únicas aos seus clientes, acabam não seguindo completamente esse padrão, mas também sofrem impactos desse modelo de concorrência. Curiosamente, já tivemos situações em que a celulose branqueada de eucalipto foi vendida a valores de preços mais altos do que os praticados para fibras longas branqueadas, reconhecidamente mais onerosas para fabricação. Isso é uma prova inconteste de que existe hoje para os papeleiros um "padrão eucalipto" de celulose. Dai se preferir denominar esse tipo de celulose como sendo uma *commodity* diferenciada.

A maior parte da produção de celulose brasileira para papel é exportada. Do tal de 14,5 milhões de toneladas produzidas em 2011, cerca de nove milhões foram exportadas. A quantidade a ser vendida aos mercados internacionais e a segmentação geográfica desses mercados é função de fatores como:

- Consumo doméstico desse tipo de produto: as empresas brasileiras de celulose têm a "obrigação" de suprir as demandas do mercado interno de fabricação de papel.

- Produção das fábricas: o modelo é do tipo *production-driven*, ou seja, fabrica-se o mais que se puder e depois se vende nos mercados, pela concorrência feroz. Já existem algumas tentativas de controlar o excesso de oferta pela utilização da capacidade de produção e pelas paradas anuais programadas e orquestradas para grandes manutenções.

- Preços nos diferentes mercados: existem grandes diferenças de preços entre os mercados europeus, norte-americanos, japonês, chinês, latino-americanos, etc.

- Estabilidade ou instabilidades nas economias dos mercados-alvos;

- Custos logísticos para suprir os mercados-alvos (transporte, estocagem, tempo de espera entre efetiva produção e recebimento pelas vendas, etc.).

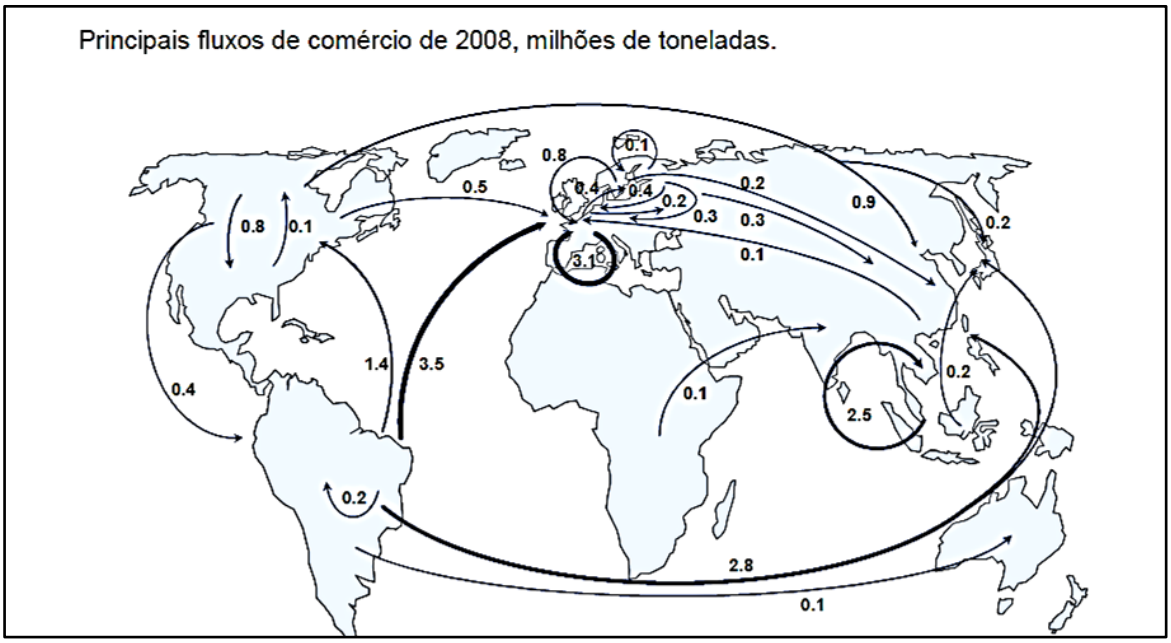
Mercados e empresas são bastante competitivos, envolvem enormes volumes, grandes compradores e grandes vendedores. A orientação é tipicamente B2B (comercialização entre empresas). Não há consumidores finais (cidadãos) para utilização direta de celulose de mercado. Mesmo para papéis, isso ocorre para poucos papéis, como sanitários, papel de impressão cortado (*cut-size*), etc.

A demanda de celulose branca é função da vitalidade da fabricação de papéis brancos, tais como: sanitários, impressão e escrita, cartão multicamadas, papéis especiais, etc. Com demanda crescente de alguns tipos desses papéis, estimula-se o consumo de fibras curtas branqueadas. Com isso, crescem os investimentos em novas fábricas desse tipo de produto no Brasil e em alguns outros países como Chile, Uruguai, Indonésia e mesmo na China.

Outro fator de mercado muito importante para o setor tem sido o que se chama de fator substituição. Consiste na capacidade que as polpas de eucalipto possuem de substituir outras fibras mais caras (fibras longas, por exemplo), pois possuem qualidades muito

vantajosas para alguns tipos de papéis. Pode-se dizer que a fibra do eucalipto vem lentamente canibalizando a fibra longa branqueada, ocupando cada vez mais espaço nos mercados em relação a esse tipo de fibras.

Pelas particularidades dos mercados, o foco dos produtores de BHKP – *Bleached Hardwood Kraft Pulps* (Polpas Kraft Branqueadas de Fibras Curtas) tem sido os países com taxas crescentes e altas na fabricação e consumo de papéis brancos, não importando quais os tipos ou destinos dos mesmos depois de fabricados. Por isso, a força da concorrência tem sido orientada a países como China, USA, Alemanha, Bélgica, Holanda, Itália, Reino Unido, Coréia do Sul, Japão, Taiwan, etc. O monitoramento desses mercados deve ser constante, especialmente em grandes eventos anuais que acontecem em alguns países para discutir as tendências dos mercados. Eles costumam acontecer em Londres, Montreal, Vancouver e Bruxelas. Mais recentemente, eventos desse tipo têm também acontecido em São Paulo, Xangai, Hong-Kong, etc., uma demonstração de que a orientação celulósico-papeleira está-se movendo para Ásia e América Latina.



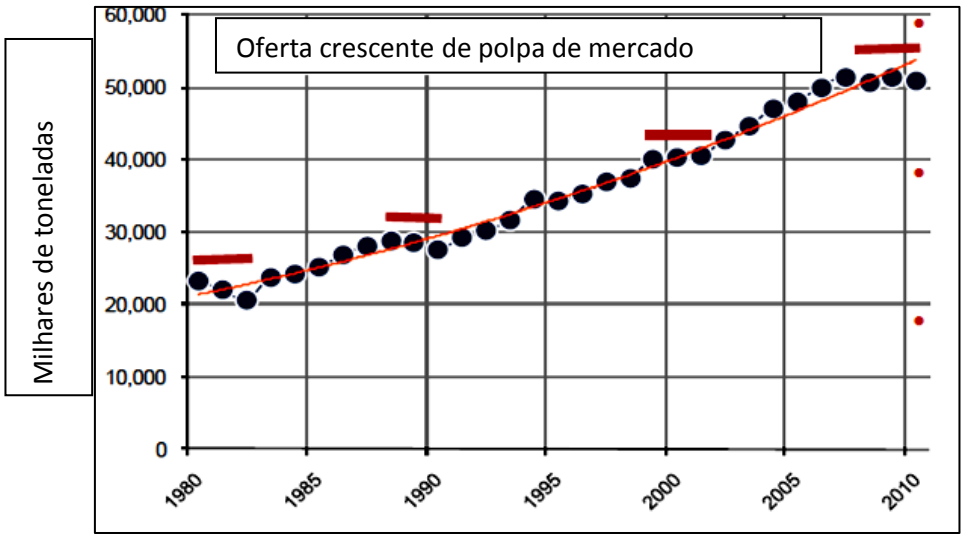

Fluxos de comércio da celulose branqueada de mercado de fibra curta
Fonte: Farinha e Silva, 2008, citado por Foelkel, 2012

Grande parte das exportações brasileiras de celulose ainda ocorre para a Europa (cerca de 45%) e América do Norte (18%), onde se localizam grandes fabricantes de papéis brancos de altíssima

qualidade, sejam papéis decorativos, de impressão e sanitários. Muitos desses tipos de papéis nos Estados Unidos e Europa são "viciados" em fibras curtas de eucalipto. Outros mercados importantes são: China (25%), outros países asiáticos e Oceania (aproximadamente 11%) e América Latina (exceto Brasil – 1%). A tendência é o crescimento das vendas na Ásia (China, Coréia do Sul, Japão e Índia), mas a Europa e os Estados Unidos também manterão posição de destaque para as exportações brasileiras de celulose de mercado.

Os países com crescimento econômico vigoroso são os preferidos pelos exportadores. Nesses países, parte da riqueza das pessoas costuma ser aplicada em livros, revistas, produtos de higiene, fraldas de papel, produtos para a terceira idade, etc. Tudo isso representa maior necessidade de papéis, entre os quais, aqueles que demandam fibras branqueadas de eucaliptos. Importante ainda ressaltar que as fibras do eucalipto também participam na reciclagem dos papéis, pois os papéis de impressão e os cartões são fartamente reciclados em praticamente todos os países. Nossas fibras passam então a participar na fabricação de papéis de embalagem, cartões, sanitários de qualidade popular, miolo de papelão ondulado, etc.

Pode-se afirmar que a quantidade de pessoas e a forma delas viverem é que fazem o sucesso ou o fracasso do setor de celulose e papel. Até o momento, o crescimento de consumo das polpas de mercado tem sido crescente e acima do crescimento populacional. Em nível global, o crescimento da demanda da celulose de mercado tem sido em média de 2,6% ao ano (isso desde 1990). Mesmo em períodos de crise financeira, o crescimento estagna um pouco, mas logo retorna e não se têm observado quedas rápidas e fortes como ocorriam no passado. Isso se deve à própria volatilidade dos preços. Nas situações de crise, os preços dos papéis baixam, mas os das celuloses também. Com isso, os mercados se ajustam e os consumidores não ficam sem papel.



Fonte: Hawkins Wright, 2011, citado por Foelkel, 2012

Existe uma diferença bastante grande quanto à estrutura dos mercados de celulose e de papel. Enquanto a produção de celulose é concentrada em poucos e gigantescos produtores, a de papel é exatamente o oposto. A estrutura de mercado para o caso da celulose é um oligopólio de poucos ofertantes e de muitos compradores. Já o mercado de papel é fragmentado nos dois lados – na oferta e na demanda. A produção de celulose de mercado no Brasil é tão concentrada, que apenas os dois principais produtores (Fibria e Suzano) detinham em 2011 cerca de 60% da produção desse tipo de celulose no País.

Mesmo com uma fragmentação tão significativa no mercado de papel (o que dificulta a competitividade e torna complicada a concorrência), o Brasil ainda mantem uma posição de destaque na exportação de alguns tipos de papéis, demonstrando qualificação e competitividade em papel de imprimir *cut-size*, papel para embalagem do tipo *kraftliner* e papel-cartão multicamadas e embalagens do tipo longa vida. As exportações de papel em 2011 atingiram cerca de dois milhões de toneladas de produtos de maior valor agregado do que a celulose, indicando que existe potencial para o papel também, e não apenas para a celulose.

Os indicadores de competitividade para a celulose de mercado apontam que Brasil, Chile, Uruguai, Canadá, Finlândia, Suécia e Indonésia são alguns dos principais líderes nos fatores-chaves de competitividade desse setor. Já no papel branco, a competitividade

maior tem sido de fabricantes norte-americanos (USA), europeus (Portugal, Finlândia, Suécia, Alemanha, Reino Unido, etc.) e asiáticos (China, Japão, Indonésia, Coréia do Sul, Taiwan, etc.). Em parte, essa competitividade tem sido muito afetada pelas variações nas taxas de câmbio (apreciação ou depreciação de moedas em relação às moedas de comercialização da celulose e do papel).

Uma das formas de se avaliar a competitividade é o desempenho exportador no médio e longo prazo de um país em relação ao total do produto comercializado a nível global. Quando há crescimento na fatia de mercado de um determinado país, significa que ele vem ocupando espaço de outros, o que indica saúde para competir e agressividade nos mercados.

A cadeia de suprimento da celulose é bastante complexa e costuma apresentar alternâncias entre os atores. No momento, toda a atenção se concentra na China e em sua fenomenal taxa anual de crescimento econômico, acima de 10% ao ano nos tempos mais recentes, com crises e sem crises globais. Entretanto, não se pode esquecer de que a volatilidade sempre foi noiva do setor. Não demorará a acontecer alguma instabilidade forte na China e pronto – os dias difíceis voltarão. É difícil acreditar (para mim quase impossível) que uma economia possa crescer por décadas de forma sustentada em taxas anuais acima de 10%. Em um determinado momento algum insumo vital poderá faltar, tais como energia, água, alimentos, aço, etc. Quando isso acontecer, nosso setor precisará ter estratégias mitigadoras prontas para enfrentar essa nova crise. Pode até ser que ela aconteça logo e possa nos apanhar desprevenidos. Enfim, a volatilidade é parte do jogo e ela está no setor para ficar.

Por tudo isso, o custo de produção tem sido o fator mais cobiçado para competir no longo prazo. A volatilidade dos mercados e a ciclicidade dos preços conduzem a essa postura. Custos de produção e custos logísticos são vistos como pontos vitais para qualquer fabricante de celulose de mercado (e da maioria dos fabricantes de papéis, também). Para serem competitivas nos custos de fabricação, as empresas montam estratégias que muitas vezes são interpretadas como muito maldosas pelas partes interessadas, já que afetam funcionários, terceiros, fornecedores e praticamente toda a região de influência onde atuam. Entretanto, a opção de custos baixos não deve ser entendida como redução pura e simples de

custos e de gestão da miserabilidade. Melhor seria uma postura de otimização de custos.

Custos baixos podem ser conseguidos principalmente por:

- Aumento da escala de produção (redução de custos fixos unitários);

- Aumento da eficiência e da continuidade operacional (redução dos custos variáveis unitários);

- Aumento da ecoeficiência (redução dos desperdícios de insumos e de energia);

- Aumento da produtividade e da qualificação dos trabalhadores;

- Automação das operações críticas para maior uniformidade operacional e redução de demanda de trabalho manual;

- Racionalização dos custos relevantes;

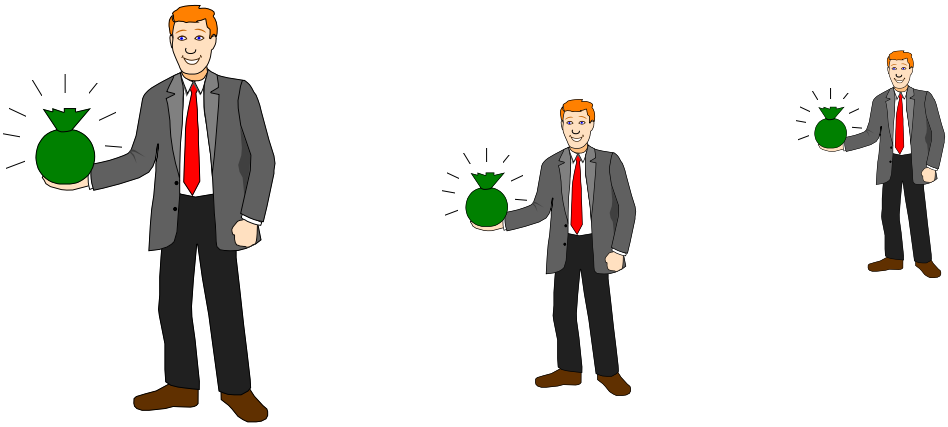
- Inovação nos processos operacionais;

- Redução dos custos e necessidades de capital, inclusive do capital de giro;

- Busca de novas fronteiras para agregações de novas capacidades produtivas, especialmente as regiões que ofereçam vantagens em impostos, custos de terra, custos logísticos e custos operacionais (a exemplo de alguns países africanos como Angola e Moçambique, ou de novas fronteiras da eucaliptocultura no Brasil, como é o caso da região do MAPITO - Maranhão, Piauí e Tocantins).

Em geral, a redução de custos é mais vista pelas pessoas como uma estratégia da alta gerência "para mostrar serviço" do que um posicionamento para manter competitividade. Se a disseminação da cultura de custos baixos fosse implementada como uma estratégia de crescimento organizacional e de valorização da posição competitiva, acredito que as chances de sucesso seriam bem maiores. Para mim, é clara a necessidade de se terem custos baixos

no setor – porém a sua adoção e prática no dia-a-dia das empresas é que precisam urgentemente de revisões, explicações, otimizações e mesmo de inovações.



Outras características da indústria que privilegiam a necessidade de atuação constante sobre os custos é sua alta demanda de capital e o longo período de maturação dos produtos florestais. As empresas de celulose de mercado possuem ciclos financeiros muito longos, altas necessidades de capital de giro, baixa lucratividade e enormes imobilizações financeiras nas fábricas e nas florestas. São exigidas grandes quantidades de capital para a construção de uma nova unidade industrial (dita *greenfield*), ou mesmo para uma modernização e expansão de capacidade de uma fábrica existente (dita *brownfield*).

O capital de giro necessário para uma fábrica de celulose corresponde ao faturamento total de cerca de 3 a 4 meses. Isso se deve ao longo tempo entre a floresta ser colhida e o produto ser vendido no exterior com o efetivo recebimento como dinheiro em caixa pelo fabricante de celulose. No caso de fábricas de papéis não integradas, esse capital de giro é significativamente menor, pois as empresas adotam o *just in time* e as consignações de produtos para redução de estoques (que são partes integrantes do capital de giro). Os estoques costumam ser altos nas fábricas de celulose, sendo uma característica ao longo de todo o processo florestal e industrial. Temos estoques de madeira em toras, em pilhas de cavacos, em fardos de celulose navegando por mares ou trens em direção aos clientes, em fardos nos armazéns das fábricas e dos terminais portuários, etc., etc.

Toras estocadas por muito tempo significam maiores necessidades em capital de giro e aumento de custos financeiros

Também os custos de manutenção são elevadíssimos, pois as paradas anuais consistem de reformas grandes, readequação de equipamentos e de dias parados sem gerar produtos vendáveis.

As necessidades de capital são enormes para os equipamentos fabris, para a aquisição de terras para plantar árvores e nas próprias florestas crescendo até a idade de serem colhidas.

Por isso tudo e pela geração de lucros não tão atrativos, já escutei de eminentes cientistas políticos e financeiros de que esse setor é um setor em que se gasta muito e se ganha pouco. Fica então a pergunta: se é isso mesmo, porque mantemos nossos investimentos nele? Talvez pelas mesmas razões que muitas pessoas colocam suas economias em fundos de renda fixa de baixos rendimentos financeiros: pela segurança no longo prazo, pela garantia de um retorno que lhes satisfaça e pela atração que possuem pelo tipo de negócio. Eu particularmente acho um privilégio estar trabalhando nesse setor de base florestal, com altíssimos níveis de tecnologia e de sustentabilidade.

Frente a essas características todas, o setor tem enorme aversão ao risco. É um setor que procura tecnologias e processos seguros e comprovados. A tecnologia de produção é conhecida, global e comprável por qualquer novo entrante no negócio. O acesso à

tecnologia é absolutamente fácil, inclusive às tecnologias florestais. O ritmo nas mudanças tecnológicas é lento e o setor é definido como praticante de inovações incrementais (as que são feitas para otimizar e melhorar um processo básico padrão).

Entrar no setor não é para todos – mas para se observar de longe não se paga nada...
Foto: Ester Foelkel

Já que é tão fácil a obtenção da tecnologia para se construir uma moderna fábrica de celulose, porque a quantidade de novos entrantes é pequena no setor?

Existem razões que justificam e explicam com facilidade as barreiras para entrada no setor. São elas:

- Altíssima demanda de capital inicial e de capital para se manter no jogo.

- Escala de produção: as mini-fábricas mais baratas são incompatíveis com a realidade do setor de celulose de mercado, embora sejam muito viáveis no negócio do papel. Para se entrar no segmento de celulose, há que se comprar o ingresso com fábricas estado-da-arte e com altas escalas de produção (exemplo: a fábrica da Eldorado Celulose em Três Lagoas / MS).

- Dificuldade para se sair do setor: as imobilizações de capital são enormes e a venda desses ativos não é tão simples, a menos que a fábrica seja muito competitiva (mas quem quer vender fábricas competitivas, não é mesmo?).

- Disponibilidades de matéria-prima florestal: não é muito fácil se criar uma extensa base florestal para suprir mega-fábricas e elas não são muito comuns para venda.

- Tempo demandado para a maturação do projeto: uma fábrica de celulose de eucalipto para entrar em operação precisa de pelo menos 6 a 8 anos de antecipação para se estabelecer a base florestal e mais um ano de curva de aprendizado para o projeto industrial depois de pronto.

- Alta necessidade de capital de giro para mover a fábrica e as florestas em sua vida diária de produção.

- Dificuldades para lançamento de novos produtos e novas marcas. Essa característica é relativa, pois sempre que uma nova fábrica dá partida na produção há uma curiosidade para se testar o produto, "mas o preço de venda deve ser bem barato", como desejam os compradores.

- Exigência de vantagens absolutas em custos operacionais e de logística.

- Longo prazo para maturação financeira do empreendimento.

- Longo ciclo de vida das fábricas e de suas tecnologias.

- Barreiras institucionais: licenciamento ambiental, regulações legais a novos empreendimentos, dificuldades na aquisição de terras (preço, problemas fundiários, legislação para empresas estrangeiras, etc.).

- Pressões ambientais e sociais.

- Imprevisível ciclicidade dos preços, o que torna cada vez mais difícil se dar o arranque em uma nova unidade de produção em períodos de preços altos nos mercados.

- Domínio tecnológico para poder comprar uma nova unidade produtiva sem cometer erros.

- Barreiras na captação de financiamentos: os bancos em geral preferem atores tradicionais e com domínio de fatia significativa do mercado, ao invés de apostar seus recursos em novos entrantes.

- Etc.

Apesar de ser difícil a entrada, as reestruturações e mudanças de capital no setor são frequentes. Isso acontece tanto no próprio setor como nos segmentos de ofertantes de tecnologias, equipamentos e insumos ao setor. A reestruturação e a consolidação têm sido a estratégia dominante sendo adotada por todos, para concentração do poder em poucas mãos. Acreditam os executivos que com poucas empresas grandes a capacidade de influenciar preços e mercados pode ser maior. Isso pela maior capacidade de controlar a oferta de produtos em situações de baixa demanda. Entretanto, essa arma estratégica não tem sido tão eficaz como idealizada. Com poucos compradores e poucos ofertantes, quando se perdem alguns contratos, a ociosidade pode ser mortal aos perdedores. Por outro lado, a concentração coopera para a redução dos custos fixos unitários, aumentando a competitividade das empresas nesse quesito e oferecendo a elas maior *market share* ou fatia de mercado.

Como o negócio de produção de celulose é de longo prazo, as empresas do setor são pacientes em implantar suas estratégias de consolidação. O importante é não se precipitar e fazer as coisas acontecerem na velocidade requerida. Só não se pode dar bobeira e deixar que o competidor coma o prato principal antes. Algumas empresas definem sua missão e metas de forma muito clara (em geral associadas à liderança em algum fator-chave) e deixam as coisas fluindo ao longo do tempo, fortalecendo-se gradualmente.

Já que as florestas demoram alguns anos para produzir nova madeira, também o negócio pode tomar algum tempo para se concentrar mais. É por isso que muitos analistas definem o setor como tendo baixa velocidade nas decisões e implementações estratégicas. Entretanto, fazer análises empresariais em bancadas e se usando apenas curvas de tendências e um computador é muito fácil. Difícil é decidir sobre ações estratégicas que consomem milhões ou bilhões de dólares americanos e que afetam regiões, comunidades, investidores e consumidores de forma impactante.

Existe, por exemplo, um fabricante de celulose branqueada de eucalipto no Brasil (Fibria) que tem como meta estratégica ser 100% especializado na produção de celulose de mercado de eucalipto e deter a liderança na produção e vendas a nível global. Sua estratégia tem sido agressiva e bem-sucedida, sendo que hoje a empresa já detém significativa parcela do *market share* global para esse produto. Dá até para se afirmar que qualquer comprador de celulose de eucalipto, seja ou não cliente dessa empresa, precisa estar sempre atento aos movimentos e aos preços praticados por esse líder nas vendas desse produto.

Atualmente, os fatores alavancadores de competitividade são inúmeros, mas sobejamente conhecidos pelos participantes desse jogo concorrencial. As estratégias até que são fáceis de serem enunciadas e são comuns entre os guerreiros. O problema é ordená-las por prioridades, obter recursos de capital e recursos humanos e depois implantá-las. Para muitos casos, não basta apenas competência, mas precisa haver coragem e determinação.

Uma grande dificuldade que muitas empresas enfrentam é a conversão de seus planos estratégicos em ações táticas e depois em realidade. Cabe aos gestores implantar as estratégias, mas até que ponto os executivos têm conseguido sucesso nisso?

A eficácia das organizações pode ser conseguida pela escolha correta das opções estratégicas. Já a eficiência implica em realizar com sucesso a implantação das estratégias eleitas. Isso é tarefa da gestão. Quando a gestão falha, a empresa perde, porém não perde apenas a empresa, mas a região e até mesmo o país.

Os principais fatores que hoje alavancam a competitividade das empresas no negócio celulósico são os seguintes:

- Potencial de crescimento dos mercados;

- Disponibilidade dos recursos (madeira, capital, energia, insumos, pessoal qualificado, etc.);

- Ativos estratégicos e competitivos;

- Domínio nas competências essenciais (de processo, de tecnologias, de pessoas, de florestas, de logística, etc.);

- Eficiência na gestão e operações;

- Custos e vantagens regionais (competitividade da região);

- Custos e vantagens internas (custos fixos e variáveis da empresa);

- Pressões competitivas (só é competitivo quem está competindo em mercados difíceis);

- Globalização dos clientes (mercados maiores);

- Saúde financeira;

- Saúde ambiental;

- Resultados financeiros (por exemplo: relação do EBTIDA – *Earnings Before Taxes, Interests, Depreciation and Amortization* com as vendas superiores a 25%);

- Qualidade e diversidade de produtos;

- Logística competitiva, barata, azeitada e flexível;

- Produtividade nas operações;

- Tecnologias estado-da-arte (nas florestas e nas fábricas);

- Florestas plantadas com alta produtividade e certificadas pelo FSC – Forest Stewardship Council ou equivalente PEFC – Programme for the Endorsement of Forest Certification Schemes;

- Sistemas interligados de gestão (forte investimento em TI's – Tecnologias de Informação);

- Medidas de proteção e estratégias mitigadoras contra riscos (financeiros, incêndios, intempéries climáticas, etc.);

- Localização das fábricas (próximas das florestas, de modais logísticos, etc.);

- Sustentabilidade socioambiental (vital nos dias de hoje);

- Imagem da empresa na sociedade e junto aos clientes; etc.

Sustentabilidade é hoje vital ao setor

Já as chamadas fortalezas do setor brasileiro de celulose de mercado são reconhecidamente as seguintes:

- Plantações florestais de altas produtividades, com homogeneidade das árvores e das madeiras (padrão clonal das florestas);

- Custo baixo da madeira;

- Custo baixo de produção industrial;

- Matriz energética limpa, verde e renovável (licor preto, biomassa florestal, hidrogênio e hidroeletricidade);

- Aparato tecnológico (máquinas, fábricas com a melhor tecnologia disponível, etc.);

- Eficiência no uso das máquinas e insumos;
- Escala de produção;
- Mínimo impacto ambiental;
- Sustentabilidade; etc.

Enfim, o jogo é pesado e os competidores cada vez mais fortes e vigorosos. É o recente caso da entrada com mais força da multinacional Stora Enso na produção de celulose de mercado, com fábricas no Brasil (Veracel), Uruguai (Montes del Plata) e na China. Como já lhes mencionei – podemos ser competitivos, mas não podemos dar bobeira.

==========

# ASPECTOS DA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL

As tecnologias para fabricar celulose e papel são relativamente antigas em sua base conceitual. Da mesma forma que para os casos do avião e do automóvel, a base tecnológica do papel tem sido mantida absolutamente viva e imutável. Consiste na individualização das fibras vegetais, obtendo-se a polpa celulósica; e depois com ela, produzir uma folha sobre uma peneira (ou tela) com intensa utilização de água. A seguir, essa folha é secada e temos o papel. O que vem acontecendo é que as inovações em tecnologias vão sendo criadas para tornar o processo melhor e mais eficiente.

Ao longo dessa história vitoriosa do papel, certamente as forças de inovação são influenciadas também por inovações em outras cadeias produtivas. Muitas vezes, estiveram associadas às inovações na cadeia produtiva da máquina a vapor, ou do aço, ou da energia elétrica, ou da indústria química e petroquímica, e nos dias atuais, das tecnologias de automação e da informação. Entretanto, há algumas forças motrizes paralelas, que não são necessariamente suportadas por outras tecnologias, mas por pressões que induzem inovações tecnológicas. Mais recentemente, com a globalização das economias alargando os mercados e forçando as reduções de custos de produção; com os avanços nas demandas qualitativas e de desempenho dos clientes; nos requisitos ambientais e sociais pela

sociedade; também as inovações vêm privilegiando essas temáticas e causando alterações substanciais nas formas de se fazer, usar e reciclar o papel.

Sempre existiram questionamentos sobre o ciclo da vida do papel como produto, se ele estaria atingindo um clímax de consumo pela sociedade humana. Entretanto, o consumo do papel é algo muito dinâmico e que tem mantido continuadas taxas de crescimento, acima do crescimento vegetativo da população mundial. Existem alguns bilhões de pessoas com baixíssimo acesso a itens indispensáveis ao conforto e qualidade de vida, como é o caso de papéis higiênicos ou fraldas descartáveis (feitas com fibras de celulose) ou mesmo de cadernos, livros e revistas. Essas populações carentes representam grande potencial de consumo adicional, caso tenham seu padrão de vida melhorado. Há ainda uma enorme criatividade em outros setores fora mesmo do setor de papel, desenvolvendo novos e muitas vezes inusitados usos para o papel. Também a indústria química se vale das fibras de celulose para produzir muitos produtos químicos como nitrocelulose, acetato de celulose, viscose, fibras têxteis, espessantes, ligantes, nanocelulose, etc. Enfim, há uma grande sobreposição de cadeias produtivas que transformam a celulose e o papel em uma rede de valor imensa, intrincada e global.

Algumas ameaças com certeza surgiram ao longo da história do papel, especialmente como veículo de transmissão de informações e na embalagem de produtos. O plástico e o isopor certamente exerceram pressões sobre o papel, mas serviram para tornar o papelão ondulado e os sacos de papel em embalagens mais amigáveis ao usuário, mais recicláveis e mais limpas. O rádio, a televisão e agora a internet introduziram significativas pressões sobre os papéis de imprensa e de impressão. Em muitos casos, ao invés de se baixarem os consumos de papel devido a esses novos veículos de armazenamento e difusão de informações, surgiram outras oportunidades que ajudaram o surgimento de novas utilizações ou de outros produtos de papel. Recentemente se anunciou o sucesso do lançamento de um *pendrive* fabricado com fibras celulósicas (http://techtripper.com/a-paper-usb-flash-drive-that-you-can-fold-rip-and-recycle/). Muitas outras inovações deverão surgir nesse sentido.

Não há dúvidas que alguns dos papéis sofreram impactos negativos e acabaram perdendo espaço nos mercados, como é o caso

do papel de imprensa para jornais, papéis rótulos, papéis carbono, etc. Mas sempre acabam surgindo outros usos inovativos, como papéis autocopiativos, papéis filtro, papéis decorativos para móveis e pisos, etc. Em resumo, as inovações tecnológicas para novas dinamizações do setor papeleiro estão quase sempre associadas a essas pressões, quer elas venham da escassez de algum insumo importante (energia, fibras, etc.), ou de alterações mercadológicas, ou ainda da pressão exercida por produtos alternativos.

Talvez, a razão dessa contínua revitalização do setor de celulose e papel se deva a três causas básicas:

- As maravilhosas qualidades que a madeira, como recurso reciclável e natural, oferece fisicamente (como fibras) ou quimicamente (como celulose, lignina, etc.);
- As exigências do mercado, que induzem competição em busca de competitividade pelos atores envolvidos desse setor;
- A constante evolução das tecnologias graças às pesquisas realizadas em centenas de universidades, institutos de pesquisa, fornecedores de máquinas e insumos e nos laboratórios das próprias fábricas do setor.

Considerando que a história do papel é algo que se iniciou logo nos primeiros anos do século II D.C., temos uma longa cadeia de eventos que colaboraram para trazer o papel aos dias atuais como um produto tão diversificado. Quando o grande mestre chinês Ts'ai Lun produziu suas primeiras folhas de papel, usando fibras vegetais, até certo ponto "tecnologicamente primitivas" e uma peneira, formando uma folha e depois a secando ao ar, ele estava longe de imaginar que toda uma indústria se desenvolveria tão intensamente a partir dessa ideia tão simples. Mais surpreso ele ficaria se desse, naquela época, uma espiadela no futuro e notasse que o papel é feito hoje quase da mesma maneira, somente que em máquinas contínuas, com alta agregação tecnológica e velocidades de produção muito altas. Para que isso acontecesse, o papel precisou ganhar escala de consumo para permitir então aumentos na escala de produção e nas eficiências operacionais. Isso só foi conseguido através do equacionamento de algumas dificuldades e muita superação, via criatividade, das barreiras iniciais que impediam a expansão dessa industrialização.

Para fins de entendimento histórico desses desafios e em como eles foram superados, apresenta-se a seguir um breve relato de algumas etapas históricas do papel, mencionando algumas das forças motrizes que permitiram ao papel adquirir esse estágio de produto e bem industrial que é consumido em quantidades absolutamente fantásticas pela humanidade. Os povos com maior qualidade de vida e vivendo em países com economias saudáveis consomem ao ano algo como cerca de 250 a 300 kg de papel por cada um de seus habitantes. Em alguns desses países as taxas de reciclagem atingem entre 65 a 80%. Já os países mais pobres do planeta têm populações que não desfrutam de boa higiene, consomem poucos bens industrializados embalados, não leem e não imprimem muito, enfim, possuem habitantes que consomem individualmente menos de 30 kg de papel por ano. Por essa razão, o consumo de papel está intimamente associado à qualidade de vida de um povo e com o crescimento do produto interno bruto de uma economia. É muito fácil se entender então: sociedades em crescimento econômico e boa qualidade de vida são grandes consumidoras de papel por cada um de seus habitantes; seja papel de fibras virgens ou papel reciclado.

Independentemente de qual o tipo de fibra papeleira que estivermos falando nos dias de hoje, se fibras recicladas ou fibras de celulose virgem, todas elas são fibras vegetais e na sua grande e quase total maioria são originadas das madeiras. Portanto, ao se falar de produzir papel, estaremos necessariamente falando em ter que plantar e consumir árvores, mesmo que estejamos privilegiando o processo de reciclagem do papel. Por essa razão, a importância de se produzir florestas com muita qualidade ambiental e sustentabilidade.

A outra grande floresta que abastece a indústria do papel é a chamada "floresta urbana". O papel após seu uso, se coletado de forma adequada, limpa e com boa qualidade, vai realimentar a indústria para novas fabricações de papel. Isso ajuda a diminuir os volumes do lixo gerado pelos cidadãos e pelas empresas. Também reduz as necessidades de aterros sanitários e as demandas de árvores, mesmo as que são plantadas para se fabricar papel. Cabe então aos próprios cidadãos cumprirem seu papel na coleta seletiva de seus lixos, permitindo com isso uma maior oferta de fibras a reciclar. Também é muito importante que as fibras virgens sejam produzidas por florestas com certificados e rótulos ambientais, o que garante que seu impacto ambiental esteja minimizado e que as

empresas que plantam árvores para fabricar papel o façam com adequação legal e sustentabilidade. Afinal, há muita necessidade de um equilíbrio na reposição de fibras virgens para a cadeia do papel reciclado, pois se isso não acontecesse, em pouco tempo não haveria papel para ser reciclado. Isso porque nem todo papel é reciclável; tampouco nem todo papel reciclável é coletado e ofertado para ser reciclado. Sempre existem perdas nesse processo todo. Também as fibras do papel sofrem danos físicos com sucessivas reciclagens e novas fibras virgens são necessárias a entrar nesse processo para reequilibrar o sistema. Por isso tudo, a complementaridade entre papéis reciclados e papéis de fibras virgens é muito importante.

Quando se fala em fibras de madeira abastecendo fábricas de papel (quer para o papel de fibras virgens, ou para o papel reciclado) deve-se ressaltar que se tomaram alguns séculos até que essas fibras passassem a ser a principal matéria-prima para o papel. Antes da descoberta da madeira, o papel tinha sua expansão impedida pela escassez de uma base fibrosa abundante, barata e capaz de conferir qualidade nas folhas, compatíveis com as diversas exigências do mercado. No início, foram usadas fibras de vegetais fáceis de serem macerados, tais como taquarinhas, palhas de cereais, algodão, papiro, etc. Durante alguns séculos, as principais matérias-primas fibrosas para os papéis foram fibras do linho e do algodão. Essas fibras eram extraídas de trapos de roupas ou de panos usados. Imaginem que a escassez dessas fibras chegou a um ponto tal, que em alguns países europeus passaram a existir leis que impediam que as pessoas mortas fossem enterradas vestindo algum tipo de tecido contendo essas fibras. Os trapos eram moídos através batimentos continuados em moinhos, o que levou as primeiras fábricas a serem chamadas de "moinhos de papel". Essa denominação se mantém até hoje em alguns idiomas ("*pulp mill*" em inglês; "*moulin de papier*", em francês). Ainda na época das viagens a caravelas, por iniciativa de alguns pesquisadores acadêmicos e industriais, desenvolveu-se o uso de fibras de palhas de cereais agrícolas, como palha de arroz, de trigo, de milho, etc. Ainda assim, mesmo essas fibras sendo mais abundantes, a qualidade do papel não era totalmente compatível com alguns dos seus usos. Além do mais, essas fibras agrícolas tinham outros usos importantes na agricultura, como na alimentação do gado, compostagem, etc.

Finalmente, só a partir de meados do século XIX é que a madeira surgiu em cena. Muitos pesquisadores já haviam notado que

a madeira consistia em uma fonte potencial de fibras, mas não sabiam como extrai-las. As primeiras fábricas usando a madeira surgiram na Alemanha usando uma extração mecânica dessas fibras por atrito. A invenção do cozimento alcalino soda na mesma época permitiu que materiais fibrosos fossem amolecidos em uma solução cáustica fervente até que as fibras pudessem ser individualizadas. Estava assim aberto o caminho para a indústria papeleira atual. Atribui-se ao alemão Friedrich Keller a primeira operação semi-industrial usando madeira para produção de pasta mecânica para papel, por volta do ano 1845. Já o processo soda teve sua origem na Inglaterra, descoberto em 1851 por Burgess & Watt, sendo útil tanto para palhas de cereais, como para cavacos de madeira. Logo a seguir, Carl Dahl, entre 1879 e 1884 (ano de obtenção da patente), "inventou" acidentalmente o processo kraft e esse tem sido imbatível em termos de promover a separação das fibras de inúmeras matérias-primas para a produção de celulose.

Toda essa busca frenética de matérias-primas para se fabricar o papel se devia ao enorme potencial que passou a existir com a invenção da imprensa tipográfica de tipos móveis por Johannes Gutenberg, em 1439. A impressão de livros passou a exigir cada vez mais fibras, que nem os trapos, nem as palhas de cereais conseguiam suprir.

Três invenções importantíssimas para o setor papeleiro foram:

- A máquina continua de formar e secar folhas, atribuída ao francês Louis-Nicolas Roubert em 1799, com aperfeiçoamentos tecnológicos pelos irmãos Sealy e Henry Fourdrinier (1801);
- A já mencionada descoberta acidental por Carl Dahl das bases químicas do processo sulfato ou kraft, que introduziu um processo de individualização das fibras da madeira, com alta taxa de recuperação do licor de cozimento e obtendo celulose de muito maior resistência físico-mecânica;
- O branqueamento das fibras através utilização de hipocloritos e cloro, descobertas que surgiram de estudos do sueco Carl Scheele e do francês Claude-Louis Berthollet.

Imaginem que depois dessas importantes descobertas criativas em meados dos anos 1800's, a fabricação do papel se manteve absolutamente sob essas bases conceituais, apenas

buscando crescer em escala produtiva e em qualidade e diversificação de produtos. Os esforços foram colocados em manter as fábricas operando bem e produzindo papéis capazes de atender às exigências dos mercados. As máquinas vêm sendo engenheiradas para produzirem mais papel e com maior qualidade, com menos paradas, maiores eficiências e menores perdas.

Os cuidados ambientais muitas vezes eram deixados em nível secundário, sendo que algumas vezes se dizia que o cheiro das fábricas era sinônimo de progresso. Também muitas florestas naturais e patrimônios da Natureza acabaram sendo consumidos para esse tipo de fabricação em passado não tão longínquo. Eram outros tempos, outras cabeças pensantes, outras realidades ambientais. O progresso era buscado através da produtividade da terra através extração e consumo dos recursos naturais, não importando que para isso se consumissem esses bens naturais de forma hoje consideradas irresponsáveis. Isso em praticamente todos os setores da economia e da industrialização.

Tudo acontecia sem maiores consequências até o momento em que surgiu uma das maiores forças motrizes para alterações significativas na indústria celulósico-papeleira a nível global. Antes mesmo da época acirrada da globalização, antes da internet e antes da Eco 92, o setor se viu ameaçado pela histeria que tomou conta do mundo em relação aos potenciais impactos perigosos para a saúde dos ecossistemas e do homem em função dos organoclorados gerados em processos de branqueamento da celulose com cloro elementar. Essa crise ambiental, que assolou o setor, começou em 1988 e perdurou por mais de uma década. Nunca se estudou tanto ou se pesquisou tanto em um setor industrial como nesse período.

Ao mesmo tempo, as pressões ambientais passaram a surgir no mundo todo sobre o uso das florestas para se fabricar papel, carvão, uso energético como lenha e outras utilizações vistas como não muito amigas do meio ambiente. Havia que se fazer algo urgentemente para resolução desses problemas. Afortunadamente, as pessoas quando exigidas e pressionadas reagem inovativamente. Em pouco tempo surgiram processos industriais de produção de celulose e papel mais limpos e ecoeficientes, surgiram processos de certificação ambiental das fábricas e das florestas, programas de diálogos públicos, etc. A conscientização por ambientes produtivos mais saudáveis e mais amigos do ambiente se desenvolveu em nível

de empresários, legisladores, acadêmicos, pesquisadores, etc. A velocidade disso tudo adquiriu uma aceleração enorme pelas novas formas de comunicação e pela globalização dos mercados.

A indústria brasileira de celulose e papel foi uma das mais beneficiadas por essa nova etapa de ajustes globais e pelas demandas ambientais crescentes. Isso porque ela tinha-se destacado como uma das mais competitivas do mundo em função da capacidade desenvolvida no País para se produzirem florestas com altíssimas produtividade e qualidade de madeiras. Com isso, houve uma migração da produção de celulose dos países tradicionais europeus e norte-americanos para países mais competitivos do hemisfério sul e asiáticos, como Brasil, Chile, Uruguai, África do Sul, China e Indonésia, etc. Novas e modernas fábricas, em seu estado-da-arte tecnológico, passaram a fazer parte dos programas de desenvolvimento desses países. As fábricas mais modernas, de última geração tecnológica, são muito mais ecoeficientes, consumindo menores quantidades de recursos naturais por unidade de produto fabricado. Dentre esses recursos naturais que são mais eficientemente utilizados estão: água, madeira, energia elétrica, combustíveis, vapor, reagentes químicos, etc.

Em pouco menos de três décadas, a indústria brasileira de celulose e papel se modernizou e atraiu investidores. Atraiu também a atenção de entidades de apoio ao desenvolvimento de países emergentes. Em 2002, quando da ocorrência do "World Summit" em Johannesburg, o chamado Rio+10, houve um forte interesse da UNIDO/ONUDI (Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial) para entender as razões pelas quais o Brasil tinha, em tão pouco tempo, estabelecido uma indústria de base florestal para produção de celulose e papel com tanta qualidade ambiental. A ideia era se usar esse exemplo brasileiro para estimular outros países para o desenvolvimento industrial sustentável. Coube-me a tarefa de buscar as razões para essa grande competitividade da indústria brasileira de celulose e papel, com excelente nível e adequação em termos de sustentabilidade. Não foi difícil se detectar as forças motrizes que estimularam o setor celulósico-papeleiro no Brasil a atingir esse nível de sustentabilidade.

Em primeiro lugar, a globalização colocava junto a nós um mercado maior, mas muito mais exigente. Os grandes consumidores europeus, por exemplo, representavam o mercado mais atrativo e

almejado. Esses consumidores esforçavam-se para mostrar uma imagem verde na Europa e, por essa razão, exigiam qualidade ambiental e social dos seus fornecedores. As demandas ambientais passaram a ser relevantes por parte dos mercados. Exigem-se hoje certificações ambientais e florestais, bem como certificados de conformidade em termos de reagentes químicos, matérias-primas, emissões de gases de efeito estufa, uso de água, origem das fibras, etc.

A competição entre os fabricantes de celulose e papel para atender mais e melhor com seus produtos esses mercados é outra força ambiental relevante. Todos querem mostrar aos mercados que possuem qualidade ambiental, mas para se mostrar bem nisso, há que se terem realizações e conquistas relevantes. Os planos de melhorias ambientais, a criação de RPPN's - Reservas Particulares do Patrimônio Natural, etc. passaram a ser frequentes. As certificações ambientais e florestais então são comuns nas empresas brasileiras do setor há mais de 20 anos.

Outra força motriz significativa tem sido a legislação ambiental muito exigente no País, tanto a nível florestal, como para as licenças de instalação e operação das unidades fabris do setor. Com uma legislação restritiva, órgãos de fiscalização atentos e com as ameaças do Ministério Público, a regra é muito clara: ou se está em conformidade legal, mesmo com as mais restritivas exigências, ou não se participa do jogo. O setor optou por atender e superar essas exigências. Com orgulho o setor florestal hoje argumenta que a cada hectare que planta de florestas está preservando entre 0,7 a 1 hectare de ambiente natural totalmente protegido e conservado nas áreas de preservação permanente e de reservas legais, além das RPPN's. Tudo isso compondo um interessante mosaico eco-florestal diversificado, muito longe da alcunha de monocultura.

Outro fato alavancador para a qualidade ambiental das operações industriais no setor de celulose e papel tem sido a idade tecnológica das fábricas. A maior parte da produção de celulose se dá em fábricas com idades tecnológicas ou com modernizações de parques fabris que aconteceram nos últimos 5 a 10 anos. Estamos falando em quase todos os casos em fábricas estado-da-arte tecnológico, com desenhos industriais modernos e ecoeficientes.

O somatório dessas forças anteriores leva ao atendimento de outra importante força motriz que é a imagem setorial, quer seja na visão dos clientes, como da sociedade como um todo. Ainda há muito espaço para melhorias nesse tema, mas tem-se trabalhado com mais intensidade nesse particular.

Finalmente, encerrando o enunciado de algumas forças motrizes alavancadoras para o bom desempenho ambiental, tem-se o papel dos meios de comunicação e das ONGs - Organizações Não-Governamentais, que graças à velocidade notável dos meios de comunicação e da internet, são muito mais rápidas em divulgação de suas críticas e de ocorrências ambientais e sociais relevantes.

Somando-se a isso tudo o compromisso assumido pelas empresas em suas práticas de responsabilidade corporativa, com as modernizações na gestão e no comprometimento das pessoas, o Brasil está conseguindo alcançar uma posição de liderança incontestável no setor mundial de produção de celulose e papel.

Fabricar celulose e papel, bens que agregam facilidades para nossa vida diária, tem-se constituído em uma atividade de significativa importância para o País. Fabricar celulose e papel com modernas tecnologias, mais limpas e eficientes, com mínimos impactos ambientais, é o que se espera que seja um compromisso continuado desse setor. Estar além das adequações legais e em conformidade com as mais restritivas exigências ambientais é outro fator de que se orgulha esse setor no Brasil.

E o futuro, o que nos aguarda?

Com as florestas cada vez mais produtivas e melhoradas pela ciência, através de muita pesquisa cooperativada entre empresas privadas, universidades e institutos de pesquisa, tem-se uma certeza: a matéria-prima fibrosa continuará atendendo em qualidade e quantidades as demandas para crescimento sustentado do setor. Já as tecnologias industriais estão em processo para alguns novos saltos tecnológicos, não se limitando a melhorias, otimizações e ganhos em escala e eficiências.

Hoje, passam a existir interessantes novas alternativas para a fabricação da celulose e do papel, integrando os aspectos químicos e físicos da madeira. Existe uma inquestionável nova tendência em

plena evolução tecnológica que consiste na produção de biocombustíveis, de bioprodutos e de fibras celulósicas para fabricação de papel em uma mesma unidade de manufatura. É o conceito das biorrefinarias, onde a madeira ofereceria fibras para o papel e alguns de seus constituintes menos essenciais para as fibras papeleiras (hemiceluloses e lignina) para a produção de valiosos materiais lignocelulósicos. Com isso, as fábricas de celulose e papel estarão passando a ter novos e atrativos mercados para aumentarem sua competitividade, passando a atuar em distintos segmentos de altíssimo valor econômico.

Enfim a indústria de celulose e de papel, especialmente a brasileira, mostra grande vitalidade, ânsia e disposição de crescer. Mais do que isso, tem saúde física, recursos financeiros, capacidade, conhecimentos tecnológicos, competência humana e compromissos de crescer com sustentabilidade.

==========

## CARACTERÍSTICAS DESEJADAS NAS ÁRVORES DAS FLORESTAS DE EUCALIPTO

Graças ao excelente desenvolvimento tecnológico e a muita P&D em países como Brasil, África do Sul, Portugal, Espanha, Chile, Austrália, e outros mais, as árvores dos eucaliptos atingiram o

"status" de super-árvores e as florestas, idem. Em um primeiro momento tecnológico, há algumas décadas atrás, o esforço vindo do melhoramento genético era todo colocado em desenvolver volumes (produtividade em volume de toras de madeira). Logo a seguir, ocorreu uma migração para peso de madeira, associando a produtividade volumétrica com a densidade básica das árvores. Muitas pesquisas foram realizadas para melhorar a qualidade das sementes florestais, as variáveis silviculturais, a ambiência e as interações florestais. Graças ao desenvolvimento das tecnologias para ganhos de produtividade, a indústria baseada nas florestas plantadas de eucaliptos tornou-se competitiva e vencedora em diversas regiões do mundo.

Em um segundo momento, um novo salto tecnológico foi dado pelo setor de florestas plantadas a partir dos anos 1980's. A combinação em larga escala comercial de técnicas de hibridação e clonagem permitiu ganhos rápidos e persistentes não apenas em volume e peso das árvores, mas também em inúmeras características tecnológicas das madeiras. Essas características eram muito mais difíceis de serem otimizadas pelas técnicas tradicionais de seleção de indivíduos superiores e cruzamentos controlados para produção de sementes em pomares.

A história da eucaliptocultura mudou drasticamente há pouco mais de duas décadas. Os custos unitários de produção de madeiras puderam ser reduzidos e as árvores tornaram-se mais produtivas e uniformes em qualidade. A variabilidade das florestas em seus principais indicadores também se estreitou, apesar de existirem potencialidades para ganhos adicionais em termos de uniformidade e qualidade.

Graças à soma de altas produtividades nas florestas e melhor qualidade das madeiras, as florestas de *Eucalyptus* se tornaram vencedoras e admiradas no mundo florestal. Elas ganharam posição como produtoras de madeiras de qualidade para inúmeras utilizações: celulose, papel, madeira serrada, painéis de madeira, móveis, compensados, estruturas para construção civil, postes, etc. Isso sem falar no uso e potencial energético inquestionável (lenha, biomassa e biocombustíveis).

Definitivamente, as florestas plantadas e as madeiras dos eucaliptos evoluíram significativamente em pouquíssimo tempo. Novos ganhos são agora vislumbrados pelas tecnologias da

engenharia genética e biotecnologia florestal. Os objetivos e as metodologias de avaliação estão-se sofisticando, o genoma do eucalipto descortinado, as relações entre genética e ambiente cada vez mais conhecidas, as técnicas de transferência segura de genes também. Em resumo, o momento é muito apropriado, não restam dúvidas que conquistamos muito. Porém, há muito mais ainda a se fazer, e coisas difíceis.

Ao buscar árvores superiores de eucaliptos para os programas de melhoramento florestal e da qualidade da madeira, o técnico florestal coloca sua atenção em algumas características vitais para obter sucesso. Ele pretende colocar suas árvores para uso comercial, logo seu foco se concentra muito em produtividade, eficiência e qualidade. Mais ou menos como os fabricantes de papel e celulose, cada um em sua área de influência.

Anualmente, as empresas introduzem novos materiais genéticos melhorados para plantios comerciais. Elas querem que suas florestas mostrem árvores superiores em diversas características vitais, tanto em termos de desenvolvimento florestal, como tecnológico. Selecionamos algumas das características mais desejadas nas árvores e florestas de eucalipto para lhes apresentar. Sobre as qualidades das madeiras lhes falarei mais adiante.

Elas estão enumeradas a seguir:

## "As onze características vitais das florestas dos eucaliptos para produção comercial de madeiras"

Essa listagem é muito fácil de lhes ser apresentada, é autoexplicativa para seus itens:

1. Volume comercial das árvores: resultante de uma combinação de dimensões das árvores, tais como diâmetro à altura do peito (DAP), altura comercial e fator de forma das árvores. Pode ser expresso com e sem casca.

2. Peso comercial da madeira das árvores: uma relação direta entre o volume comercial da árvore sem casca e a densidade básica da madeira.

3. Percentagem de casca nas árvores: representada pela relação volumétrica ou gravimétrica entre a fração de casca em relação ao volume comercial da árvore.

4. Qualidade silvicultural da árvore: representada pela forma, retidão do tronco (fuste), arquitetura da copa, índice de área foliar, ramificações laterais, etc.

5. Resistência ou tolerância das plantas a pragas e doenças: importante se localizar genótipos capazes de oferecer resistência ou mesmo tolerância a pragas e doenças que representem perda de produtividade, ou mesmo que levem à inviabilidade florestal em uma determinada região. Detectados os indivíduos resistentes ou tolerantes, mesmo que eles não sejam produtivos, há boas chances de se transferir esses genes de resistência para indivíduos produtivos. Usam-se muitas técnicas inclusive de inoculação para checar se as resistências às pragas e doenças estão incorporadas nos genótipos melhorados.

6. Resistência ou adaptação das árvores a fenômenos climáticos e geográficos: destacam-se: déficit hídrico, frio e geadas, ventos fortes, alagamento e excesso de água no solo, declividade, altitude, etc.

7. Eficiência no uso da água e dos nutrientes: capacidade das árvores para produzir mais madeira com menor consumo de água e nutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, etc.). Em geral, expressa-se isso como peso de madeira formado por peso de mineral presente nessa mesma madeira. Para a hidrologia das florestas, estão em pleno desenvolvimento os indicadores de consumo de água. Um deles pode ser a quantidade de madeira formada por quantidade de água evapotranspirada.

8. Eficiência fotossintética e capacidade de alocar material orgânico na parte de interesse da árvore (tronco, por exemplo).

9. Qualidades florestais típicas: arranque das mudas, superação da mato-competição, adaptação a terrenos declivosos, capacidade de ocupação do espaço fisiológico, etc.

10. Capacidade de enraizamento das estacas para permitir eficiente clonagem

11. Habilidade do clone em superar os desafios de crescer como povoamento clonal.

A combinação dessas variáveis tem permitido ao técnico florestal desenvolver alguns indicadores de eficiência tecnológica para suas florestas. Alguns são muito apreciados pelos investidores. Dentre esses indicadores, destacam-se: produtividade em $m^3$/ha.ano; produtividade em toneladas de madeira por ha.ano; produtividade em toneladas equivalentes de celulose seca ao ar por ha.ano; número de árvores para compor um metro cubico sólido de madeira; número de árvores por tonelada seca ao ar de celulose.

Esses indicadores são cuidadosamente acompanhados pelos melhoristas florestais, pelos gerentes operacionais, e por amplo público empresarial (executivos, banqueiros, acionistas, etc.). A atenção sobre o desempenho das florestas de eucaliptos é total, até mesmo por sua liderança. Os líderes costumam ser admirados, mas copiados e imitados também, não é mesmo?

São as florestas e os produtos das florestas de eucaliptos que mais conferem competitividade às indústrias que usam essas matérias-primas. Afinal, uma nova e moderna fábrica "*greenfield*" de celulose ou de papel pode ser adquirida no mercado e montada em qualquer lugar do mundo. Os grandes fornecedores de tecnologias e de máquinas estão prontos a vendê-la, independente de onde a fábrica será instalada. O capital necessário pode vir de acionistas, do governo, por captação nas bolsas, etc. Essa fábrica pode ser construída e operar no Brasil, Indonésia, Espanha, Uruguai, Chile, etc. Resultado dessa avaliação simples de competitividade: quem ajuda a garantir a competitividade da fábrica será sua base florestal, sua produtividade, qualidade da madeira e custos dessa madeira posta fábrica.

Os eucaliptos se constituem hoje em matérias-primas populares e vencedoras para produção de celulose e papel. Além disso, as propriedades tecnológicas das árvores, madeiras, celuloses e papéis são excepcionais e passíveis de melhorias ainda adicionais. Há um amplo processo de melhoramento em andamento, mas muitas vezes falta acertar o passo entre as áreas envolvidas nessa rede de valor. Com a otimização da rede produtiva, as vantagens podem ser repassadas aos clientes finais, não apenas nos preços, mas nas qualidades e nas variáveis operacionais de desempenho. Muito bom isso tudo, mas nada foi conquistado de graça. Houve muito esforço de P&D e inovação para isso tudo.

Para vocês entenderem um pouco mais o que representou esses ganhos tecnológicos florestais, vamos lhes mostrar uma tabela simples, comparando aqueles indicadores vitais florestais anteriormente mencionados. A diferença na cronologia é de 35 a 40 anos apenas. Eu, de minha parte, tive o privilégio e a maravilhosa oportunidade de estar presente e estar participando de tudo isso nessas décadas, pois me graduei engenheiro agrônomo silvicultor pela ESALQ/USP em 1970, dai a razão de essa tabelinha a seguir:

| **Povoamentos comerciais**<br>**Florestas plantadas de *Eucalyptus*** | **1970-1980** | **2010-2013** |
|---|---|---|
| Produtividade ($m^3$ madeira/ha.ano) | 20 - 30 | 40 - 55 |
| Produtividade (t madeira seca/ha.ano) | 10 - 18 | 20 - 30 |
| Produtividade (tsa polpa/ha.ano) | 5 - 7 | 10 - 16 |
| Número árvores/$m^3$ madeira | 6 - 12 | 2,5 - 6 |
| Número de árvores/tsa polpa | 30 - 40 | 10 - 20 |
| Hectares totais de efetivo plantio para abastecer uma fábrica de 1 milhão de toneladas de polpa ao ano<br>(em 1.000 ha) | 145 - 200 | 75 - 100 |

(tsa = tonelada seca ao ar)

Árvores mais produtivas são fisiologicamente mais eficientes e oferecem maiores facilidades e desempenho nas operações florestais. Quanto maiores os volumes das árvores, maiores e mais eficientes serão as operações e os custos operacionais de produção serão menores. Além disso, florestas que crescem mais permitem

economias em: número de mudas/hectare (pelo aumento do espaçamento), menores consumos de agrotóxicos, maiores produtividades das máquinas na colheita e transporte, maior relação m³ sólido/m³ de madeira empilhada, etc.

Árvores mais produtivas são também muito mais eficientes nos consumos de água e nutrientes. Elas conseguem produzir mais e melhor com a mesma quantidade dada desses insumos que árvores de pior desempenho florestal. O somatório dessas ecoeficiências todas coloca as florestas plantadas de eucaliptos como de baixo nível de impacto ambiental por unidade de madeira produzida. Isso tanto em consumo de recursos naturais por unidade de madeira, como pela necessidade de muito menor área a ser plantada para produzir a mesma quantidade de madeira a abastecer uma fábrica de celulose ou papel. Por isso tudo amigos, a importância da tecnologia florestal aplicada aos eucaliptos - ela tem sido a chave do sucesso ao abrir as portas para as empresas do setor a nível global para seu crescimento competitivo e sustentável.

==========

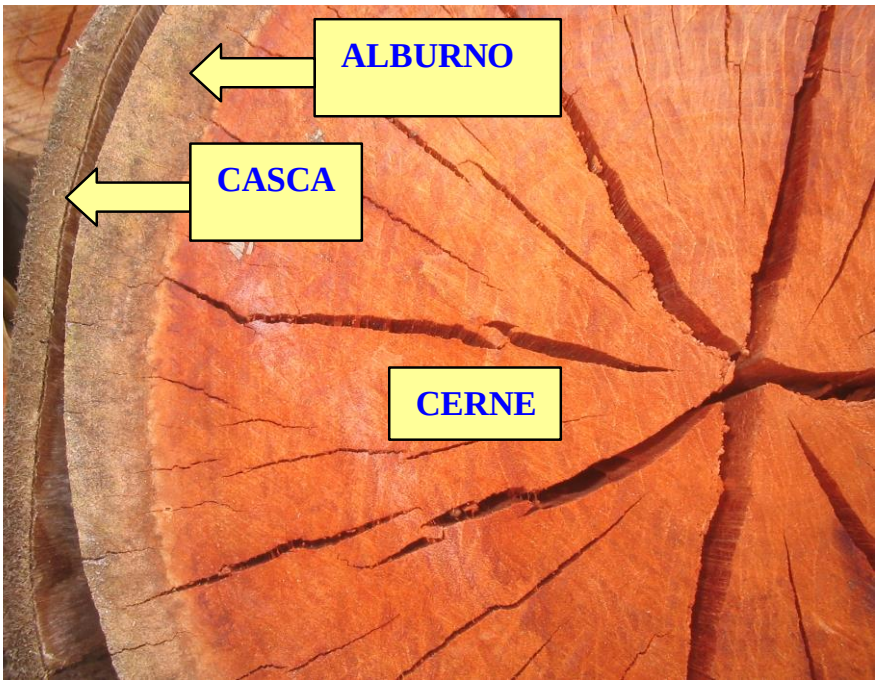
# ANATOMIA DA MADEIRA DO EUCALIPTO ASSOCIADA À POLPAÇÃO KRAFT

Qualquer madeira de eucalipto é estruturada de forma tal que oferece resistência para suportar a copa e para manter a árvore vigorosamente em pé. Também é engenheirada pela Natureza em seus constituintes anatômicos de forma a oferecer capacidade para o transporte da seiva bruta mineral das raízes até a copa. Para isso, usa preferencialmente os elementos de vaso, que formam canais fantásticos de transporte dentro do xilema ou lenho. Finalmente, a árvore também coloca em sua estrutura canais para o transporte da seiva orgânica elaborada pelas folhas. A maioria está na casca para o transporte vertical da seiva elaborada de natureza ricamente orgânica. Já na madeira temos os raios medulares, que são as principais células para transporte de alimentos às células ativas e vivas do xilema (madeira).

Em resumo, a árvore do eucalipto constrói uma sólida estrutura de paredes celulares cimentadas entre si pelas lamelas médias, ricas e concentradas em lignina. Essa estrutura, além de dar resistência à árvore, tem a missão de favorecer o fluxo de líquidos aquosos dentro da árvore. Existe, portanto, uma fabulosa e engenheirada rede de capilares no xilema e no floema. Isso pode ser notado quando se observam as diversas seções em corte das madeiras dos eucaliptos. Na seção transversal podem-se ver os lúmens das células que se interligam entre si por placas crivadas

(entre elementos de vaso) ou por pontuações ou pontoações (entre vasos/parênquima, fibras/fibras e fibras/parênquimas). A rede de capilares da madeira visa a atender principalmente ao fluxo ascendente de seiva mineral (água e sais minerais absorvidos do solo). Lembrem-se que o fluxo principal de seiva elaborada ocorre em elementos crivosos no floema (casca das árvores). A seiva mineral circula principalmente no xilema ativo da árvore, que é a região do alburno mais próxima do câmbio.

O lenho inativo ou cerne, em geral, passa a receber a deposição de extrativos com a finalidade de protegê-lo contra ataque por saprófitas e para prevenir sua deterioração. O cerne é então mais rico em extrativos polifenólicos, que são hidrofóbicos. Eles obstruem a capilaridade, impregnam os vasos, atuando como barreiras à entrada de líquidos e de ar. Essas obstruções nos elementos de vaso são denominadas de tiloses. Também os raios medulares ou parênquima radial são ricos em extrativos, portanto, tornando mais difícil a penetração de líquidos através deles. Os extrativos, além de causarem oclusão de capilares, também prejudicam a molhabilidade das paredes e com isso reduzem as forças capilares. Também prejudicam o inchamento, porque vão consumir alcalinidade e formar uma solução coloidal que se adere às paredes, prejudicando a capilaridade e o acesso dos íons alcalinos.



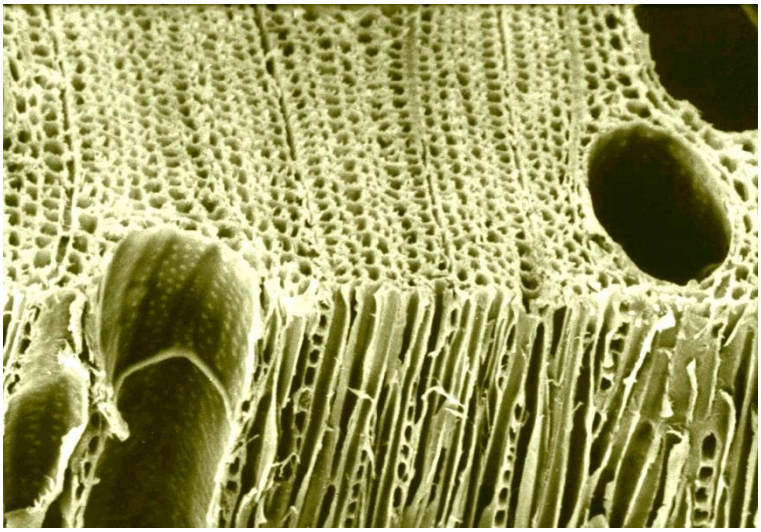
Seção transversal de uma tora de madeira de eucalipto

Importante que vocês saibam que o mais importante na madeira é a sua rede de capilares e que esses capilares estejam livres para acesso pelo licor de cozimento kraft. Importa então o tipo de capilares (lúmens de vasos, de fibras, de parênquimas) e sua distribuição na madeira. Não adianta termos boa frequência de vasos, mas esses vasos estarem todos agrupados, deixando muita área da madeira sem chances de receber licor. Os vasos devem estar bem distribuídos, devem estar de preferência livres de tiloses e suas paredes devem ter boa molhabilidade ou hidrofilicidade.

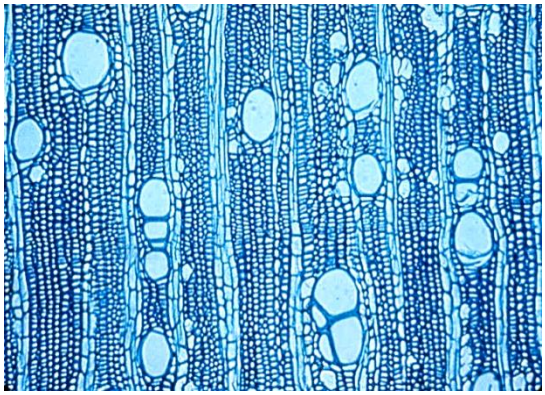
Além da capilaridade natural, existem também as micro-fissuras produzidas na picagem e no manuseio dos cavacos. Enfim, todos os capilares, naturais ou não, são importantes para o processo de polpação kraft.

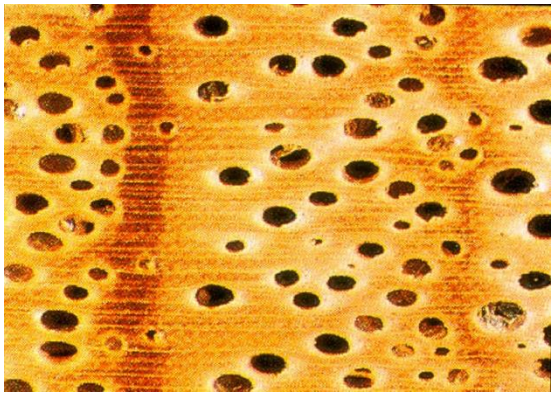
Como os cavacos são irregulares em dimensões e no tipo de madeira, podemos concluir que essa rede de capilares não é uniforme. Há cavacos que possuem uma rede bem favorável à impregnação e outros nem tanto. Isso para o mesmo lote de cavacos. Portanto, não podemos esperar mesmo comportamento dos cavacos frente à impregnação de licor de cozimento kraft, mesmo que estejamos trabalhando com um único clone de eucalipto. Existem também irregularidades na qualidade da madeira, como regiões de inserção de ramos (nós), madeiras anormais devido à ação de ventos, fogo, etc.

A missão da impregnação é promover a melhor e mais eficiente entrada de licor de cozimento em todos os cavacos de forma a reduzir a quantidade de cavacos incozidos. A meta é colocar todos os elementos anatômicos da madeira em contato com o licor de cozimento. Se isso acontecesse e se houvesse alcalinidade ativa suficiente, todos os elementos anatômicos seriam perfeitamente individualizados e não sobrariam rejeitos no final do cozimento. Portanto, o sucesso da impregnação e da polpação kraft pode ser medida pelo teor de rejeitos e de palitos ("*shives*") na polpa na saída do digestor. Outra forma de se medi-la é pela variação do número kappa das fibras individuais e não pelo número kappa médio da polpa.



Madeira de eucalipto: uma notável malha de capilares

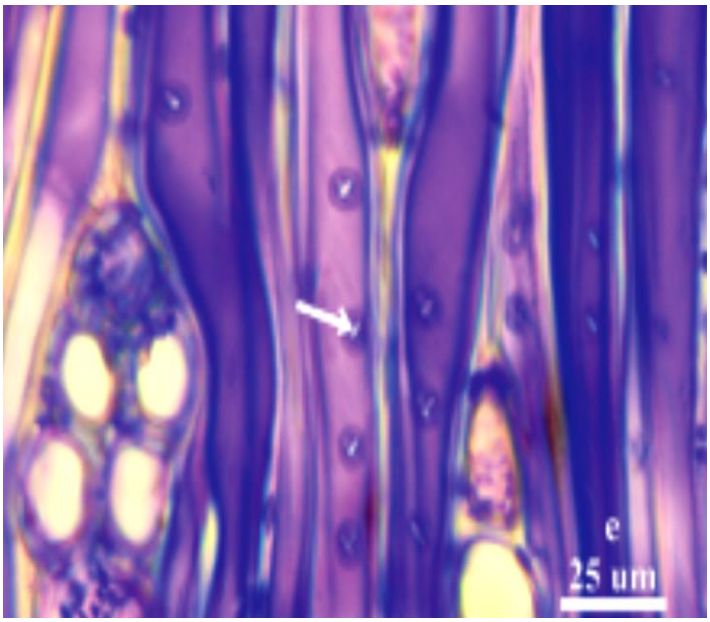




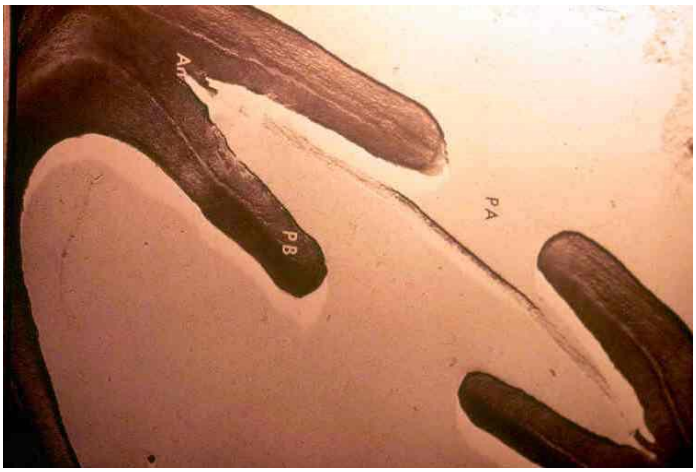
Elementos de vaso e parênquimas radiais muito bem distribuídos em madeiras, facilitando a impregnação dos cavacos e a polpação kraft

Feixe incozido contendo fibras e raios medulares

A rede de capilares da madeira forma a sua porosidade, que nada mais é que a quantidade relativa de vazios. Nas madeiras de eucaliptos, os vazios podem representar entre 50 a 75% do volume da madeira, dependendo da sua densidade básica. Colaborando para esses vazios, mas em menor proporção, temos as pontuações das paredes celulares. Elas são vitais para a movimentação do licor dos vasos para as outras células adjacentes. Portanto, colaboram em muito para a impregnação, mesmo sem serem muito estudadas no caso das fibras e parênquimas dos eucaliptos.

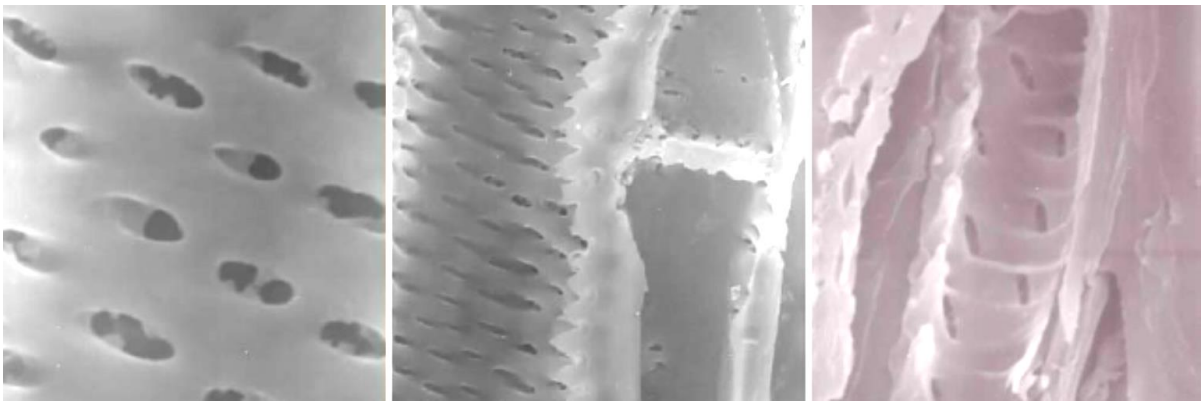



Pontuações em parede de fibra de eucalipto
Fonte: Washusen et al., 2005 – citado por Foelkel, 2009



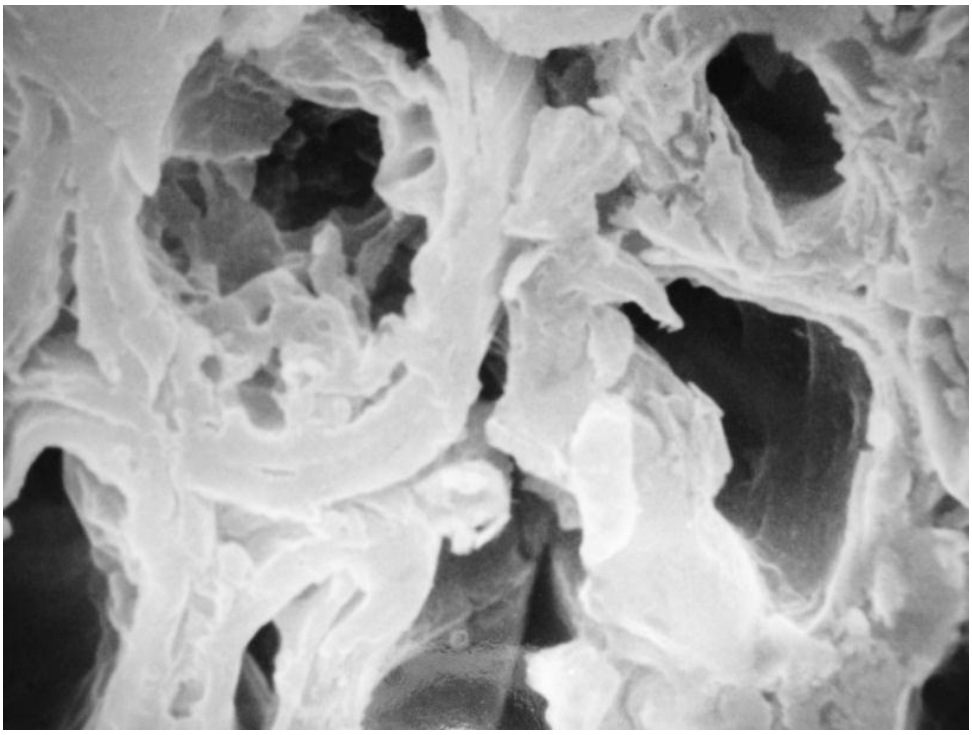

Pontuação areolada com membrana

Em geral, quando a célula do xilema ainda está viva, existe uma membrana que controla os fluxos de líquidos entre os citoplasmas de uma célula e outra adjacente. Já quando a célula morre, essa membrana seca e se perde. Ela pode também ficar mais ou menos rendilhada, dando a impressão de um buraquinho ornamentado ou "guarnecido". Essas rendas surgem da parede celular para evitar que a membrana da pontuação se feche. Isso está muito relacionado às pequenas aberturas que ocorrem nas paredes do vaso (pontuações guarnecidas ou "*vestured pits*", muito comuns em elementos de vaso de eucaliptos).



Pontuações em elementos de vaso
Fonte: Yang, 2006 – citado por Foelkel, 2009

Conforme o licor alcalino vai penetrando nos cavacos e passando através dessas pontuações, ele vai dissolvendo essas membranas e os extrativos eventualmente presentes junto a elas. Vai também reagindo primeiramente com a camada mais interna dos elementos anatômicos, que é e camada rica em hemiceluloses (em limite com o lúmen). Por outro lado, a madeira vai inchando com a alcalinidade que chegou e abre espaços para que o licor atravesse a parede celular e se aproxime da lamela média (rica e concentrada em lignina). Nesse processo de impregnação a baixas temperaturas (abaixo de 135ºC), os principais componentes da madeira que vão sendo degradados são as hemiceluloses, os grupos acetila e urônicos e os extrativos.



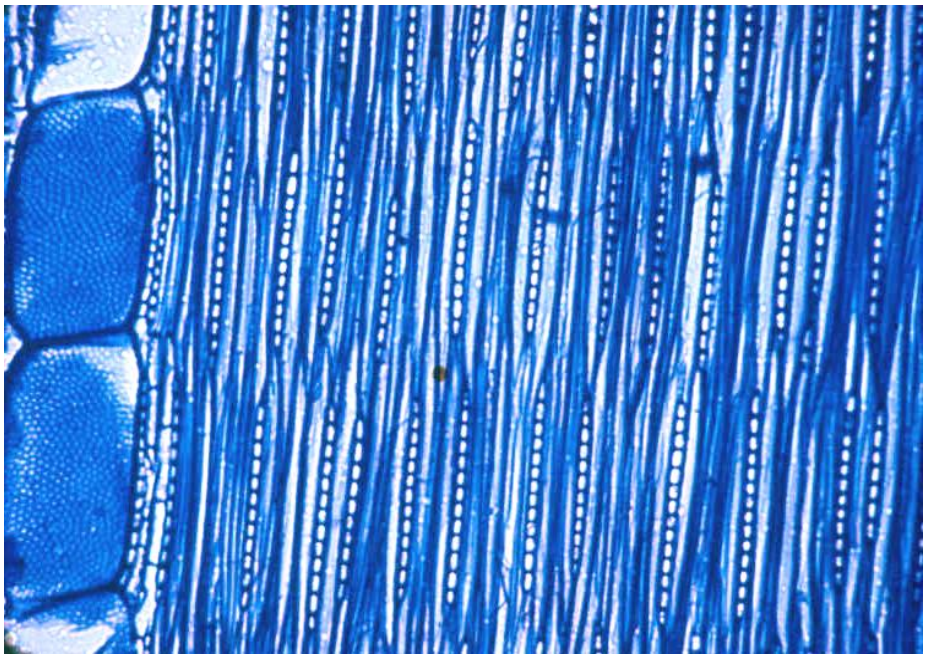
Corte transversal mostrando paredes afrouxadas de células da madeira e seu interior onde se nota a parede S3 disponível para a degradação pelo licor alcalino

A porosidade da madeira é de extrema relevância, tanto para facilitar a saída do ar e a entrada de soluções para dentro da madeira, como ainda para reter essas soluções no interior dos cavacos. Uma madeira de eucalipto com densidade básica 0,4 g/cm³ teria tecnicamente a capacidade de reter o dobro de seu peso seco em licor em seu estado de máxima saturação. Já uma madeira mais densa, de 0,55 g/cm³ consegue reter bem menos (somente 26% a mais que seu peso seco). Isso sem considerar os ganhos extras com o inchamento dessas madeiras. Significaria que para se levar a mesma carga alcalina para o interior de uma madeira mais densa teríamos que necessariamente trabalhar com licores mais concentrados em álcali efetivo, ou então aumentar significativamente o tempo de impregnação para favorecer a entrada de íons ativos por difusão. Isso é muitíssimo importante e precisa ser muito bem entendido por quem está produzindo celulose kraft de eucalipto.

Os operadores da fábrica nem podem sobredosar álcali, e tampouco subdosar. O que normalmente acontece é que existem cavacos de densidades de madeira muito diferentes no mesmo meio. Alguns estarão sendo bem impregnados e outros não. O que o operador deve entender é que quando ele mudar o abastecimento de madeira, ele deve procurar saber muito bem que tipo de madeira

será alimentada ao digestor, para evitar magnificar esse problema de variabilidade que já existe pela própria natureza da madeira. Essa tem sido a maior razão do sucesso dos modernos digestores onde existe uma fase de pré-impregnação dos cavacos. Ao se ter a chance de impregnar a baixas temperaturas (por exemplo, entre 100 a 110ºC) e em tempos variáveis de 30 a 90 minutos (o que a coluna descendente no vaso possibilita), pode-se minimizar a agressão aos cavacos de fácil acessibilidade e melhorar a impregnação dos cavacos de madeiras reconhecidamente de maior densidade básica.

Quando o licor começa a entrar na madeira ele começa primeiro a entrar pelo caminho mais fácil, que são os capilares dos elementos de vaso. Os vasos dos eucaliptos, ao contrário das fibras e das células de parênquima, são células abertas em suas extremidades inferiores e superiores (placas de perfuração total ou crivadas/escalariformes).

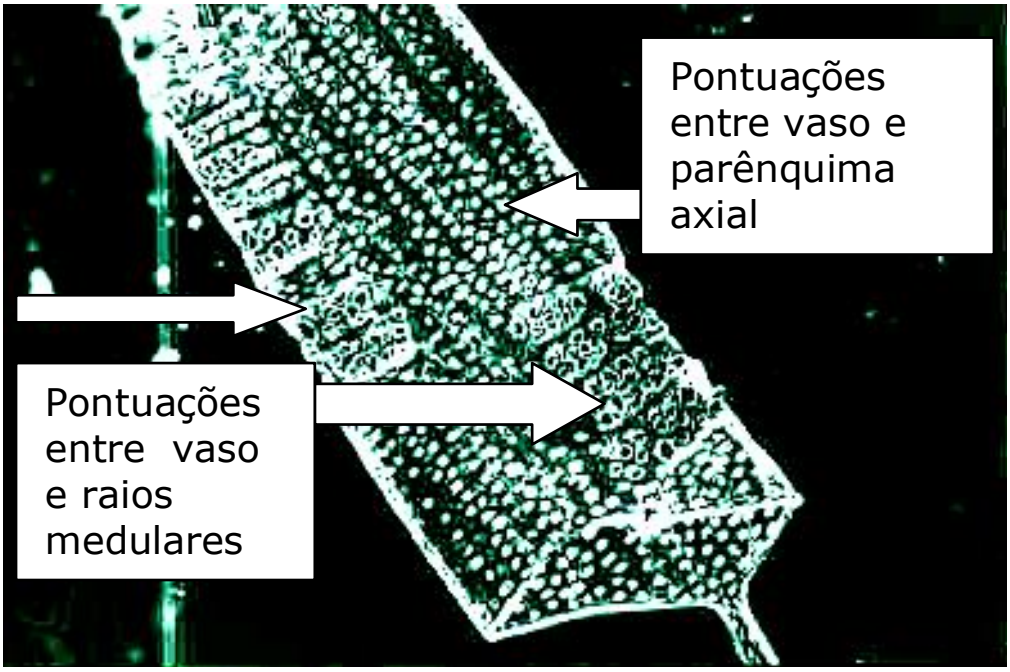


Típico arranjo de capilares para impregnação em madeiras de eucaliptos: Tubulações axiais/longitudinais formadas pelos vasos e pelas fibras no comprimento do cavaco e raios medulares que percorrem tanto a espessura como a largura dos cavacos de madeira

A seguir, o licor começa a migrar para os elementos laterais (primeiro para o parênquima axial e depois para fibras e raios medulares) através das pontuações que interligam e formam uma

interminável rede de porosidade micro-capilar na madeira. Lúmens de vasos, fibras, fibrotraqueídos, traqueídos vasicêntricos, e parênquimas vão sendo preenchidos e molhados, bem como suas paredes. A impregnação pelas pontuações (pequenas perfurações nas paredes) é mais lenta do que pelos elementos de vaso, algo perfeitamente compreensível. Portanto, o fluxo de licor entre fibras e entre fibras e células de parênquima é mais vagaroso. Já a entrada de licor para as células de parênquima axial e radial (raios medulares) é rápida e vigorosa. Os elementos de vaso possuem uma enorme quantidade de pontuações para acelerar o fluxo para esses parênquimas.

Como a madeira de eucalipto é rica em elementos de vasos (entre 12 a 18% do volume da madeira é ocupado por vasos), a penetração através dela é fácil.



Pontuações em elementos de vaso de eucalipto

Outra característica anatômica importante para a penetração do licor é a fração parede das fibras (relação percentual entre a espessura da parede celular e o raio da fibra). Quanto maior for a fração parede, menor será a proporção de lúmen e maior a de parede celular. Em casos assim, fica mais difícil a impregnação das madeiras. Esse é o caso de madeiras de mais altas densidades básicas. Nesses casos, lembrem-se, é fundamental se ter alcalinidade suficiente para

um eficiente inchamento das paredes celulares para facilitar a difusão dos íons alcalinos ativos. É preciso saber também dispor-se de tempos de impregnação e concentrações em álcali compatíveis a essas madeiras. Em caso de madeiras de mais altas densidades, podem-se perder rendimentos em conversão da madeira a celulose, exatamente devido às maiores dificuldades de impregnação dos cavacos e necessidade de tempos ou de concentrações em álcali maiores. A solução para esse problema consiste no eficiente uso de uma etapa de pré-impregnação dos cavacos, antes de se elevar a temperatura para a máxima de cozimento. Esse conceito está sendo repetido, pois é vital para a operação da etapa de polpação da madeira.

Quando existir água no interior da madeira, ela é uma barreira à penetração, mas recebe avidamente os íons ativos por difusão. Entretanto, a impregnação não se completa quando todas as camadas e paredes estiverem molhadas pelo licor de cozimento. Ela só terminará quando os fluxos iônicos causados pela difusão se equilibrarem. Nesse momento, as concentrações dos íons ativos estarão iguais no licor que está dentro e no que está fora dos cavacos. No momento em que o cavaco atinge sua saturação a penetração deixa de ocorrer, só passando a existir a difusão. Essa por sua vez termina, quando as concentrações de íons se uniformizarem. Tudo isso pode levar tempo, mas é a forma correta de se entender a impregnação. Uma maravilha da química, que se dá em meio biológico natural.

Nos modernos digestores com trocas de licores ao longo de cozimento, a tecnologia busca tirar proveito do processo de difusão que ocorre em duas vias: uma de entrada de íons alcalinos ativos para o interior dos cavacos; outra de saída do material orgânico solubilizado pelo processo de polpação.

Quando a madeira está verde ou úmida, uma parte de seus vazios está ocupada com água e ar. Quando está absolutamente verde, praticamente quase todos seus vazios estão preenchidos com água. Já quando seca, a madeira está com sua porosidade ocupada em grande parte pelo ar e acessível a ter esse ar trocado por licor de cozimento via penetração. As toras de eucalipto, ao serem colhidas têm uma umidade muito próxima ao máximo de água que podem conter, estando quase que saturadas em água. Pelas fotos da anatomia da madeira que vimos até agora, já conseguimos visualizar onde está essa água e como ela atrapalhará a penetração e facilitará

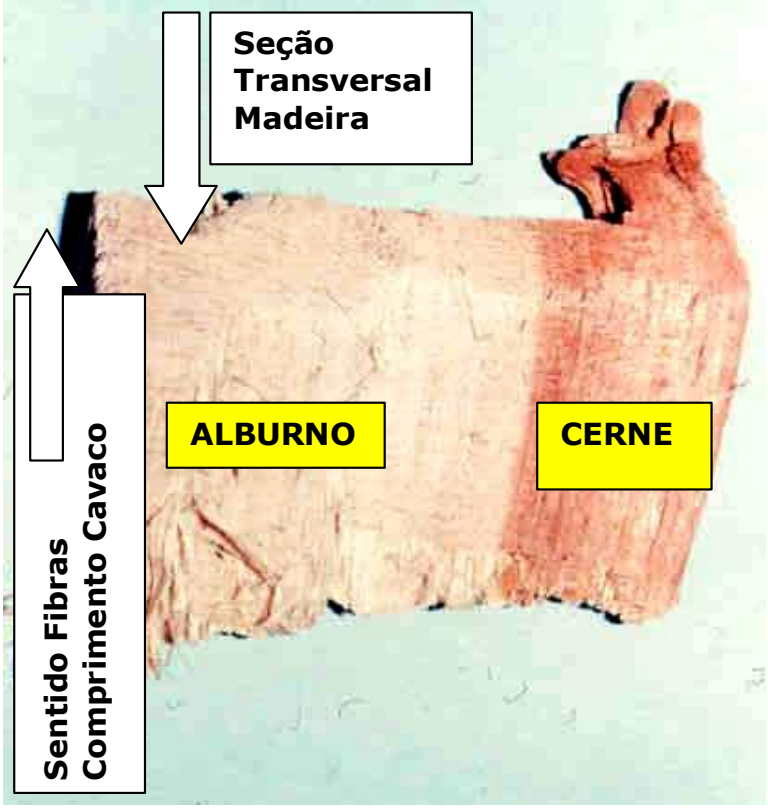
a difusão. Em madeiras secas a penetração é mais efetiva; enquanto em madeiras úmidas, seria o caso da difusão a principal forma de impregnação e entrada dos íons ativos do licor. Porém, conforme a madeira vai sendo impregnada, o ar presente nos cavacos fica obstruído no interior dos mesmos, sendo difícil de sair dali. Com isso, existirão pontos onde o ar impede que as fibras sejam molhadas pelo licor, o que é muito ruim para a polpação.

De qualquer maneira, o fluxo mássico iônico sempre será mais rápido no sentido longitudinal da madeira, na direção das fibras, ou ainda, no sentido do comprimento dos cavacos. Isso porque a capilaridade é muito maior nessa direção da madeira.

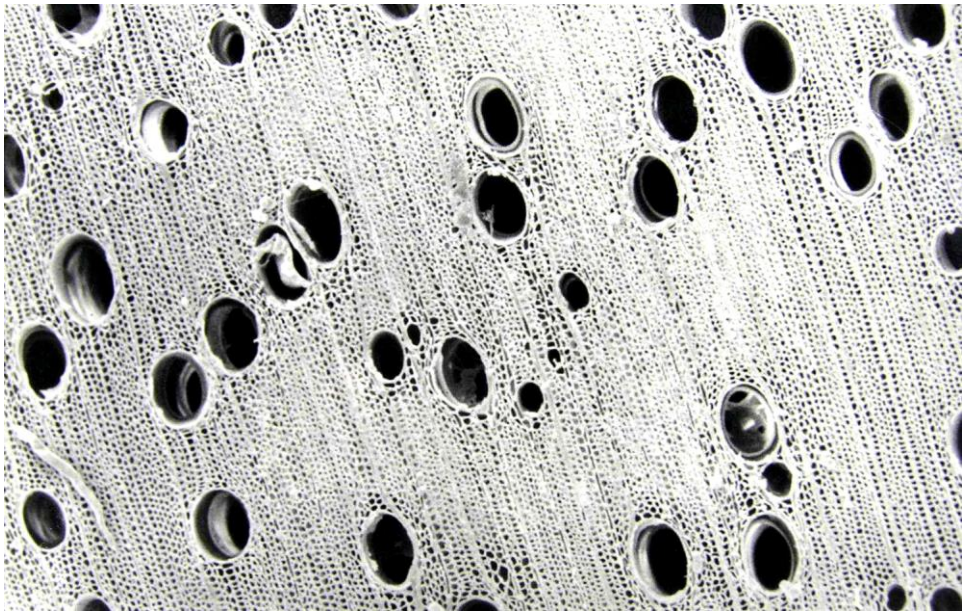
As velocidades de penetração são maiores (5 a 15 vezes mais rápidas) do que as de difusão, dependendo da fase em que se encontra a penetração (no início, mais rápidas). Já quando a difusão passa a ser a forma mais importante de impregnação nos cavacos saturados, a espessura é a menor dimensão dos cavacos a ser percorrida e o comprimento é a maior. Logo, em cavacos saturados é mais rápido para os íons atingirem o centro dos cavacos pela espessura do que pelo comprimento. Por isso, a tão proclamada importância da espessura do cavaco. Ela é vital por permitir menor tempo de difusão dos íons ativos para o centro dos cavacos, quando eles estão saturados de licor.

Como as soluções alcalinas fortes incham a madeira e facilitam a difusão dos íons ativos de cozimento em todas as direções da madeira, a impregnação dos cavacos por licor de cozimento kraft é muito mais efetiva do que pelos licores sulfito neutro (NSSC) ou sulfito ácido e bissulfito.

Como essa seção visa lhes apresentar algo de anatomia da madeira dos eucaliptos e sua inter-relação com a impregnação dos cavacos e sua polpação pelo processo kraft, decidi lhes oferecer mais algumas imagens relevantes para que entendam melhor a estrutura da madeira e os fenômenos associados à efetiva entrada de licor dentro delas. Lembrem ainda que o topo e a base do cavaco, quando olhado tendo seu comprimento no sentido das fibras, correspondem à seção transversal da madeira. É nela que é máxima a seção de capilares.

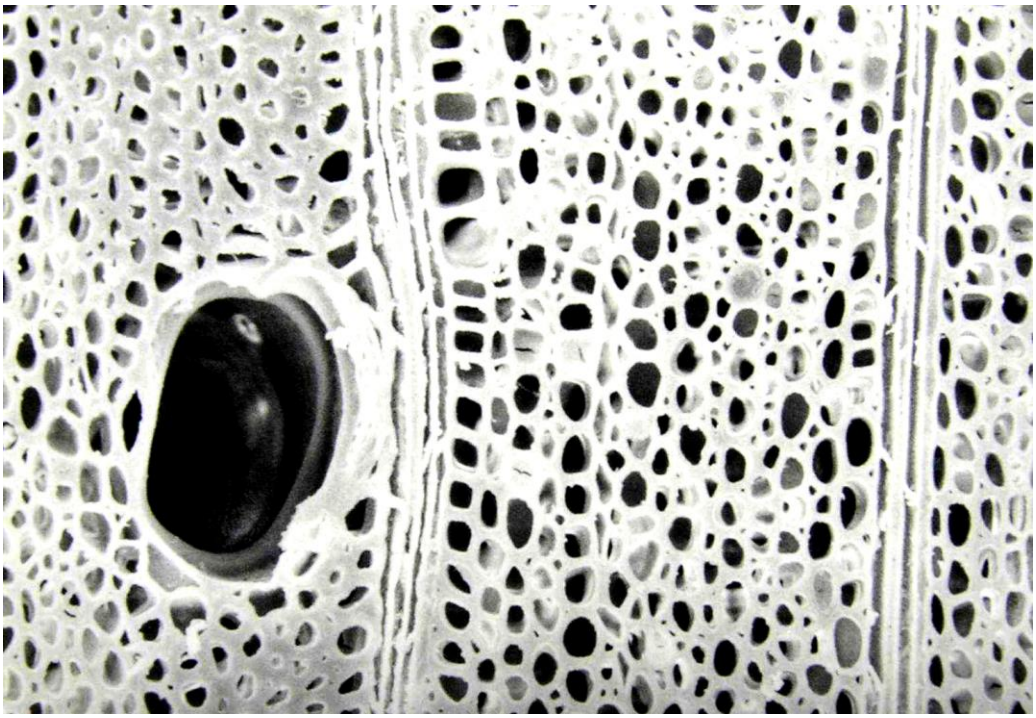


Cavaco de madeira de eucalipto

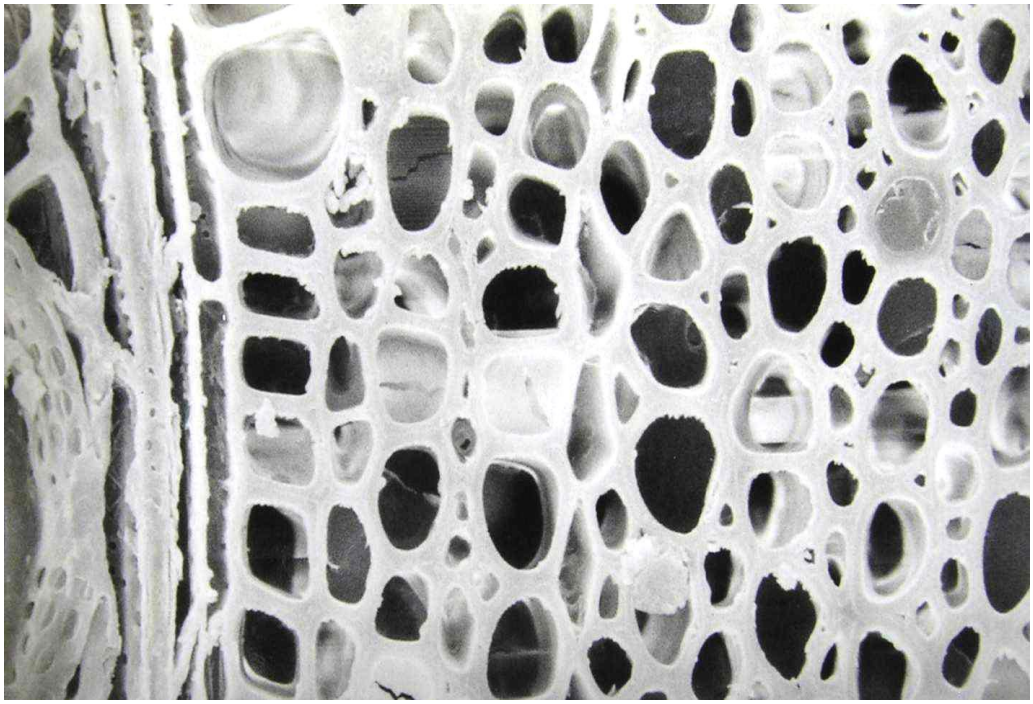


Seção transversal de madeira de eucalipto – paisagens anatômicas dos elementos de vaso, fibras e raios medulares. Observem o alinhamento das fibras (que engenharia da Natureza, fabulosa, não é mesmo?)

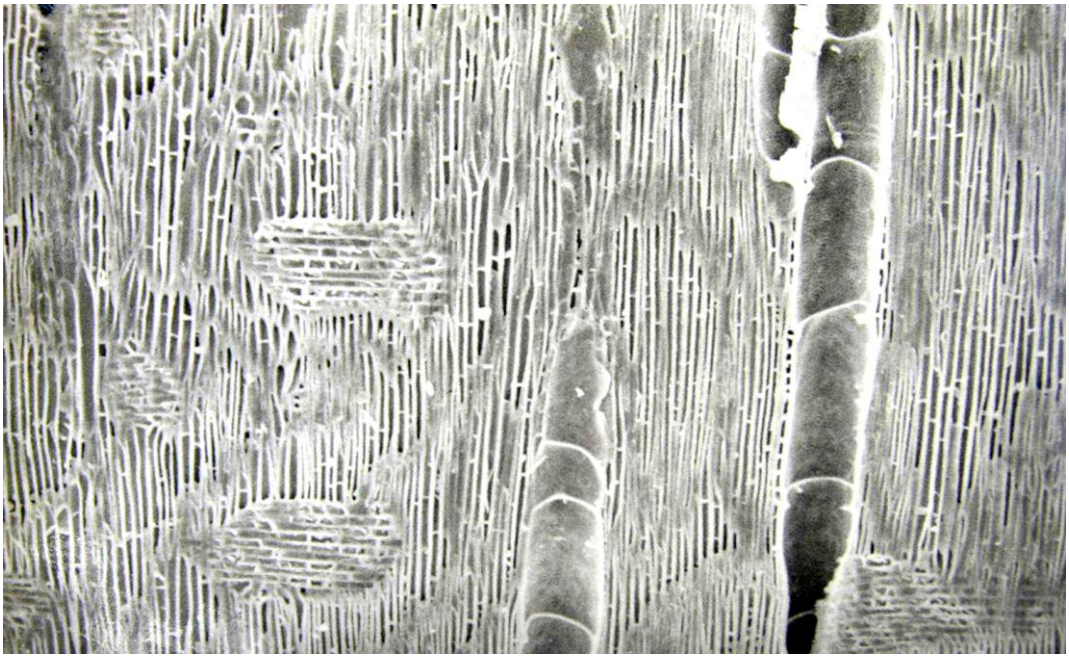
Observem ainda a boa distribuição dos elementos de vaso, únicos em sua maioria, pouquíssimos agrupados.



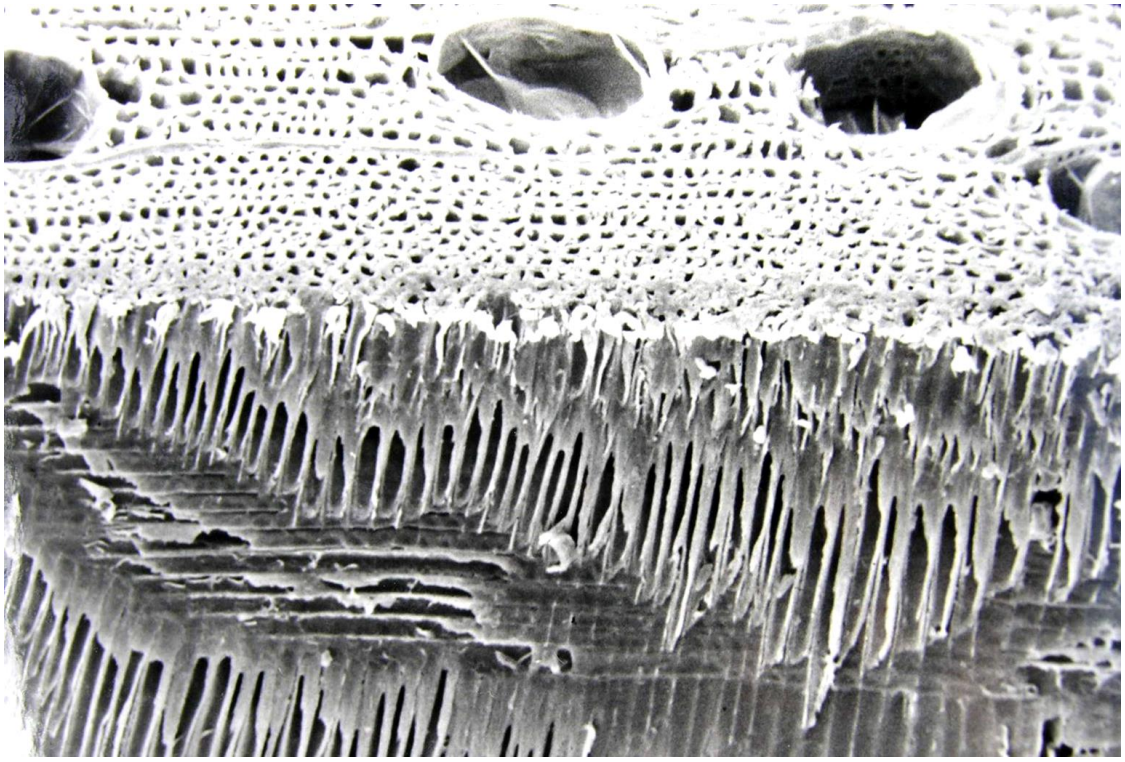
Fantástica seção transversal da madeira de eucalipto mostrando a capilaridade de vasos e fibras libriformes.
Observar ainda os cordões de raios medulares (ou parênquima radial).



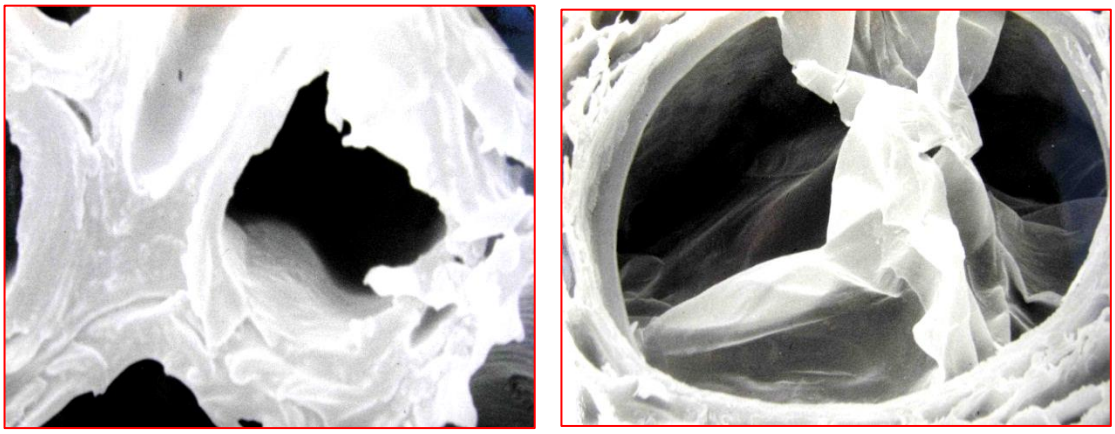
Seção transversal mostrando toda a capilaridade dos lúmens das fibras libriformes.
Essas fibras possuem pontuações simples ou areoladas para se intercomunicarem entre si e com as células de parênquimas.
Bem ao lado esquerdo, a parede de um elemento de vaso e um raio medular secionado.



Seção longitudinal radial mostrando os canais de vasos para penetração do licor no sentido do comprimento dos cavacos e os parênquimas radiais que facilitam a movimentação do licor na espessura dos cavacos.

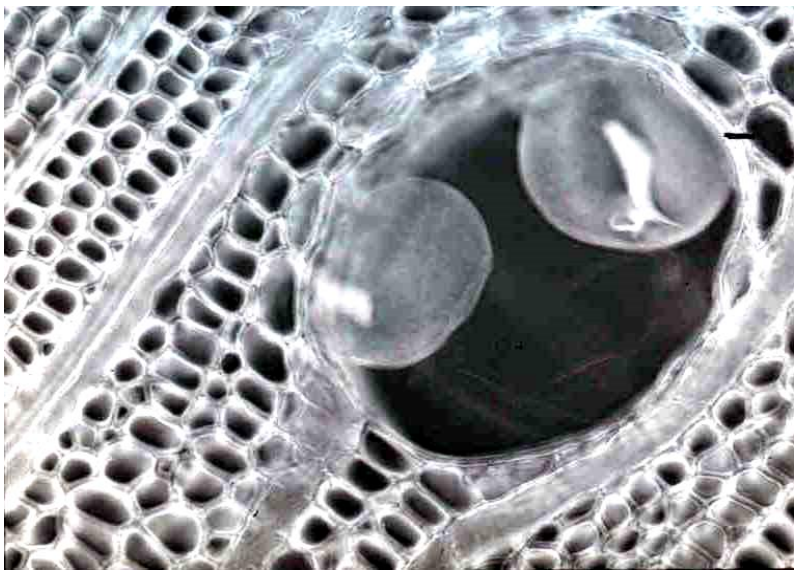


Cavaco de madeira de eucalipto mostrando seu topo com as aberturas dos vasos e fibras e sua face lateral onde se notam fibras alinhadas no comprimento do cavaco e raios medulares perpendiculares a elas, facilitando a movimentação do licor na espessura ou largura do cavaco



Visão de topo de lúmen e parede de fibras secionadas transversalmente e de vaso obstruído com extrativos (tilose)

Amigos, já conhecemos agora a madeira do eucalipto em sua anatomia. Sabemos quão importantes são esses elementos para que a polpação kraft se efetue de forma menos agressiva e com maiores rendimentos e qualidade da celulose. Agora vamos para a próxima seção entender um pouco a composição química da madeira dos eucaliptos e suas inter-relações com a anatomia da mesma e com o processo de polpação kraft.



==========

# QUÍMICA DA MADEIRA DO EUCALIPTO ASSOCIADA À POLPAÇÃO KRAFT

Até o momento, procuramos lhes apresentar algo básico sobre a física e sobre a anatomia das madeiras dos eucaliptos. Entretanto, logo após o licor penetrar na madeira, as reações químicas passam a ser dominantes. Sabemos que o cozimento kraft de madeiras de eucalipto conduz a rendimentos que variam entre 45 a 57% dependendo do tipo de madeira, número kappa desejado, tecnologias utilizadas e otimizações nas variáveis de processo. Isso significa que entre cerca de 43 a 55% da madeira será dissolvida e solubilizada, passando para a fase líquida do licor residual de cozimento. Essa fração deixa de ser transformada em peso de polpa final produzida para virar material orgânico no licor preto. Seu destino será arder na caldeira de recuperação, gerando energia ao processo. Essa parte que não vira polpa vendável é absolutamente enorme. Afinal, a cada 100 gramas secas de madeira que entra no digestor, somente cerca de 50 gramas virarão polpa seca e o restante, entrará para a fase orgânica do licor residual, como o nome mesmo diz, será residual.

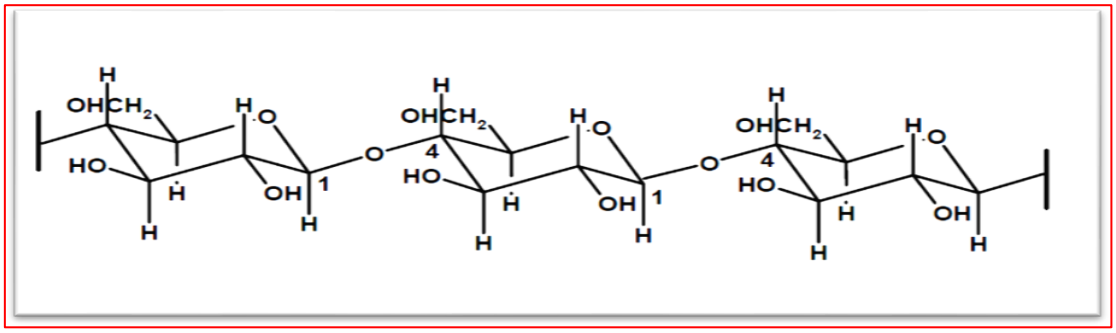
Quais seriam esses constituintes da madeira que são mais facilmente degradados? Porque eles se perdem nessa intensidade? Onde estariam localizados na madeira? Como minimizar essas perdas

enormes? Será possível isso para se ganhar em rendimento na polpação?

Todas essas questões são angustiantes para os pesquisadores, já que inúmeros esforços têm sido alocados em investigações desse tipo: entretanto, sem grandes e notáveis ganhos no rendimento final da polpação. Como romper as barreiras do baixo rendimento do processo kraft? Essa tem sido a maior das dúvidas e inquietudes dos pesquisadores e fabricantes de tecnologias de polpação kraft.

Apenas para ter uma ideia dessa complexidade toda que está envolvida, observem que a celulose é a mais abundante forma de carbono fixado na biomassa. Ela corresponde a 40 a 50% do peso seco das diversas fontes de biomassa. Trata-se de um polímero regular e uniforme de um único monômero (anidro glucose). Esses monômeros se unem por ligações de altíssima resistência (β 1-4), sendo, portanto, um polímero difícil de ser clivado e fracionado. O amido, que é outro carboidrato vegetal, tem exatamente a mesma fórmula molecular que a celulose, mas a ligação entre os monômeros é do tipo (α 1-4), o que torna essa molécula solúvel e degradável (inclusive por leveduras e enzimas).

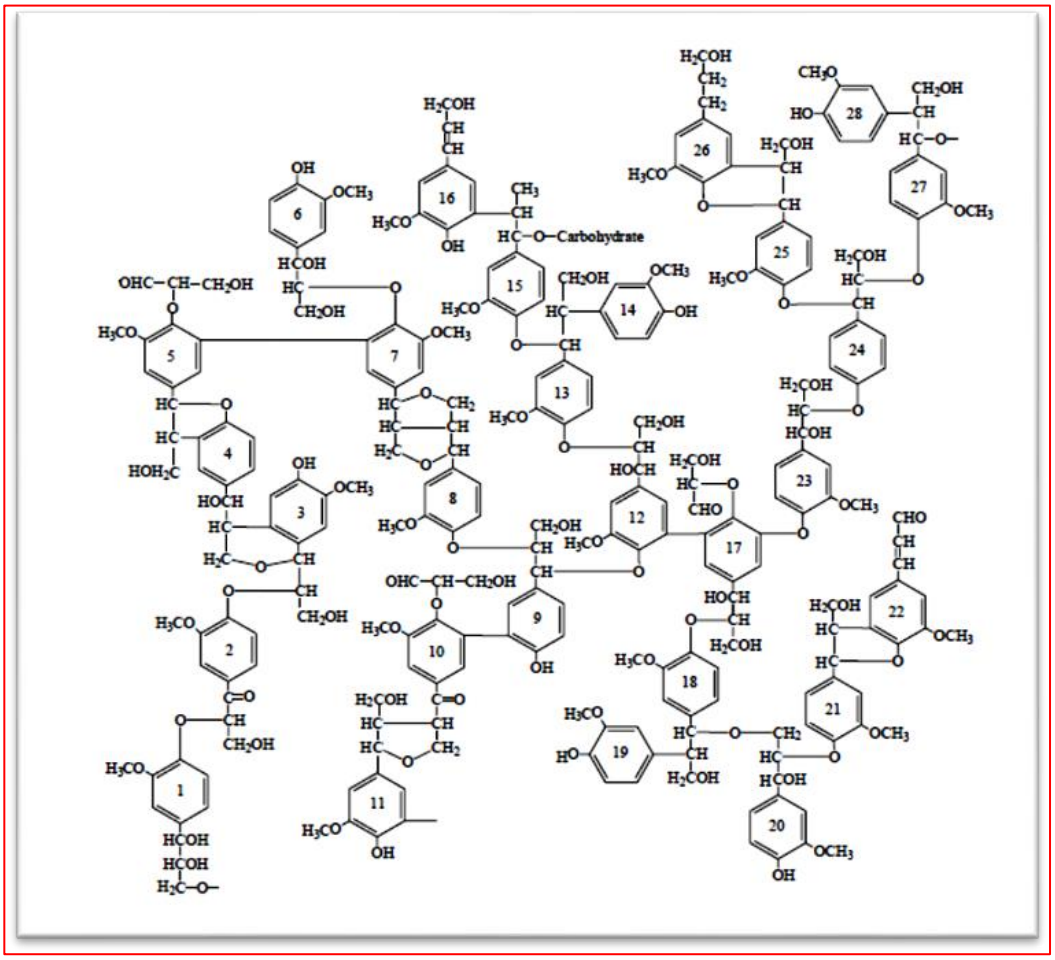
Amido e/ou celulose podem estar presentes em quantidades variadas e significativas em uma mesma biomassa, por exemplo, em alguns tipos de bambus (45% de celulose e 15% de amido base seca).



Celulose

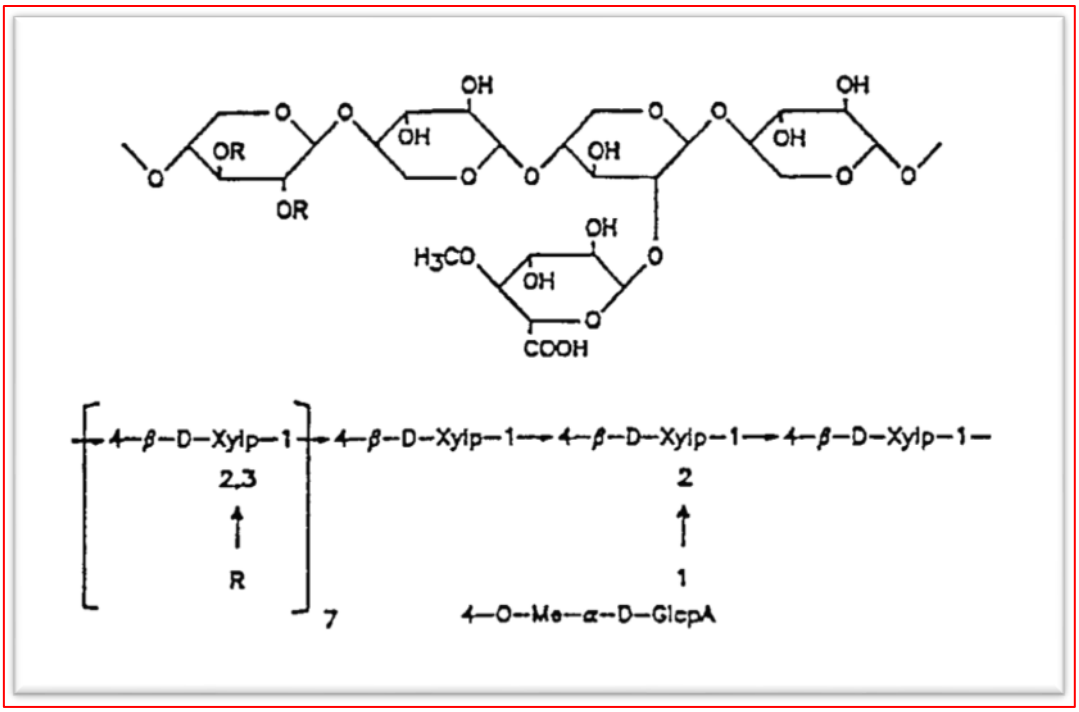
A lignina é o segundo composto orgânico mais abundante na biomassa vegetal. Ela corresponde a teores entre 15 a 35% do peso seco da biomassa lignocelulósica. Possui uma estrutura complexa e

de difícil fracionamento, por isso a necessidade de condições drásticas nos processos de polpação química como o kraft.

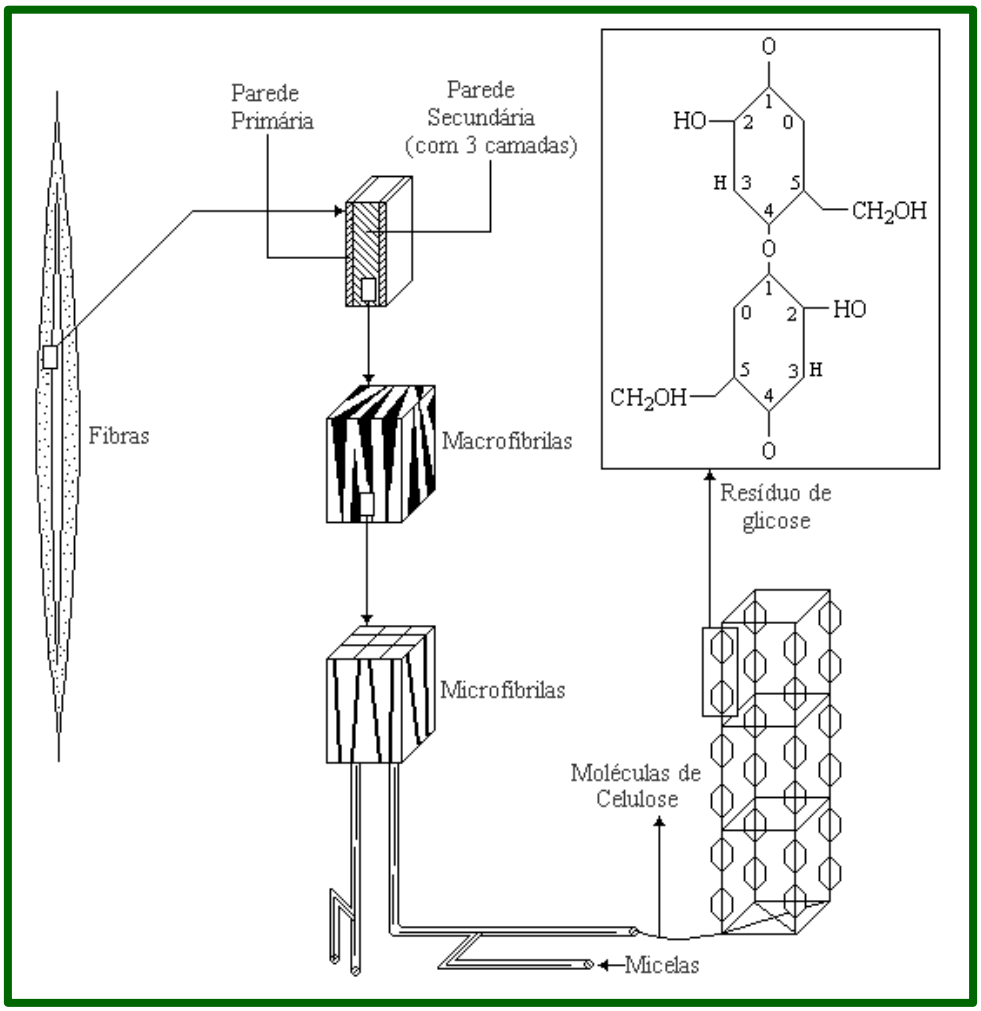



Lignina

As hemiceluloses, por sua vez, são complexas e variadas, ocupando uma proporção entre 15 a 30% na biomassa vegetal base seca. Possuem cadeias que podem ser ramificadas com espinha central constituída de monômeros de açúcares simples com diferentes constituições (por exemplo: com 5 carbonos- 5C - tipo xilose e arabinose; ou com 6 carbonos – 6C - tipo glucose, manose e galactose). A xilose é o principal monômero das hemiceluloses do eucalipto (denominadas de xilanas) e o terceiro mais abundante composto orgânico presente nas plantas superiores.

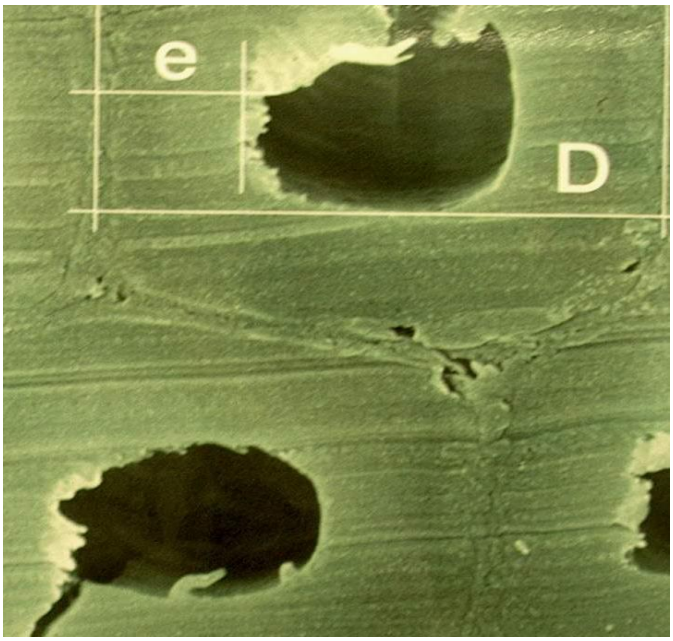



Xilanas (hemiceluloses)




Fonte: Umberto Klock - Acesso website em 2009

O objetivo do processo kraft é a **deslignificação** da madeira, ou seja, a hipotética remoção seletiva da lignina. Para polpas branqueáveis, a meta é se ter uma polpa branca final praticamente isenta de lignina e de fragmentos de lignina. Entretanto, nem toda lignina deve ser removida pela polpação kraft. Esse processo é de baixa seletividade e se quisermos remover intensamente a lignina, vamos degradar demais os carboidratos da madeira (celulose e hemiceluloses = holocelulose).




Cabe ao produtor de celulose e antes dele, aos desenvolvedores de tecnologias de polpação, optar pelo melhor nível de lignina a deixar na polpa no momento de encerrar o cozimento kraft. Para os eucaliptos, encerra-se o cozimento kraft quando se tem um teor de lignina residual de cerca de 1,5 a 3% de lignina base polpa não branqueada seca. Isso equivale a cerca de 0,8 a 1,5% base madeira original. Percebe-se então, que o termo deslignificação é inadequadamente atribuído ao processo de polpação kraft já nem toda a lignina é removida (remoção é de 90 a 95%) e nem só lignina se dissolve da madeira. Há enormes remoções de extrativos, hemiceluloses, amidos, pectinas, sais minerais e cadeias celulósicas degradadas.

Considerando que o teor de lignina na madeira do eucalipto varia entre 20 a 30% de seu peso seco, quando temos rendimentos de polpação base madeira seca de 50 a 55%, fica claro que tiramos muito mais do que apenas a lignina. Praticamente, e dependendo das condições de matéria-prima e do processo, as quantidades de outros materiais que removemos da madeira são praticamente do mesmo nível da quantidade de lignina extraída.

Vejam esses pequenos e singelos exemplos na tabela que se segue:

| **Tipo de eucalipto** | ***E.globulus*** | ***E.urograndis*** |
|---|---|---|
| **Propriedades** | ..... | ..... |
| Teor de lignina base madeira seca, % | **22** | **28** |
| Rendimento da polpação kraft, % | **56** | **51** |
| Remoção da lignina presente, % | **95** | **95** |
| Remoção lignina base madeira, % | **20,9** | **26,6** |
| Remoção de outros constituintes da madeira, % base madeira | **23,1** | **22,4** |
| Relação entre remoção de lignina e outros constituintes da madeira, base seca | **1 Lignina : 1,10 Outros** | **1 Lignina : 0,85 Outros** |

Ou seja, para cada uma unidade em peso seco de lignina que se remove pelo processo kraft da madeira do eucalipto, estaremos removendo entre 0,8 a 1,2 unidades em peso de outros importantes constituintes da parede celular dessa madeira. Isso porque no cozimento, destruímos grande parte da lamela média, da parede primária e parte da parede secundária dos elementos anatômicos da madeira. Acabamos fazendo alguns "buracos" e canais microscópicos na parede celular. Com isso, a parede fica como um "micro-queijo

suíço", com nova micro-porosidade adicionada. Aumentam assim a sua capacidade de absorver e de reter líquidos e a de se hidratar mais. Entretanto, a parede celular se enfraquece, perde rigidez e resistência, ficando mais vulnerável ao colapso, deformações e até mesmo à quebra e dobramento.

Nas condições do término do cozimento kraft, com as fibras muito quentes, com paredes inchadas e muito alcalinas, elas ficam extremamente vulneráveis às ações mecânicas, perdendo muito de sua resistência pelos esforços brutais que realizam ou sofrem pelas remoções de constituintes, hidratações, bombeamentos, misturas dinâmicas, desfibramentos, prensagens, etc. Nesse momento, as microfibrilas estão completamente afrouxadas na parede celular, em uma situação completamente nova para elas. Afinal, cada fibra teve seu peso seco reduzido em quase 50% do peso inicial. Dela foram extraídas substâncias importantes que compunham sua matriz estrutural e que lhe davam resistência e rigidez. A lignina foi bastante removida, quer da lamela média, da parede primária ou da parede secundária, onde é muito abundante. As hemiceluloses são extraídas de todas as camadas que formam a parede celular, em especial das paredes primária e secundária. Os extrativos orgânicos são na maioria removidos de onde estavam localizados, fosse isso nas tiloses, nas bolsas de gomas, nos vacúolos, etc. Em resumo, cada fibra perde peso e resistência individual. Ganham, entretanto, capacidade de hidratação, flexibilidade, capacidade de se ligar melhor e colapsabilidade.

Quando o cozimento kraft é encerrado, os cavacos ainda mantêm suas fibras semi-unidas, encharcadas pelo licor de cozimento. A forma dos cavacos é inclusive mantida, apesar das fibras poderem ser individualizadas com o mínimo esforço mecânico. Quando nós passamos agora a tentar desestruturar essa massa, transformado-a em polpa pelo desfibramento final, também afetamos a rede de microfibrilas das paredes celulares. Efeitos como deformações, desarranjo de fibrilas, desfibrilamento e afrouxamento da parede celular passam a ser criados e significativamente.

A parede celular que estava em sua máxima organização na madeira, vai-se sentir de um momento para outro desorganizada, degradada e afrouxada. Ela está muito sensibilizada e vulnerável. Pior que vai encontrando coisas completamente novas para ela, tais como: bombas, misturadores dinâmicos, prensas, válvulas de controle, "*manifolds*", caixas de vácuo, etc. Ao final, as fibras ainda

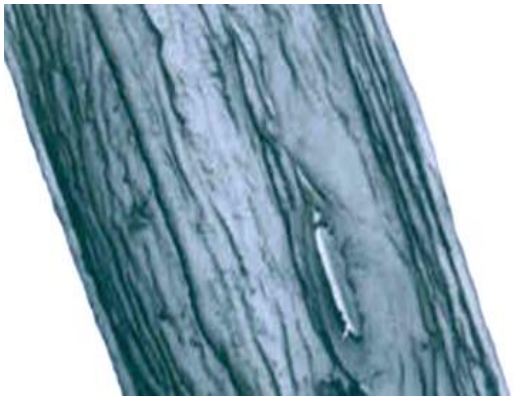
sofrerão outros danos mecânicos e físicos com a secagem, histerese, hornificação, etc., etc.

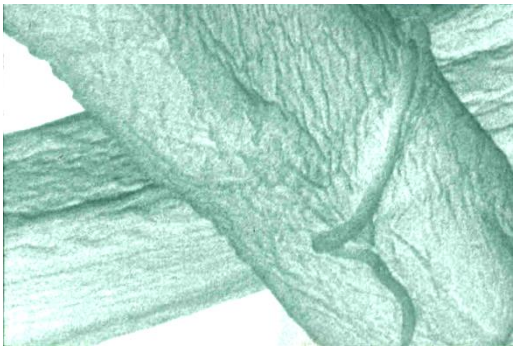
As ações sofridas no cozimento acabam se somando a outras importantes que vão ocorrer nos estágios do branqueamento e demais fases da fabricação da celulose e depois do papel. Temos, portanto, um continuado e sucessivo conjunto de ações e de reações sobre os elementos anatômicos das polpas, que antes e um dia formavam a madeira de eucalipto.

Como muito bem disse uma vez nosso estimado amigo Dr. Panu Tikka:

"Instead of talking about residual lignin in the kraft cooking, it would be better start thinking about the residual fibers"

"Ao invés de se falar acerca da lignina residual ao término da polpação kraft, melhor se começar a pensar acerca das fibras residuais"





Fibras residuais do processo kraft
...conforme muito bem se refere nosso estimado amigo Dr. Panu Tikka

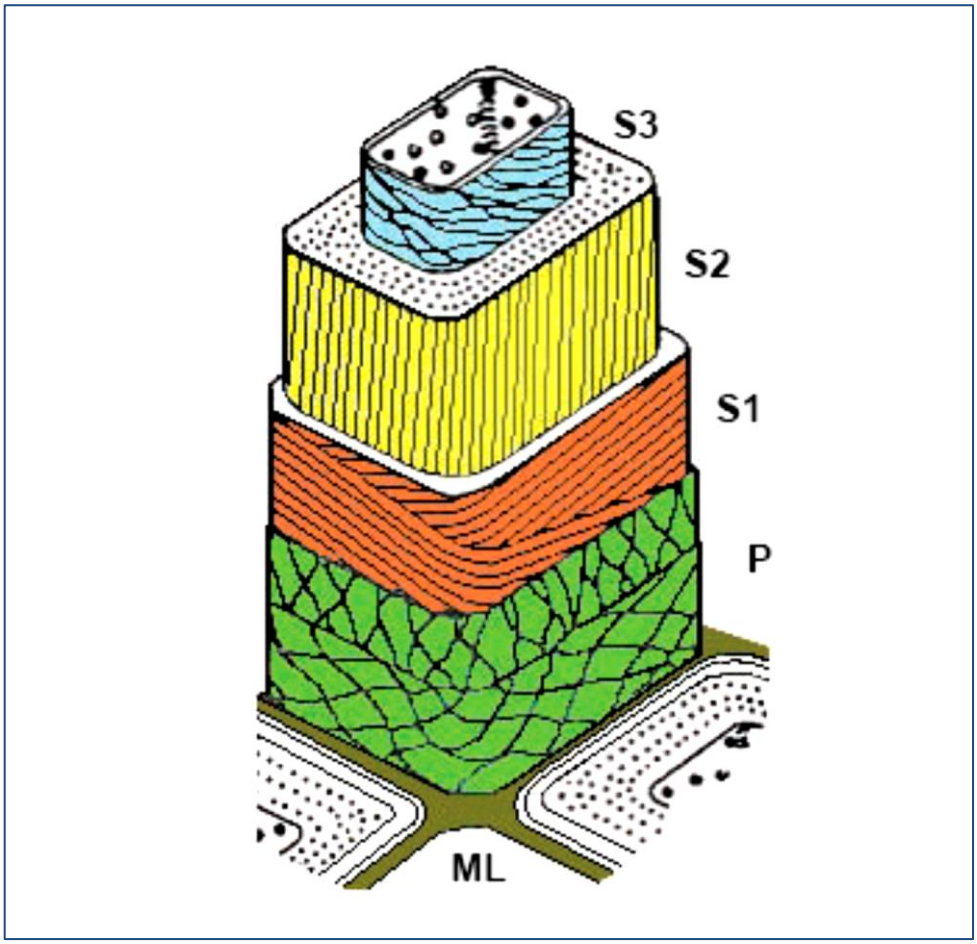
Nessa presente seção desse capítulo, estaremos mais focados em lhes contar sobre o que compõe a madeira do eucalipto em seus aspectos químicos e em como esses constituintes vão ser afetados pela polpação kraft. Não é a visão de um químico que quero lhes transmitir: quero apenas lhes contar como as coisas acontecem na realidade dos fatos de como a madeira vira celulose kraft, passando pela etapa de polpação. Para que isso possa ser entendido, é necessário lhes contar algo que poucos livros procuram contar, que é a realidade topoquímica da madeira e da polpação. Ou seja, onde os constituintes químicos estão na madeira e como eles vão sendo dissolvidos ou preservados nas paredes dos elementos anatômicos dessa madeira.

Portanto, conhecendo como a madeira está montada e como seus diversos constituintes se distribuem nas células, poderemos ter uma visão privilegiada do processo kraft. Bem diferente do que enxergar apenas cavacos, licores e indicadores como o número kappa e a viscosidade das polpas.

Bom, começarei por lhes trazer algumas figuras clássicas e consagradas da literatura de anatomia da madeira, daquelas que aparecem em todos os bons livros textos para identificar as diversas camadas que se estruturam na parede celular das fibras. Essa parede é constituída de uma matriz onde se organizam as microfibrilas de celulose de forma muito organizada e típica. Essas microfibrilas estão encapsuladas e argamassadas por uma massa de hemiceluloses e lignina, cujas proporções relativas variam conforme a espécie vegetal e a camada da parede que estivermos analisando.

Lignina e hemiceluloses estão, na opinião de muitos autores, como que soldadas ou enxertadas em suas moléculas, atraídas e unidas física e quimicamente. Isso acaba por conferir resistência e rigidez à madeira. Muitos autores se referem a esse fato como se as microfibrilas de celulose constituíssem a ferragem e a lignina e as hemiceluloses, o cimento e a areia, comparando a madeira com uma estrutura construtiva de concreto feita pelo homem. Construídas as células vegetais (fibras, parênquimas, elementos de vaso, etc.), cabe a missão agora de o vegetal manter as mesmas fortemente unidas umas às outras. Essa é a função da Lamela Média (M), uma camada cimentante muito rica em lignina de natureza hidrofóbica e muito condensada, que "cola" um elemento anatômico ao outro.

As microfibrilas são consideradas como grupos de longas cadeias de moléculas de celulose compactadas e organizadas em forma de cordas ou fitas. A face lateral das microfibrilas é achatada e não arredondada. Com isso, a ligação e adesão entre elas são ainda maiores. As microfibrilas possuem orientação definida conforme elas vão sendo formadas e colocadas nas camadas da parede celular. A função das microfibrilas é dar resistência a essa parede e a célula vegetal sabe muito bem fazer isso. Ao invés de colocar uma camada única e uniforme de microfibrilas, as células vão colocando essas microfibrilas de forma ordenada e diversa, mais ou menos como estivessem fazendo uma trança na espiral em relação ao eixo da fibra. Conforme a orientação dada às microfibrilas, essas camadas vão-se distinguindo e diferenciando em nível de ultraestrutura da parede celular.




Ultraestrutura da parede celular da fibra do xilema das árvores mostrando as camadas típicas que compõem a mesma
Fonte: Tiikkaja, 2007 – citado por Foelkel, 2009

As duas principais camadas da parede celular são a parede primária (P) e a parede secundária (S). A parede primária é formada

pelo câmbio ainda na fase de divisão celular e nas primeiras etapas da vida dessa célula que vai acabar se diferenciando em principalmente fibras no xilema dos eucaliptos. As microfibrilas na parede primária estão distribuídas ao acaso, não há um modelo bem definido como nas outras camadas da parede secundária. A parede primária é muito fina e tem uma estrutura frouxa e flexível quando jovem. Isso é importante para ela, pois a célula conforme se diferencia, cresce em comprimento e largura e essa parede tem que acompanhar e não restringir esse crescimento. Até certo ponto, esse processo de crescimento celular explica o porquê da distribuição ao acaso e irregular das microfibrilas.

A parede primária é tão fina que ela se confunde com a lamela média ao ser olhada nos microscópios óticos. Por essa razão, essas duas camadas são olhadas de forma conjunta pela maioria dos autores de anatomia da madeira. Eles denominam essa camada dupla de Lamela Média (M) e Parede Primária (P) de Lamela Média Composta (M+P).

A parede secundária (S) é bastante distinta da parede primária, porque suas microfibrilas estão alinhadas e paralelas umas às outras. A parede secundária é espessa, pouco flexível, resistente e pouco extensível. Significa que sua formação se dá quando a fibra já tomou seu tamanho final, aquele sugerido pelo seu código genético e pelas facilidades ou dificuldades encontradas no ambiente de crescimento vegetal.

Como existem subcamadas de diferentes espessuras e níveis de alinhamento em relação ao eixo longitudinal da fibra, as subcamadas são identificadas pelos ângulos e pela forma de disposição das microfibrilas. Essa trança microfibrilar é dividida em três zonas ou subcamadas: S1, S2 e S3.

S1 – Camada secundária externa

S2 – Camada secundária intermediária

S3 – Camada secundária interna

Essas camadas são construídas pelo citoplasma vivo da célula vegetal e nessa ordem. Quando o citoplasma morre pela intensa lignificação da célula, ele se resseca e seus constituintes se pegam sobre a camada mais interna (S3). Por essa razão, essa camada mais

interna tem alguns vestígios do citoplasma em sua face interna, na forma de pequenas verrugas, o que lhe dá também o nome de camada verrugosa.

As microfibrilas da camada S1 formam um ângulo fibrilar aberto em relação ao eixo da fibra (entre 50 a 70º). É também uma camada bem fina.

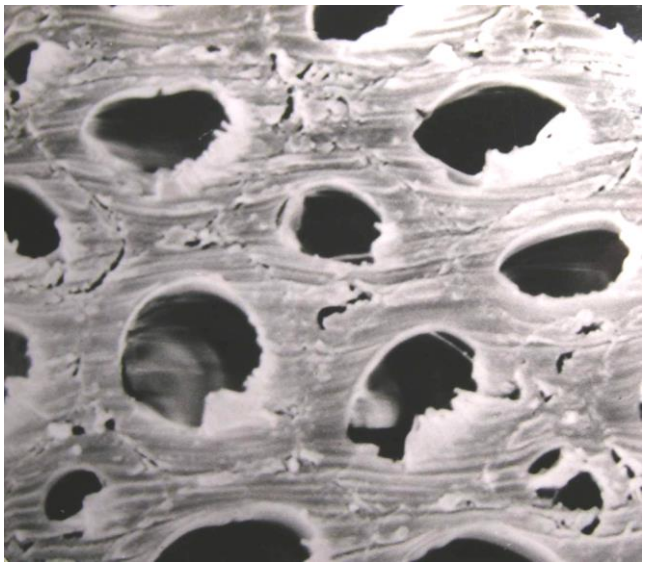
A camada S2 é a mais espessa da parede da fibra e seu ângulo fibrilar é bastante fechado, estando as microfibrilas dispostas quase verticalmente (ângulos de 10 a 25º para os eucaliptos). Esse ângulo fibrilar varia com a espécie de *Eucalyptus*, idade da árvore, condições de crescimento, tipo de madeira formada e condições ambientais onde vegeta a árvore. Esse ângulo determina diferenciações no inchamento e contrações da madeira, das fibras e por extensão, do papel formado com essas fibras. Também afeta a resistência da fibra, seja à tração, dobramento ou ao rasgamento.

Pelo fato da camada S2 corresponder a praticamente 80% ou mais da espessura da parede celular, será ela que vai determinar a resistência da fibra individual e também outras características importantes das polpas ("coarseness", fração parede, etc.).

As microfibrilas da parede S3 se dispõem de forma similar à de S1, em ângulos bem abertos.

As madeiras dos eucaliptos não possuem apenas fibras em sua constituição anatômica. As fibras representam cerca de 65 a 75% do volume da madeira, sendo o restante complementado pelos elementos de vaso e pelas células dos parênquimas axial e radial.

No processo de diferenciação celular, as células precursoras de fibras, vasos e parênquimas se comportam diferentemente. Enquanto as que vão gerar fibras sofrem uma forte elongação em seu comprimento, os vasos se diferenciam pelo crescimento lateral e transversal (na sua largura). Já as células de parênquima mantêm suas dimensões reduzidas e são muito ricas em pontuações ou pontoações.



Corte transversal de madeira de eucalipto mostrando paredes celulares contíguas

As dimensões mais usuais para as diferentes camadas das fibras de eucaliptos são as seguintes:

M+P - menor que 0,5 μm

S1 – aproximadamente 0,5 μm

S2 – entre 3 a 6 μm

S3 – cerca de 0,3 μm

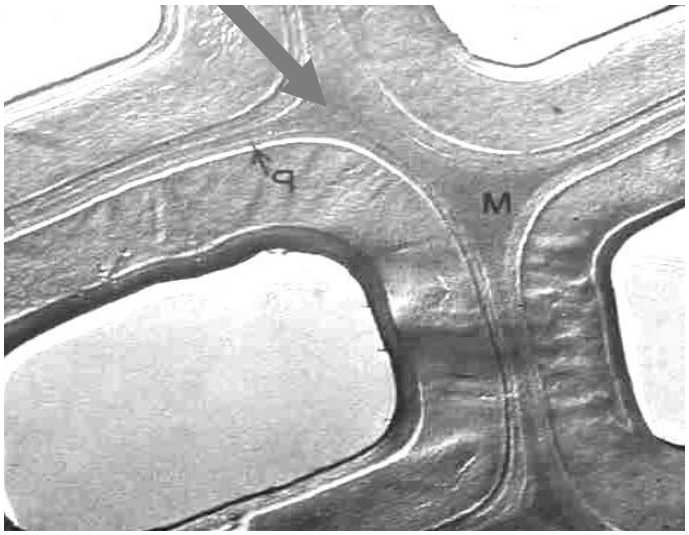
Do exposto, pode-se notar que a parede celular das fibras dos eucaliptos está estruturada de maneira muito bem orquestrada pela Natureza. Essa organização complexa se repete para as fibras e para suas camadas. Uma beleza essa engenharia toda que nossa mãe Natureza nos brinda.

Também nos elementos de vaso e nas células de parênquima a parede celular é organizada em camadas, somente que de maneira um pouco mais desorganizada. Além disso, as paredes das células de parênquima e dos vasos são muitíssimo ricas em pontuações. A cada pontuação, as microfibrilas são ordenadas de forma a se desviarem das aberturas da mesma, mas sem se interromper. Apenas, os fios e fitas microfibrilares se desviam e passam ao lado da abertura, que fica assim com seus bordos reforçados. Os elementos anatômicos não podem ser frágeis: os eucaliptos sabem muito bem disso na construção de suas células de xilema.

Toda essa estrutura microfibrilar argamassada por lignina e hemiceluloses possui ainda regiões cristalinas (parte cristalina da celulose) e partes amorfas (regiões amorfas da celulose e da lignina e hemiceluloses).

Enquanto a celulose é constituída basicamente de unidades repetitivas de anidro glucose (muitas vezes referidas como glucanas), as hemiceluloses são camadas ramificadas de diversos tipos de polissacarídeos em forma de polímeros (unidades repetitivas de anidro xilose, anidro arabinose, anidro galactose, etc.). Já a lignina é um composto aromático complexo, constituída de unidades monoméricas distintas de fenil-propano.

A grande dificuldade dos fisiologistas vegetais é entender como ocorre a biossíntese desses compostos e de que maneira o vegetal se organiza para formar os diferentes tecidos da madeira com essa orquestração notável. Sabe-se também pouco sobre a lignificação e sobre a constituição da molécula de lignina dos eucaliptos.



Paredes contíguas mostrando (M+P) com muito detalhe

De qualquer forma, quando nos referirmos à madeira do eucalipto, estamos falando sobre uma estrutura de seus constituintes químicos (celulose, lignina, hemiceluloses, extrativos e cinzas minerais) organizados na forma de paredes como (M+P), S1, S2 e S3 e em inclusões nos lúmens e vacúolos ressecados depositados na camada verrugosa.

Os extrativos são compostos formados pelas árvores com diferentes finalidades, sendo as principais: conferir hidrofobicidade e patogenicidade para prevenção ao ataque de predadores. Os extrativos das madeiras dos eucaliptos possuem polifenóis polimerizados, ácidos elágico e gálico, álcoois, taninos, carboidratos solúveis, ceras, ácidos graxos, amido, etc.

Em geral, os extrativos se localizam em vacúolos que se depositam sobre a camada S3 na parte interior da célula ou obstruindo os vasos (na forma de tiloses). Entretanto, tem-se detectado como importante a presença de extrativos, do tipo sitosterol e outros, impregnados nas paredes das células dos raios medulares.

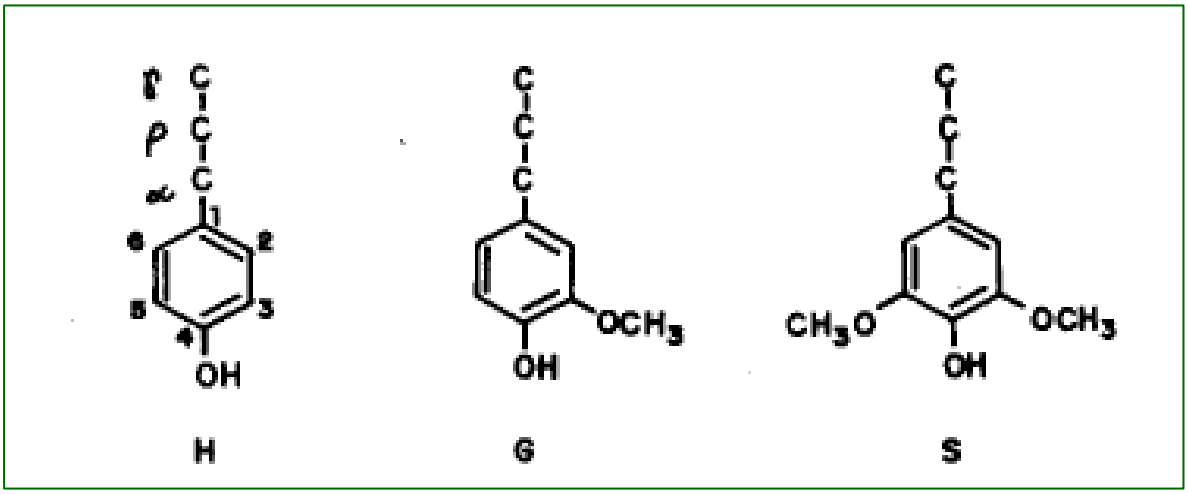
Uma parte dos extrativos é insolúvel em água fria e quente, somente podendo ser extraídos por solventes orgânicos (acetona, tolueno, benzeno, álcool e éter etílicos, diclorometano, etc.). A maioria dos extrativos é dissolvida pelo licor kraft de cozimento, que os saponifica ou destrói as moléculas. Outros resistem a essa degradação e se transformam em sabões de cálcio, por exemplo, problemáticos ao processo industrial e à qualidade da celulose ("*pitch*").

As cinzas ou elementos minerais estão presentes nos elementos de vaso, células de parênquima (com diminutos cristais) e na lamela média. São também bem abundantes na casca da árvore – dessa forma, as contaminações dos cavacos com casca ajudam a que mais minerais entrem no processo fabril e com isso trazer problemas ao branqueamento com peróxido ou ozônio e ainda resultar em incrustações de equipamentos.

Muitos técnicos acreditam que a maior parte da lignina da madeira do eucalipto encontra-se situada na lamela média. Essa crença se baseia em conceitos aprendidos empiricamente por sempre terem ouvido falar da necessidade de se remover a "cola" das paredes que unem as fibras para individualizá-las. Acabaram com isso criando uma associação entre lignina e lamela média. Essa crença (ou mito) é infundada. Está mais do que demonstrado que a maior parte da lignina da madeira está na verdade na parede secundária do xilema e não na lamela média composta (M+P). Isso porque a lamela média composta é muito fina e não tem condições de guardar entre 20 a 30% do peso da madeira (que é o teor aproximado da lignina na madeira dos eucaliptos).

A lignina é um composto orgânico natural e muito plástico. Ela é uma molécula tão complexa que muitos autores sugerem a existência de apenas uma enorme molécula de lignina na planta, que se vai ramificando sem se criar uma separação entre uma molécula e outra. A lignina possui carbono, hidrogênio e oxigênio em sua composição, sendo muito mais rica em carbono em sua composição do que os carboidratos (60% para a lignina e 48% para a holocelulose). Isso porque na holocelulose a percentagem de oxigênio (um átomo mais pesado que o carbono) é maior (47% de oxigênio na holocelulose e 33% na lignina). É por essa razão que as madeiras densas e ricas em lignina são as ideais como lenha ou biomassa, pois geram mais calor em sua queima. O poder calorífico da lignina é de 5.700 a 6.000 kcal/kg, enquanto para a madeira como uma média é de 4.600 kcal/kg seco.

A lignina é um polímero amorfo e complexo, ramificado e constituído de unidades de fenil-propano, que se vão agrupando de forma mais ou menos desorganizada. Na verdade, a lignina tem sua fórmula variando em estrutura entre plantas e mesmo entre diferentes regiões da mesma planta.



Unidades de fenil-propano: hidroxi-fenila; guaiacila e siringila

Como a molécula de lignina é bastante heterogênea em função de seu mecanismo de biossíntese e também pelo fato das hemiceluloses terem ramificações em sua cadeia principal ("*backbone*"), essa "argamassa" lignina+hemiceluloses é também complexa em sua organização e estrutura. Através de diferentes tipos de metodologias, é possível se observar que os diferentes

constituintes químicos da parede celular não estão uniformemente distribuídos nessa parede. Isso é altamente compreensível, já que a organização da ultraestrutura da parede nos leva a entender muito bem as razões dessa desuniformidade na distribuição de seus constituintes químicos.

Apesar das diferentes madeiras possuírem uma composição química elementar parecida, ocorre ampla variação na distribuição desses constituintes nas diferentes camadas e paredes, entre plantas e na mesma planta.

Sabe-se que os feixes de celulose e os componentes amorfos das hemiceluloses são formados em primeiro lugar pela célula em diferenciação. A lignina é primeiramente depositada na lamela média e depois, conforme se forma a parede celular secundária, ela é depositada ali também. Ao mesmo tempo em que se deposita a lignina, novas moléculas de hemiceluloses também são formadas e depositadas, daí a razão dessa intimidade entre lignina e hemiceluloses na parede celular.

A maioria da celulose está presente na camada S2, exatamente por ela ser mais espessa e com maior teor de microfibrilas. A parede S2 corresponde a cerca de 65 a 80% do volume sólido da fibra, fácil verificar então porque a maior parte da celulose e das hemiceluloses está presente nela. Por isso, nessa camada S2, a concentração de celulose varia de 55 a 65% de seu peso seco.

Já as camadas S1 e S3 são muito mais ricas em xilanas, especialmente a camada S3 que é a mais rica em concentração de hemiceluloses (concentração em hemiceluloses de 50 a 70%). As hemiceluloses ocorrem, portanto, em todas as camadas da parede celular, crescendo sua concentração de cerca de 20% em P para até 70% na S3.

Tem-se ainda notado que as células de parênquima e os elementos de vaso possuem mais lignina em suas paredes e que essa lignina é mais hidrófoba e condensada, sendo também mais baixa a relação S/G.

O teor de lignina na madeira do eucalipto varia entre 22 a 30% determinada como Lignina Klason total (frações solúvel e insolúvel em ácido sulfúrico a 72%). A maior concentração está na lamela média na forma de uma fina lâmina compacta e envolvente à

célula. Ela é muito difícil de ser separada sozinha do restante da célula, pela sua fina espessura. Por essa razão, a maioria dos estudos sobre a composição e dimensão da lamela média se faz na lamela média composta (M+P). Porém, a maior quantidade da lignina presente na madeira se encontra entremeada às microfibrilas da camada secundária. Muitos estudos relatam que entre 25 a 35% da lignina total da madeira deve estar na lamela média composta e o restante na parede secundária (S1 + S2 + S3). Essa a razão de se ter que molhar intensamente o interior das paredes das fibras com o licor de cozimento.

Através da polpação kraft, somente a dissolução dos constituintes da lamela média composta e da subcamada S3 representam uma perda de peso de mais de 15% da madeira do eucalipto. Essa enorme perda de rendimento se deve basicamente à necessidade de se ter que extrair (M+P) e se degradar também outras paredes, como no caso de S3. São perdas inexoráveis de rendimento da polpação, frente às peculiaridades desse processamento. Além disso, para se remover a lignina intimamente entremeada na parede S2, vamos sem querer, atacar as hemiceluloses dessas camadas e também a celulose.

Acredito que fica claro para todos acerca da enorme importância do teor de lignina da madeira. A cada 1% a menos de lignina na constituição química da madeira, cresce praticamente nessa proporção o teor de holocelulose e maior será o teor remanescente de carboidratos na polpa. Evidentemente, as condições drásticas da polpação kraft não permitem estabelecer uma relação direta nos ganhos de rendimento, mas nossa experiência diz o seguinte:

- Para uma mesma espécie de madeira de eucalipto, a cada 1,2 a 1,5% de redução no teor de lignina, se ganha cerca de 1% no rendimento da polpação.
- Além disso, consegue-se reduzir a carga de álcali ativo expresso como NaOH em 0,2 a 0,3% base madeira para essas reduções entre 1,2 a 1,5% de lignina.

Como já mencionei antes, essa seção não tem o objetivo de ser uma aula sobre a química da madeira dos eucaliptos. Entretanto, é muito importante que vocês se fundamentem com alguns embasamentos acerca dos constituintes dessas madeiras para bem

entender o processo kraft de polpação. Durante a individualização das fibras há grandes e importantes modificações químicas na madeira, como recém vimos. Esse tem sido nosso foco – não lhes mostrar detalhes químicos dos constituintes da madeira, mas em lhes contar sobre seus papéis e efeitos no processo de conversão da madeira do eucalipto até celulose kraft.

De início, é importante se reconhecer que existe bastante variabilidade na composição química dos eucaliptos, principalmente no que se refere aos constituintes químicos vitais para a polpação kraft: lignina, hemiceluloses, celulose e extrativos. Temos variações que dependem da espécie, do clone, da idade, do ambiente onde está crescendo a árvore, dos tratos silviculturais, da posição da madeira na árvore, etc., etc.

Devemos colocar muito foco sobre alguns desses constituintes como os carboidratos passíveis de sofrerem dissolução, a lignina e os extrativos orgânicos. Os extrativos, por exemplo, são bastante removidos na polpação. Portanto, quanto maior for seu teor na madeira, menor poderá ser o rendimento da polpação base madeira inicial seca.

Tendo por base uma ampla gama de artigos disponibilizados na literatura, procurei elaborar uma tabela bastante ampla, colocando nela os valores mais típicos da constituição química de algumas madeiras de eucaliptos. Claro que reconheço as imperfeições, mas é algo aproximado para se ter uma breve indicação das presenças dos constituintes das madeiras dos eucaliptos.

Como temos grandes grupos muito distintos de espécies de *Eucalyptus*, procurei apenas esboçar as principais constituições do que chamei de grandes grupos: híbrido *E.urograndis*; *E.globulus* e *E.nitens*. Similar em composição ao *E.urograndis,* temos outras espécies como *E.urophylla, E.grandis* e *E.saligna*.

É muito comum se expressar os constituintes da madeira com base em madeira isenta de extrativos, já que os extrativos podem interferir em algumas avaliações químicas, como da lignina. Outros autores não fazem assim, calculam seus teores com base na madeira inicial, fazendo as correções devidas em função dos teores de extrativos. Por essas razões, algumas vezes os teores somados dos constituintes podem ultrapassar ou não os 100%.

São significativas as diferenças encontradas em relação à composição química das madeiras de eucaliptos. Acredito que em parte isso se deva às diferenças em metodologias, na forma de se amostrar a madeira e também de como os resultados são relatados (base madeira original ou base madeira isenta de extrativos). Existe também a forte contribuição das diferenças entre as espécies, clones, etc., já mencionadas para vocês. Enfim, para algo tão importante como é a composição dos constituintes vitais para o processo de polpação kraft, nota-se que ainda existe muita coisa a melhorar.

Uma sugestão seria a melhor padronização das metodologias e na forma de relatar os resultados. Também considero crítica a necessidade de se esclarecer mais os leitores sobre a caracterização da amostra e resultados (espécie, clone, idade, posição na árvore, número de indivíduos amostrados, número de repetições, erro assumido nas estatísticas, desvio padrão e amplitudes dos valores, etc.). Noto que existe uma simplificação analítica e amostral muito grande entre muitos autores, o que pode ser muito perigoso. Enfim amigos, esse é mais um problema a ser resolvido não apenas pelos estudiosos dos eucaliptos, mas das madeiras de forma geral.

Eucaliptos: madeiras e madeiras

Seguem alguns dados numéricos importantes sobre a composição química das madeiras de eucaliptos para vocês conhecerem:

| **Espécie** | ***E.urograndis*** | ***E.globulus*** | ***E.nitens*** |
|---|---|---|---|
| **Característica** | | | |
| Densidade básica, g/cm³ | 0,43 – 0,53 | 0,52 – 0,63 | 0,43 – 0,50 |
| Teor de celulose, % base madeira | 45 - 50 | 44 - 50 | 42 - 48 |
| Extrativos orgânicos, % base madeira | 2 – 3,5 | 1,8 - 3 | 2 – 3,5 |
| Lignina Klason solúvel em ácido, % base madeira | 1,5 - 4 | 3 – 4,5 | - |
| Lignina Klason insolúvel em ácido, % base madeira | 23 - 28 | 18 - 23 | - |
| Lignina Klason total, % base madeira | 25 - 30 | 22 - 26 | 23 - 28 |
| Relação S/G na lignina | 2,2 – 3,5 | 3,8 - 6 | 3 - 4 |
| Carboidratos totais (Holocelulose), % base madeira | 69 - 72 | 70 - 75 | 70 - 72 |
| Pentosanas, % base madeira | 12,5 - 16 | 17 - 19 | 17 - 21 |
| Glucanas (principalmente celulose), % base madeira | 45 - 55 | 45 - 55 | 45 - 55 |

| Espécie | *E.urograndis* | *E.globulus* | *E.nitens* |
|---|---|---|---|
| Xilanas,<br>% base madeira | 10 - 14 | 14 – 20 | 16 - 22 |
| Grupos acetila,<br>% base madeira | 2 - 3 | 2,8 – 3,5 | 4 - 5 |
| Ácido metil glucurônico,<br>% base madeira | 2,5 – 4,2 | 2,5 – 4,5 | 3,5 - 4 |
| Relação xiloses/grupos urônicos | 5 - 7 | 5 - 7 | 5 - 7 |
| Arabinanas,<br>% base madeira | 0,4 – 0,7 | 0,4 – 0,7 | - |
| Galactanas,<br>% base madeira | 1,2 – 2,1 | 1,5 - 2 | - |
| Mananas,<br>% base madeira | 1 – 2,5 | 1,1 – 2,5 | - |
| Hemiceluloses totais,<br>% base madeira | 18 - 24 | 23 - 28 | 27 - 33 |
| Cinzas minerais,<br>% base madeira | 0,2 – 0,5 | 0,3 – 0,7 | 0,2 – 0,6 |

Fonte: Diversos e variados autores mencionados na seção Referências da Literatura

O processo kraft é grande destruidor de hemiceluloses, lignina e extrativos orgânicos da madeira. Parte significativa da perda de peso da madeira ao longo da polpação se deve às remoções alcalinas de hemiceluloses das paredes celulares dos constituintes anatômicos. Essas hemiceluloses se perdem para o licor, ali continuam a ser degradadas, e depois, tudo se encaminha como licor preto, junto com fragmentos de lignina, extrativos, compostos minerais, etc. Aproximadamente 20% da perda de peso da madeira na etapa inicial da polpação Kraft se deve à degradação das hemiceluloses e

extrativos. Nessa etapa são consumidos cerca de 50% do álcali ativo desse licor, ou seja, um enorme gasto em reagentes químicos para se extrair o que não precisaria ser removido, como é o caso das hemiceluloses. Ao término da polpação, cerca de 50% do peso da madeira são transferidos para o licor, sendo que para esse licor seguem: acetilas, uronilas, xilanas, glucanas, mananas, arabinanas, extrativos e lignina.

Observem um exemplo hipotético na tabela a seguir:

Dados em porcentagem da madeira original base seca

| | Madeira de eucalipto original | Remoção início polpação | Remoção total ao longo cozimento | Residual na polpa final |
|---|---|---|---|---|
| Grupos acetila | 4 | - 4 | - 4 | - |
| Grupos uronila | 3 | - 2 | - 2,5 | 0,5 |
| Xilanas | 16 | - 5,5 | - 8 | 8 |
| Outras hemiceluloses | 4,5 | - 3 | - 3 | 1,5 |
| Lignina | 25 | - 2 | - 23,5 | 1,5 |
| Celulose | 44 | - 2 | - 4 | 40 |
| Extrativos | 3 | - 1,5 | - 2,9 | 0,1 |
| Cinzas da madeira | 0,5 | -0,4 | - 0,4 | 0,1 |
| Total | 100 | - 20,4 | - 49,3 | 50,7 |

Por outro lado, ao final do cozimento, com o abaixamento do pH pelo consumo de álcali, uma parte das xilanas de maior peso molecular se precipita e se adere às fibras. Quanto disso se reprecipita é um mistério, mas é uma das bases teóricas para se aumentar um pouco o rendimento na produção de celulose kraft. Na

verdade, não deve ser muito alto esse aumento, mas em produção de celulose em amplas escalas das mega-fábricas, qualquer 0,1% de aumento de rendimento já eleva em muito a produção anual da fábrica.

Árvores e madeiras de eucalipto

==========

# PROPRIEDADES CELULÓSICO-PAPELEIRAS DAS MADEIRAS DOS EUCALIPTOS

As motivações do fabricante de celulose em relação à matéria-prima madeira são muito similares àquelas dos papeleiros em relação às fibras de celulose. Eles desejam uma madeira que não lhes cause problemas ou insônias. Por isso, eles querem operar suas fábricas com alta produtividade, alta eficiência operacional, com alto atingimento nas especificações de qualidade dos produtos e com mínimos custos de produção. Para atingir essas metas, a madeira deve ser a mais uniforme possível de forma a não causar impactos relevantes no processo de polpação e nas metas qualitativas para o produto celulose.

Embora existam muitíssimos estudos e pesquisas sobre as características de qualidade das madeiras dos eucaliptos, a grande verdade é que ainda existem muitos pecados sendo cometidos nos programas de melhoramento florestal do setor com vistas ao desenvolvimento da qualidade da madeira para celulose kraft. O maior de todos, como vocês já me ouviram comentar, consiste no precário procedimento de amostragem e de repetições das análises para minimização dos erros nas decisões estatísticas. Isso quando se usam ferramentas e planejamentos estatísticos para as avaliações e tomadas de decisão, pois na maioria das vezes sequer se tomam ações nesse sentido. Há, portanto, muito empirismo e muitos chutes sendo dados, até mesmo por renomados pesquisadores da academia.

Desde que a variabilidade existe (e ela não é pequena), os tamanhos das amostras deveriam ser mais representativos das populações em avaliação. Pouquíssimos fazem pré-testes para definir o mais adequado tamanho da amostra. Adicionalmente a isso, a própria amostragem pode ser precária, caso se colham amostras apenas dos indivíduos de médio porte e não de todos os segmentos da população. Árvores de diâmetro a altura do peito com valores similares ao valor médio do povoamento não são necessariamente árvores que representem toda a população para avaliar suas propriedades tais como: densidade básica, teor de lignina, teor de hemiceluloses, etc., etc. Definitivamente, tamanho e representatividade dessas amostragens precisam ser urgentemente melhorados, isso em muitas partes do mundo.

Outra recomendação que sempre faço seria em relação ao número de repetições para as análises – o número de vezes que uma determinação deve ser realizada para se ter um valor médio representativo. Na maioria das vezes, as avaliações são baseadas em médias de duas repetições apenas, não se colocando atenção sobre os valores individuais e tampouco sobre o desvio padrão (como falar em desvio padrão para casos como esses, onde se faz a média de apenas duas repetições?). Dependendo da precisão desejada e do erro máximo que o melhorista florestal esteja disposto a cometer em suas decisões, esse número de repetições deveria ser bem maior.

Eu acredito sinceramente que existem muitos melhoramentos florestais de eucaliptos sendo realizados onde a única finalidade é se medir alguma coisa e se terem alguns dados para "encher as planilhas de números". Com muita certeza esses valores levarão a erros nas decisões. O programa que parece charmoso e interessante pode deixar um legado de problemas para as próximas gerações de melhoristas e usuários das madeiras. Isso porque estará alicerçado em bases frágeis, para não se dizer "podres". Existem muitas chances de que o melhoramento florestal esteja aceitando como sendo bons alguns materiais genéticos que na verdade não o sejam (isso para algumas das propriedades tecnológicas das madeiras e fibras). Outras vezes, o melhorista estará descartando um material bom, por excesso de zelo, ou por falsas interpretações de suas análises. Entretanto, esse erro é menos relevante do que o anterior.

Até o presente momento, esses erros e o inadequado planejamento estatístico de muitos programas de melhoramento florestal estão sendo escondidos ou mascarados pelos fantásticos

ganhos que a hibridação e clonagem das árvores têm oportunizado. Ao se compararem os resultados dos ensaios clonais com as antigas florestas plantadas obtidas de sementes melhoradas, tanto os técnicos, como os executivos florestais saem encantados com os ganhos auferidos. Todos acreditam que estejam performando maravilhosamente em suas tomadas de decisão. O problema maior começará a aparecer quando as decisões passarem a envolver as substituições de material clonal por outros mais adequados (para ganhos adicionais). Muitas das escolhas que foram baseadas em decisões e avaliações tecnológicas inadequadas, infelizmente só mostrarão sua cara alguns anos após, quando a madeira começar a ficar no ponto de ser enviada ao consumo industrial.

Em tempos passados, quando as florestas eram muito mais variáveis devido ao plantio de mudas de sementes, a chance de encontrar indivíduos com valores extremos para alguma das propriedades vitais era muito maior. Hoje, com o afunilamento da base genética devido à clonagem, as perspectivas de ganhos futuros já não são tão impressionantes, a menos que se desenvolva um programa paralelo baseado em cruzamentos, retrocruzamentos, recombinações através reprodução sexuada, indução de mutações, etc. Também nesse caso as decisões devem ser tomadas com base em dados, medições, amostragens e análises confiáveis.

Voltemos ao nosso fabricante de celulose. Ele está sempre a pedir madeira uniforme para sua fábrica. Ele não gosta de surpresas desagradáveis. Quando ele pede uniformidade, ele não está se referindo apenas a valores próximos de densidade básica da madeira. Ele inclui nesse pedido um grande número de parâmetros de qualidade da madeira que lhe são muito importantes na tecnologia de conversão da madeira a celulose kraft branqueada. Por exemplo, ele estará atento ao teor de casca presente na madeira, às dimensões e frações dos cavacos, ao nível de deterioração da madeira, à umidade da madeira, à presença de nós, de madeiras defeituosas (atacadas por doenças, pragas, madeira de tração, madeira queimada, etc.), etc. Seu objetivo é ter operações de cozimento e de branqueamento com a menor variabilidade possível, preferencialmente sem lhe dar pesadelos ou surpresas. A qualidade final de seu produto precisa ser a mais estável possível e dentro de limites aceitáveis de variação. As perdas de processo, as paradas de fábrica, os refugos de má qualidade, etc. – tudo isso precisa ser minimizado. Quando a padronização da qualidade da madeira entrando na fábrica está sendo

buscada, o fabricante de celulose fica feliz: ele tem apenas que se preocupar em regular suas quantidades e fluxos para obter qualidade.

Quando a qualidade da madeira varia muito, o fabricante de celulose toma algumas medidas para tentar restabelecer a uniformidade, nem que seja misturar "coisas diferentes" para ter um "*mix*" mais uniforme. Inicialmente, ele precisa ter certeza de que as quantidades entrando na fábrica em termos de peso de madeira não estão variando demais. Aos seus digestores, onde ele tem que dosar os licores de cozinhar a madeira, ele precisa garantir o domínio sobre as quantidades de madeira alimentando-os. Com isso, o nosso fabricante de celulose acredita que estará uniformizando operações que dependem do digestor, tais como: área de preparação do licor branco, área de recuperação do licor preto, área do branqueamento, área de geração de químicos oxidantes ao branqueamento, etc. O que ele tenta fazer desesperadamente e em primeiro lugar é a "gestão da quantidade de madeira que alimenta os digestores". Os digestores são equipamentos alimentados base volume de cavacos e na maioria das vezes eles estão limitados em suas alimentações de cavacos e fluxos de licor. Isso porque as fábricas de celulose de eucalipto estão acostumadas a trabalhar no máximo ou acima de suas capacidades. Para evitar variações bruscas na performance operacional, o ideal é se trabalhar com densidades básicas das toras de madeira uniformes e com densidades a granel dos cavacos também parecidas. As performances e estabilidades operacionais são mais facilmente alcançadas dessa forma, mesmo que o fabricante de celulose esteja misturando madeiras de diferentes densidades básicas. Para ele, em um primeiro momento, o que é importante é uma densidade a granel dos cavacos a mais uniforme possível. Seu primeiro objetivo então é estabilizar o fluxo mássico de madeira entrando nos digestores. Com isso, ele consegue "estabilizar" o restante da fábrica, o que em verdade, não é tarefa fácil.

Garantida a alimentação uniforme, o fabricante de celulose passa a se preocupar com as maneiras de se reduzir a variabilidade na qualidade da madeira. Sua segunda meta é fazer a "gestão da variabilidade da madeira". Obtendo sucesso, ele diminuirá as consequentes variações em coisas muito importantes no processo, tais como: consumo de licor branco no cozimento, rendimento em celulose, teor de rejeitos, consumo específico de madeira, teor de sólidos secos totais gerados e enviados ao sistema de recuperação do

licor preto, consumo de químicos no branqueamento, qualidade do produto final, proporção de produtos "*off-grade*", qualidade das operações, nível de "*stress*" dos funcionários, etc., etc.

As gestões das quantidades e fluxos mássicos e a gestão da variabilidade podem ser consideradas como requisitos básicos e fisiológicos para qualquer fábrica de celulose. Isso vale para fábricas integradas e para fábricas de celulose de mercado, em qualquer lugar do planeta. O fabricante de celulose só se interessará pela "gestão da diferenciação de produtos" se ela vier para lhe facilitar a vida e lhe melhorar as duas formas de gestão anteriores. Ou se ele tiver pleno domínio sobre essas gestões dos fluxos mássicos e das variabilidades. Ele quer adequação e conformidade em seus processos – isso está sempre sendo cobrado pelos auditores de qualidade. Portanto, os fornecedores de madeira precisam entender muito bem isso. No caso da diferenciação de produtos, podemos entender a disposição da empresa e dos operadores de máquinas em produzir na fábrica tipos diferenciados de produtos celulósicos, capazes de atender mercados diferenciados. Essa diferenciação pode estar ligada à qualidade da madeira (madeira leve e madeira densa); à espécie de *Eucalyptus* sendo utilizada (*E.urograndis*, *E.globulus*, *E.nitens*, etc.); à idade da floresta, às condições de processo (polpa ECF ou TCF, polpa seca em folhas ou em secador "*flash dryer*"); ou às condições mais recentemente introduzidas para diferenciação mercadológica (madeira certificada ou não certificada).

A diferenciação de produtos é mais facilmente alcançada quando a fábrica possui mais de uma linha de fibras. Isso porque a fábrica pode operar suas linhas de produção com madeiras e produtos diferentes. Isso permite inclusive que uma linha de produção possa absorver alguns problemas e limitações da outra linha. Assim fazendo, a fábrica escapa de ter transições de produtos, quando muda de um tipo de produto para outro.

Tudo isso que estou lhes contando é muito fácil de falar, mas muito difícil de programar. Com a silvicultura clonal em pleno desenvolvimento nos dias atuais, as chances de se garantir clones diferenciados para tipos diferenciados de celulose e papel são enormes. O que antes no passado se fazia variando espécies ou idades de árvores, hoje se consegue pela gestão dos clones. A maioria das empresas de celulose de mercado já possuem clones específicos para produção de celulose para papéis "*tissue*", decorativos, impressão, base de revestimento, etc.

Para o sucesso dessa diferenciação, mais uma vez, é muito importante o bom diálogo entre as áreas florestais, de fabricação de celulose e o fabricante e usuário do papel, quer eles sejam internos ou externos. Em geral, é comum que surjam desentendimentos entre essas áreas e atores. Isso porque eles têm dificuldades em entender as limitações dos outros. Como consequência, poucos fabricantes de celulose de mercado conseguem oferecer produtos diferenciados para nichos de mercado. A maioria dos fabricantes de polpa gosta de produzir uma polpa única, até mesmo universal, que possa ser entregue a qualquer cliente em qualquer lugar do mundo. Só que essa polpa universal, que possa atender a qualquer tipo de papel definitivamente não existe.

Acontece que fabricar e vender um tipo único de polpa é muito mais fácil: maiores facilidades operacionais, ausência de transições, facilidades de logística e armazenamento, custos mais fáceis de apropriar, etc., etc. Por essas razões, a aversão que alguns fabricantes de celulose têm a novas exigências de qualidade dos mercados. Eles não gostam de alterar suas formulações, até porque isso demanda não apenas matérias-primas, processos e conhecimentos, mas também enormes controles, atenção e disposição. Como os mercados estão mais exigentes e a concorrência maior, algo precisará ser feito. Afinal, como o mundo está mudando rápido, aqueles que não reagirem podem perder a vantagem competitiva ou seus postos de trabalho. Em outros casos, quem sofrerá será a empresa, pois os tomadores de decisão são poderosos (o que acaba cegando-os) e não estão vendo que os clientes estão com novas máquinas, novos produtos e precisam de novas matérias-primas.

Tanto no caso de fábricas que produzem um único tipo de celulose de mercado, como no caso de fábricas que objetivam a diferenciação de produtos, é difícil se definir a qualidade da madeira com base em uma única propriedade. Também não existe uma única e fantástica qualidade de madeira que otimize toda a operação da fábrica e a qualidade do produto.

Apesar da densidade básica da madeira ser uma das propriedades mais versáteis e utilizadas, existem muitas limitações para se tê-la como uma indicação universal de qualidade da madeira dos eucaliptos. Entretanto, quero deixar claro apenas o seguinte: "madeiras de eucalipto de mesmos valores de densidades básicas, mas pertencentes a diferentes espécies de *Eucalyptus*, podem ter

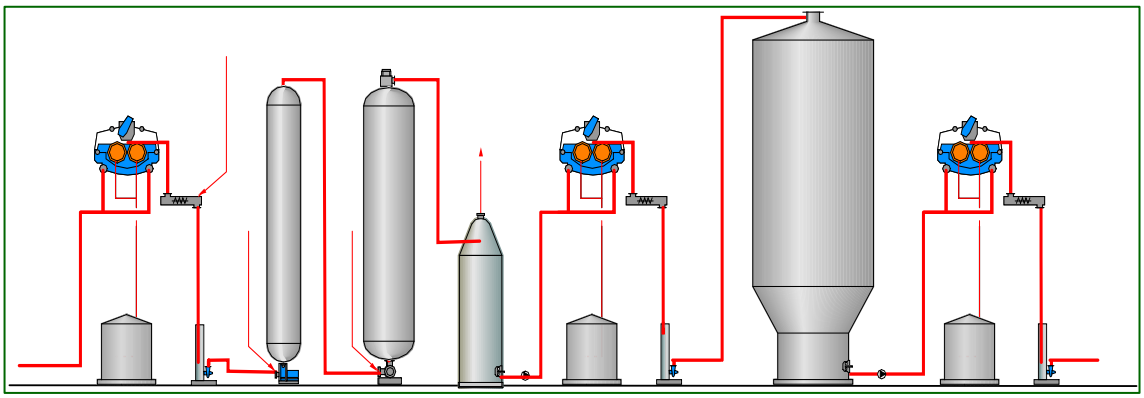
comportamentos tecnológicos completamente diferentes na conversão a celulose e na qualidade dos produtos resultantes". Por exemplo, madeiras de densidade básica 0,5 g/cm³ das espécies *Eucalyptus saligna*, *E.nitens*, *E.dunnii*, *E.urophylla*, *E.robusta* e *E.tereticornis* com muita certeza terão comportamentos operacionais e qualitativos diferenciados para fabricar celulose kraft branqueada. Por essa razão, quem controla qualidade da madeira com base apenas em densidade básica precisa no mínimo estar trabalhando com espécies de *Eucalyptus* similares em relação a essa propriedade. Se estiver com um "*mix*" muito variado de espécies, as decisões tomadas podem ser inadequadas. Mesmo em se tratando de clones, podemos ter variações qualitativas e de performances tecnológicas para densidade básica. Isso porque o clone pode ter características que se assemelham mais à espécie paternal ou à espécie maternal. Algo como: alguns clones de *E.urograndis* podem ter madeiras parecidas às de *E.urophylla* e outros às de *E.grandis*, ficou claro?

Outras vezes, a qualidade da madeira é definida pelo fabricante de celulose em função das limitações (ou gargalos) que ele possui em sua fábrica. Se ele, por exemplo, tiver dificuldades na impregnação dos cavacos, na reciclagem dos nós do digestor e na depuração da polpa, ele restringirá a entrada de madeiras mais densas e com mais alto teor de lignina. Já se ele tem limitações na alimentação do digestor e precisa aumentar a produção diária da fábrica, ele buscará madeiras mais densas, mas com menores teores de lignina.

As restrições operacionais que são mais comuns para afetar parâmetros de qualidade das madeiras dos eucaliptos são as seguintes:

- Capacidade da linha de picagem e classificação dos cavacos;
- Capacidade do digestor;
- Limitações nos fluxos de licor no digestor;
- Capacidade da linha de lavagem da polpa;
- Desenho e dimensionamento da linha de branqueamento;
- Capacidade da evaporação;

- Capacidade de queima da caldeira de recuperação;
- Capacidade do forno de cal e da caustificação;
- Capacidade da planta química geradora de dióxido de cloro;
- Capacidade da depuração hidrociclônica;
- Capacidade de secagem da folha de celulose;
- Capacidade do setor de enfardamento
- Administração do nível de contaminantes na celulose ("*pitch*");
- Etc.



Linha de fibras em geral com seus múltiplos gargalos

Como uma conclusão geral do que foi dito e apenas repetindo para consolidar conceitos: o tipo e a intensidade do gargalo operacional é que pode estar definindo a "qualidade ideal" da madeira para uma determinada linha de produção de celulose. Esse costuma ser o caso para fábricas em operação, já com sistemas de processo sobrecarregados. Para fábricas novas "*greenfield*", a qualidade da madeira pode ser pré-definida e construída na floresta, conforme os objetivos das áreas de produção, tecnológica e comercial. Entretanto, essas especificações não durarão por muito tempo. Logo após o "arranque" da fábrica, a voracidade em aumentar a produção, a busca por recordes de produção, a usual desatenção com os programas de plantações florestais, logo conduzirão a situações de

escassez de madeira e ao surgimento de alguns gargalos operacionais na fábrica de polpa. Consequentemente, novos parâmetros de qualidade de madeira surgirão. Aquilo que era um "mar de rosas", transforma-se em inúmeros pesadelos em noites mal dormidas. Bom apenas que o setor de celulose de eucalipto está em acelerado crescimento de produção e de consumo. Pior seria uma situação contrária: a madeira sempre excelente, mas a fábrica operando abaixo da capacidade nominal e os clientes satisfeitos, mas escassos.

As fábricas de celulose têm seus objetivos vitais muito conhecidos: produção e produtividade, eficiência e continuidade operacional, custo de produção, qualidade dos produtos e pouca demanda de capital de investimentos. Elas costumam ficar ensanduichadas entre a área florestal e o cliente que fabrica papel. Isso tanto nas fábricas integradas ou não-integradas. Ambos os lados do sanduíche precisam conhecer as limitações da fábrica de celulose e ajudá-la a fabricar uma boa limonada de alguns limões, às vezes amargos. O fabricante de celulose é apaixonado por seu processo industrial, ama de verdade isso tudo. Por isso, ao invés de criticar suas exigências, melhor se integrar a ele para otimizar seu processo.

Vou tomar agora tomar a liberdade de apresentar a vocês o que defino como as onze características vitais da qualidade das madeiras do eucalipto para o fabricante de celulose kraft.

## "As onze características vitais das madeiras dos eucaliptos relacionadas à fabricação de celulose kraft branqueada"

Elas são as seguintes:

1. Limpeza, sanidade e umidade da madeira;

2. Dimensões dos cavacos;

3. Densidade básica da madeira;

4. Consumo específico de álcali efetivo ou ativo no cozimento;

5. Rendimento em produção de celulose;

6. Consumo específico de madeira por tonelada de celulose;

7. Sólidos secos gerados para a linha de recuperação de licor preto;

8. Teor e qualidade da lignina da madeira;

9. Teor de hemiceluloses;

10. Teor e constituintes dos extrativos da madeira;

11. Teor e constituintes das cinzas da madeira.

Sobre cada uma delas faremos algumas considerações que são importantíssimas para uma adequada integração fábrica/florestas.

Os cavacos constituem-se na forma como a madeira entra na fabricação de celulose: foco na qualidade deles e não só nas árvores e toras

1. <u>Limpeza, sanidade e umidade da madeira</u>

Esse é um item composto que depende da árvore e das operações florestais e fabris.

A madeira deve ser a mais isenta possível de contaminantes como casca, folhas, galhos, terra. Ela deve ter ainda mínimas ocorrências de regiões defeituosas como inserção de nós, madeira de tração, etc. Não adianta nada o melhorista genético e o produtor florestal se esforçarem para obtenção da "árvore ideal" e ela ser estragada nas operações de colheita e transporte.

Colhida a floresta, as toras em geral são deixadas para um rápido processo de perda de umidade para facilitar e baratear o manuseio e transporte. O cuidado a se ter é evitar que toras e cavacos acabem esquecidos ou ocultos nos processos e percam muito da qualidade por apodrecimento ou sujeira. Não se surpreendam, essa é uma situação até que bem comum nas fábricas e florestas.

O fabricante de celulose kraft sabe também que algumas de suas operações dependem do nível de umidade das madeiras: a impregnação dos cavacos, a penetração e difusão do licor de cozimento para a individualização das fibras, o fluxo da coluna de cavacos no digestor contínuo, como exemplos. Controlar a umidade das toras e dos cavacos é muito importante, apesar de não ser vital em caso de fábricas dispondo de eficientes corpos de impregnação dos cavacos.

## 2. Dimensões dos cavacos

As linhas de picagem devem ser adequadas ao tipo de qualidade de madeira, caso contrário estragarão todos os ganhos obtidos na gestão da qualidade dessas árvores e madeiras. Mesmo madeiras tão densas como as de *Corymbia citriodora* podem ser convertidas em matérias-primas de excelente qualidade para produção de celulose, caso as dimensões dos cavacos sejam menores e adequadas ao processo em questão.

## 3. Densidade básica da madeira

Para o fabricante de celulose, a uniformidade e a média da densidade básica da madeira são muito importantes. Com isso, ele controla melhor a gestão dos fluxos mássicos e da variabilidade de seu processo. No caso de fábricas que possuam um desenho que

permita usar madeiras de baixa densidade, o fabricante de celulose pode mostrar preferência por elas, já que a impregnação é facilitada e o cozimento mais rápido. Inclusive, o próprio rendimento da conversão pode ser maior, embora em nível de consumo unitário de madeira por tonelada de celulose possa ser pior. Entretanto, se o digestor estiver restrito em produção, por incapacidade de alimentar mais cavacos, o fabricante de celulose ganhará produção alimentando madeiras de mais alta densidade básica, resta apenas encontrar os níveis adequados a ele. De novo, as restrições podem definir a qualidade ideal da madeira. Resolvida a restrição, a qualidade ideal desejada se altera. Tão simples isso, mas poucos conseguem visualizar essas interações. Ou entendê-las!

As mudanças nas exigências de qualidade da madeira costumam deixar aborrecidos os melhoristas florestais. Isso porque a visão do fabricante de celulose é o dia de hoje e do melhorista florestal é o longo prazo. As formas de agir e os comportamentos e argumentações variam muito em função disso. É principalmente devido aos gargalos e restrições que algumas fábricas de celulose preferem usar madeira de baixa (0,40 a 0,45 g/cm³), média (0,48 a 0,52 g/cm³) ou alta (0,52 a 0,60 g/cm³) densidade básica de madeira. Essas restrições podem ser das fábricas de celulose, imposições dos clientes ou mesmo das áreas florestais. É por essa razão que diferentes fornecedores de celulose de mercado acabam tendo polpas que não são similares em desempenho ou em qualidade.

## 4. Consumo específico de álcali efetivo ou ativo no cozimento

Essa propriedade da madeira é vital para o fabricante de celulose. Ela é resultado de diversas outras características da madeira tais como: teor de lignina, relação siringila/guaiacila da lignina, teor de extrativos, teor de hemiceluloses, além de depender da espécie de *Eucalyptus* e da idade da árvore. Quanto menos licor branco a madeira demandar para atingir um grau desejado de número kappa, mais feliz se torna o fabricante de celulose. Nos dias atuais, com as modificações para cozimentos a baixas temperaturas e por mais longos tempos, as demandas de álcali para deslignificar as madeiras de eucalipto aumentaram. Portanto, em algumas situações, as fábricas operam nos limites em seus fornos de cal e na caustificação.

Por isso, toda atenção nas madeiras que apresentam baixo consumo de álcali efetivo ou ativo. Elas serão muito bem-vindas nos abastecimentos das fábricas.

5. Rendimento em produção de celulose

Também uma característica tecnológica vital. Quanto maior a quantidade de celulose que se conseguir produzir a partir de um mesmo peso seco de madeira, melhor é a qualidade da madeira nesse quesito. Essa propriedade é muito dependente do teor e tipo de lignina, extrativos, holocelulose e densidade básica das madeiras (nesse último caso, a um mesmo teor de lignina). As fábricas de celulose são construídas primariamente para produzirem celulose e não licor preto, portanto, quanto mais celulose uma madeira conseguir gerar por um mesmo processo, melhor. É fundamental ainda se definir quais as condições ideais de processamento industrial para ela. Algumas madeiras demandam certas condições de cozimento, enquanto outras madeiras exigem condições diferentes para atingimento do mesmo número kappa.

6. Consumo especifico de madeira por tonelada de celulose produzida

Essa propriedade vital é o resultante de muitas características interconectadas, tanto da madeira, como das exigências da mesma no processo de sua conversão em celulose: densidade básica da madeira, rendimento em celulose, teor e tipo de lignina, teor de hemiceluloses, grau de deterioração da madeira, perdas de fibras no processo, qualidade dos cavacos, contaminações dos cavacos com casca, etc. Em geral, ele é expresso em metros cúbicos de madeira por tonelada de celulose seca ao ar. O consumo específico de madeira por tonelada de celulose (não branqueada ou branqueada, cada fábrica prefere uma maneira de se determinar isso) representa uma das mais importantes parcelas do custo de fabricação da celulose kraft. Esse custo é significativo, mesmo para os produtores de madeira de baixo custo. Por essa razão, é um dos indicadores diários de avaliação de qualidade dos processos industriais. É também um parâmetro de seleção de árvores para melhoramento genético da madeira para fins tecnológicos. Quaisquer das características da

madeira que possam impactar em consumo específico tornam-se igualmente importante para os fabricantes de celulose.

7. Sólidos secos gerados para a linha de recuperação de licor preto

Essa propriedade passa a ser vital nas fábricas que apresentam como gargalo operacional a capacidade de seu sistema de recuperação de licor preto. Ela depende do consumo de licor de cozimento (álcali ativo ou efetivo), do rendimento em celulose, do número kappa residual da polpa, dos fluxos de recirculação de filtrados, do rendimento e carga de soda cáustica da deslignificação com oxigênio, do uso de licor branco oxidado na deslignificação com oxigênio, da atividade do licor branco, etc., etc. Em fábricas com capacidade excedente no sistema de evaporação e queima do licor preto, é uma propriedade sequer medida. Em outras, com sérias limitações nesses sistemas, torna-se o sonho diário de horror dos operadores e gestores da linha de fibras e da área fornecedora de madeiras ao processo. Por isso, muita gente não entende porque as exigências por qualidade de madeira variam tanto de fábrica a fábrica. Nada mais natural que variem, não é mesmo?

8. Teor e qualidade da lignina da madeira

A lignina é abundante nas madeiras de *Eucalyptus*, especialmente naqueles sendo plantados no Brasil. Enquanto o teor de lignina é uma notável vantagem para a fabricação de carvão vegetal e para uso combustível da madeira, para produção de celulose e papel interessa madeiras com menores teores de lignina. Temos encontrado teores de lignina Klason total que variam entre 20 a 30%, ou seja, uma ampla faixa de variação para as espécies comerciais de *Eucalyptus*. O teor de lignina afeta diretamente a conversão da madeira a celulose kraft, pois impacta no consumo de álcali, no rendimento em celulose e na geração de sólidos secos ao sistema de recuperação do licor. Existem espécies com reconhecidos teores menores de lignina, e as madeiras que produzem são muito bem aceitas pelas fábricas de celulose. Destacam-se *E.globulus, E.dunnii, E.maideni*. Já outras espécies como *E.urophylla, E.grandis,*

*E.tereticornis, E.saligna*, apresentam teores de lignina maiores, acima de 25% em suas madeiras. O híbrido *E.urograndis* também é bastante rico em lignina na madeira. Entender o processo de lignificação dessas espécies tem sido um ponto de muitas pesquisas. A lignificação ajuda a apontar os caminhos mais corretos para uso das madeiras de eucalipto para energia ou para produção de celulose e derivados.

Nos anos mais recentes, os melhoristas florestais têm dado ênfase nos estudos da lignina das madeiras dos eucaliptos. A lignina é característica vital tanto na seleção de indivíduos superiores para hibridação e clonagem.

De forma geral, a cada redução de 1,2 a 1,5% no teor de lignina da madeira, corresponde um aumento de 1% no rendimento em produção de celulose kraft. Ainda mais; o teor de álcali ativo se reduz em 0,2 a 0,3% base madeira seca para essa mesma redução percentual do teor de lignina. Já vimos isso, mas é bom repetir pelos enormes impactos em custos e desempenhos industriais.

Existe uma longa trilha para o melhoramento florestal percorrer nesse sentido. Existem tantas disponibilidades de genes naturais nos eucaliptos que a hibridação e clonagem podem impactar muito positivamente sobre o teor de lignina, sem necessidade de modificações genéticas por engenharia e transgenia. Mas essas técnicas também podem ser benéficas nesse particular, já que o teor e o tipo de lignina apresentam boas herdabilidades.

Enquanto em Portugal se ama de paixão a pureza e a qualidade da madeira do *E.globulus* pelos baixos teores de lignina que apresenta, no Brasil tem-se buscado introduzir genes de *E.globulus* nos programas de melhoramento através de produção controlada de híbridos. Em Portugal, as finalidades do melhoramento florestal se concentram em aumentar a produtividade das florestas, no Brasil a meta é melhorar a qualidade da madeira das espécies e clones sendo plantados. Ou seja, Portugal dispõe de boa qualidade de madeira com *E.globulus*, e o Brasil – produtividade florestal. Apenas lembrando, há situações em que *E.globulus* não produz a madeira ideal, já que não existe uma madeira ideal para todos os produtos papeleiros, lembram-se disso?

No Brasil, um dos indicadores florestais muito apreciados é a produtividade da floresta plantada expressa em toneladas de celulose

kraft branca produzida equivalentemente por hectare por ano. Esse indicador é conhecido por IMACel – Incremento Médio Anual expresso em Celulose. Esse número varia entre 9 a 16 tsa/ha.ano. Enquanto isso, em Portugal, esses valores se situam entre 6 a 8. Mesmo com baixos incrementos volumétricos, a espécie *E.globulus* se destaca em equivalente de celulose produzida por hectare.ano, devido às suas características favoráveis da madeira, tais como: baixo teor de lignina, alta relação S/G (siringila/guaiacila) na lignina, alta densidade básica, alto teor de hemiceluloses.

Falando na relação entre S/G, há atualmente forte ênfase em seu estudo. Investigam-se muito as bases moleculares da formação da lignina e os fatores ambientais e genéticos que levam a esses valores. A lignina é um polímero altamente complexo, difícil de ser avaliado. Ela é hidrofóbica e seus derivados atrapalham a branqueabilidade das polpas. Por essa razão, devem ser removidos para produção de celuloses branqueadas. Nas madeiras de eucaliptos, os grupamentos dominantes são siringila e guaiacila. Quanto maior a proporção de guaiacila, mais condensada está a "molécula estrutural" de lignina. Essas situações desfavorecem a remoção de lignina pelos processos de polpação e de branqueamento. Já os fragmentos e os setores mais ricos em siringila são mais facilmente extraídos. Por essa razão, a busca até frenética pelos eucaliptos com altas relações S/G. Mesmo em faixas pequenas de variação, a relação S/G oferece vantagens na polpação. Madeiras de clones ou espécies de eucaliptos com relação S/G por volta de 3 - 3,5 são mais facilmente deslignificadas que outras com relação 2. Infelizmente, o *Eucalyptus urophylla* apresenta valores baixos para essa relação, por volta de 2. Já o *Eucalyptus globulus* mostra situações em que essa relação atinge 4 a 6, uma beleza para cozinhar e branquear esse material.

O *E.urophylla* tem sido a base dos programas de melhoramento florestal no Brasil, pois é uma espécie altamente tolerante ou resistente a doenças típicas de condições tropicais. Além disso, é muito plástico, podendo ser plantada (ou através de seus híbridos) em todas as regiões do País, exceto aquelas onde o frio ou o déficit hídrico são muito intensos. Por isso, todo o esforço para a criação de híbridos entre *E.urophylla, E.grandis e E.globulus*. Esses possuem o potencial para produtividade volumétrica, densidade básica de madeira, resistência a condições adversas e boa conversão em celulose branqueada (quando mostrarem baixo teor de lignina e alta relação S/G). Tudo que enche os olhos e o coração do melhorista

florestal e dos usuários das madeiras resultantes desses cruzamentos.

## 9. Teor de hemiceluloses

As hemiceluloses complementam a qualidade das madeiras para produção de celulose e de papel. Para a produção de celulose, elas devem ser retidas nas fibras para preservar rendimentos. A lignina deve ser extraída e celulose e hemiceluloses preservadas (o mais possível). Como as polpas brancas não mais possuem quantidades notáveis de lignina (só alguns fragmentos moleculares que interferem na reversão de alvura), as hemiceluloses presentes são fundamentais para o desempenho das polpas.

As hemiceluloses estão relacionadas também ao consumo de reagentes químicos no branqueamento, pela formação de ácidos hexenurônicos durante o cozimento kraft. Por essa razão, afetam não apenas rendimentos e performances, mas também impactam em custos, geram gargalos operacionais e interferem na qualidade dos produtos finais, já que podem influenciar na reversão de alvura da polpa branca.

Tamanha é a ênfase nas hemiceluloses que elas são hoje, junto à lignina e à densidade básica das madeiras, os parâmetros mais analisados para o melhoramento florestal das árvores dos eucaliptos. Infelizmente, ainda se navega muito nas superficialidades disso tudo. Tanto para teor de lignina como de hemicelulose, as metodologias são empíricas e pouco informativas sobre os constituintes das mesmas. Algo que deve ser mais estudado a partir de agora, com melhores técnicas analíticas.

Por outro lado, o empirismo nas avaliações também tende a aumentar, hoje com técnicas expeditas e simples para correlacionar "alhos com bugalhos". Assim quase todos buscam avaliar por técnicas de NIR – Espectroscopia de Infra Vermelho Próximo quase tudo: desde lignina, até umidade e densidade básica, bem como rendimentos em produção de celulose. Bom se cuidar: avaliar por NIR o que pode ser feito em nível de "*screening*" e deixar determinações de maior qualidade analítica para as especificidades que definirão a qualidade da madeira dos materiais genéticos do futuro.

## 10. Teor e constituintes dos extrativos da madeira

Os extrativos da madeira são indesejados nos processos de polpação porque afetam diretamente o rendimento em conversão a celulose e podem ser transformados em contaminações aos produtos e equipamentos. Os teores de extrativos das madeiras de eucaliptos variam em função da espécie de *Eucalyptus*, das condições ambientais, da idade da árvore, da sanidade da floresta, etc. Os valores mais comuns estão entre 1,5 a 6%, uma enorme faixa de flutuação. Existem diversas metodologias para a extração desses compostos, por isso, o nome de extrativos. São grupos polifenólicos, ceras, ácidos graxos, resinas, carboidratos solúveis, etc. Todos se combinam em uma sopa muito pouco conhecida que afeta não apenas a polpação e a qualidade dos produtos e processos, como também alguns possuem inclusive impacto ambiental nos efluentes e vida aquática. Os extrativos mais comumente determinados por metodologias expeditas e simples são os que usam a água, a soda cáustica, o álcool, o diclorometano, o tolueno e o éter etílico como reagentes de extração. Quanto à estrutura desses extrativos, sua composição e características mais importantes, muito pouco se estuda ou de avalia. Também aqui, um longo caminho para otimizar.

## 11. Teor e constituintes das cinzas da madeira

As madeiras são ricas em elementos minerais. Esses elementos na maioria são da própria constituição das madeiras, mas existem também os que contaminam as toras nos manuseios e transportes (terra, areia, argila, etc.). Quando as florestas são colhidas, os minerais que eram do solo são exportados para as fábricas. Em geral, os minerais são bem identificados nas madeiras, as suas determinações são relativamente fáceis. Mede-se o teor de cinzas (por queima da madeira) e nas cinzas determinam-se os teores de cálcio, magnésio, ferro, potássio, silício, etc. Os teores de cinzas das madeiras de eucaliptos variam entre 0,3 a 1%. Com as tendências de fechamento de circuitos de águas nas fábricas de celulose kraft, o teor de cinzas e seus constituintes passaram a ser também muito importante. Isso se deve às características

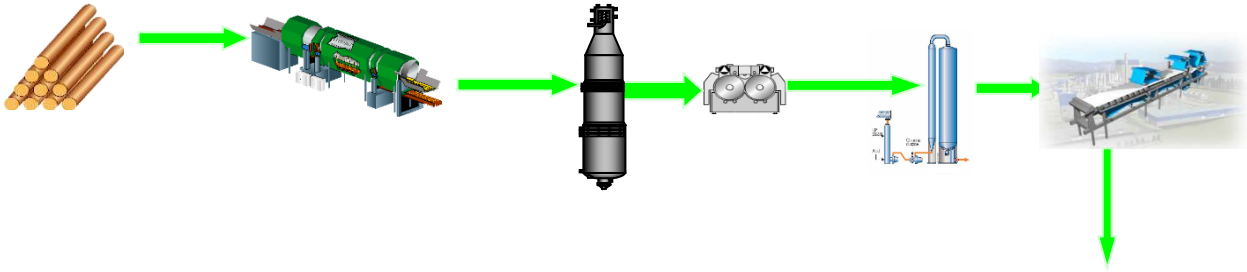
acumulativas de alguns íons nos processos fabris, causando incrustações, sujeiras, precipitados, etc. O teor de cinzas e dos seus constituintes varia bastante entre as espécies de *Eucalyptus*. Portanto, é uma interessante característica para otimização da qualidade da madeira e dos processos. Tamanha tem sido a preocupação, que íons da madeira que antes sequer eram notados, hoje se tornaram vitais: ferro, silício, cloretos, manganês, cálcio, potássio, etc. Alguns desses íons são deletérios aos processos, ou no branqueamento, ou no sistema de recuperação do licor. Além disso, ao serem retirados dos solos, esses solos se empobrecem.

Madeiras com baixos teores de cinzas e minerais são importantes, tanto para o meio ambiente (qualidade dos solos), como para os processos industriais. Esses elementos minerais são nas fábricas conhecidos como elementos não processuais. Esses elementos não processuais merecem toda a atenção dos produtores de celulose e dos fabricantes de equipamentos. Para alguns usuários das celuloses, eles são também vitais (especialmente das celuloses utilizadas em derivados químicos de celulose).

Fantásticos elementos minerais naturais presentes nos solos acabam-se transformando em fontes de problemas nas fábricas e em poluição dos efluentes, resíduos sólidos e gases. Hoje, as fábricas trabalham na redução da presença de elementos minerais, tanto nas terras que sujam as madeiras, como no teor de cinzas das próprias madeiras, em sua constituição química. As cascas das árvores são também muito ricas em cinzas. Quando os cavacos estão muito contaminados com cascas, esses tipos de problemas aumentam.

==========

# O PROCESSO KRAFT DE FABRICAÇÃO DE CELULOSE



**A Fantástica Fábrica de Celulose Kraft**

Processo kraft e madeira de eucalipto têm sido duas coisas que se aliaram muito bem, tanto na adequação tecnológica, como na utilidade prática e nos fins comerciais.

O processo kraft é o meio dominante de produção de celulose química. Desde sua descoberta acidental em 1879, e posterior patente de Carl Dahl em 1884, esse processo tem sido imbatível em termos de promover a separação das fibras de inúmeras matérias-primas para a fabricação de polpas celulósicas orientadas à manufatura de variados tipos de papéis, derivados de celulose, etc.

Por outro lado, as fibras dos eucaliptos despontam cada vez mais como sendo as grandes vencedoras na disputa dos mercados papeleiros, crescendo vertiginosamente em importância no todo desse segmento industrial, em quaisquer dos países grandes produtores de papéis. Isso se deve às altas produtividades das florestas plantadas de eucalipto e à perfeita adaptação da qualidade de sua madeira e fibras para produção tanto de celuloses como de papéis. A indústria de celulose branqueada de mercado tipo kraft de eucalipto para abastecer os mercados papeleiros tem sido referenciada como uma das mais promissoras e com amplo potencial de crescimento. É importante ficar muito claro que a grande maioria

da celulose de eucalipto tem sido produzida pelo processo kraft e em especial para a fabricação de polpas branqueadas. Em geral, as fibras curtas não branqueadas dos eucaliptos têm poucas destinações papeleiras. Entretanto, as branqueadas, pelo contrário, entram na composição de uma enorme variedade de papéis, tais como: imprimir e escrever, sanitários, revestidos, cartões multicamadas, papéis especiais, etc., etc.

A conversão da madeira em celulose kraft ocorre em equipamentos denominados digestores, que são grandes vasos de pressão onde os cavacos de madeira reagem com o licor de cozimento em condições adequadas de temperatura e de pressão. A otimização dessas condições de cozimento é a meta dos fabricantes de equipamentos e dos produtores de celulose. Todos querem a máxima eficiência nas operações, os melhores rendimentos possíveis na conversão e o atingimento das especificações de qualidade nos produtos. Todos ainda objetivam mínimo impacto ambiental, mínimo custo de produção e máximos resultados para as empresas e para as partes interessadas. Tudo nas conformidades do desenvolvimento sustentável.

A grande vantagem do processo kraft consiste em sua capacidade de ter mínimas perdas químicas e máxima eficiência energética. Cerca de 96 a 97% dos reagentes químicos utilizados na polpação são recuperados. Além disso, hoje uma fábrica de celulose kraft não branqueada pode ser considerada como capaz de gerar com sobras sua própria energia a partir da fração da madeira dissolvida no licor residual de cozimento (licor preto). Como cerca de metade do peso da madeira é dissolvida nesse processo de separação das fibras, essa madeira dissolvida e na forma líquida se converte em um biocombustível nas fábricas de celulose kraft. Pela concentração desse licor preto residual a altos níveis de sólidos secos (60 a 80%) em evaporadores de múltiplos efeitos e concentradores, esse licor ganha características ideais para queima. A seguir, esse combustível rico em matéria orgânica e em elementos minerais (sódio, sulfetos, carbonatos, hidróxidos, potássio, cloretos, etc.) é queimado em uma caldeira especial (caldeira de recuperação) gerando energia térmica e elétrica e permitindo a recuperação dos reagentes químicos minerais para novo ciclo de cozimento. Um ciclo muito fechado e de grande sucesso tecnológico.

A madeira do eucalipto se adaptou muito bem ao processo kraft. Isso se deve a algumas características vitais que ela apresenta

e que interagem muito bem com a físico-química e cinética da tecnologia kraft. A madeira do eucalipto é facilmente penetrada pelo licor de cozimento, sua lignina é de relativamente fácil remoção e o rendimento na conversão em celulose é de satisfatório a muito bom, dentro das realidades da polpação kraft. Como resultado, é possível se produzir celulose kraft de eucalipto com consumos específicos de madeira por tonelada de celulose muito mais baixos do que com madeiras de coníferas. Somando-se a isso os preços mais baixos das madeiras obtidas das produtivas árvores de eucalipto, criou-se a receita ideal de sucesso que todos esperavam: qualidade, eficiência, custos de produção, adequação ao uso, satisfação do consumidor e capacitação tecnológica. Adicionam-se a isso tudo as responsabilidades ambiental e social das empresas e temos todos os ingredientes dessa receita de sucesso.

Apenas a título de conhecimento para vocês, observem na tabela que estamos lhes oferecendo a seguir, como é fantástica e vantajosa a produção de celulose kraft a partir do eucalipto em relação às madeiras de fibras longas das coníferas. São por todas essas razões que as fibras curtas dos eucaliptos estão gradualmente substituindo as fibras longas na fabricação do papel. Como as polpas de mercado dos eucaliptos podem ter preços menores pelos menores custos de fabricação, isso é repassado como uma agregação de valor para os clientes papeleiros e para os clientes finais (consumidores do papel na cadeia produtiva). Isso é muito atrativo para os fabricantes de papel não integrados, que fazem de tudo para incrementar a participação dos eucaliptos em suas receitas mágicas de fibras e com isso, reduzir seus custos e ao mesmo tempo, encantar seus clientes.

Exemplos de polpação kraft com diversos tipos de madeiras

| **Madeira** | *E.globulus* | *E.urograndis* | *Pinus taeda* | *"Northern Hemisphere Softwood"* |
|---|---|---|---|---|
| Densidade básica da madeira, g/cm³ | 0,6 | 0,5 | 0,38 | 0,45 |
| Teor Lignina Klason total, % base madeira seca | 23 | 28 | 32 | 30 |
| Número kappa na polpa digestor | 14 - 15 | 16 - 18 | 23 - 25 | 23 - 25 |
| Rendimento do cozimento kraft, % | 55 - 57 | 51 - 54 | 43 - 45 | 44 - 46 |
| Fator H | 300 - 400 | 400 - 600 | 1000 - 1500 | 1000 - 1500 |
| Carga de Álcali Efetivo, % como NaOH | 15 - 16 | 17 - 20 | 23 - 24 | 22 - 25 |
| Consumo específico madeira, m³/odt polpa (polpa não branqueada absolutamente seca) | ~3 | 3,6 – 3.8 | ~6 | 5,0 – 5,5 |

Todos os papeleiros têm consciência de que as fibras longas e as fibras curtas possuem características e desempenhos diferentes na máquina de papel. Entretanto, a possibilidade de misturar polpas para compor receitas e as tecnologias de máquinas cada vez mais adequadas para as fibras dos eucaliptos têm levado a um aumento significativo na participação das fibras curtas na produção mundial de papel. Dentre as fibras curtas, as que mais crescem nos mercados são justamente as fibras dos eucaliptos. Bom para os papeleiros, que produzem papéis de qualidade a custos mais baixos. Bom para os plantadores de árvores de eucaliptos, que podem orientar suas madeiras com qualidades específicas para a fabricação de celulose kraft e com isso melhoram os resultados econômicos de suas plantações.

==========

# AS MELHORES TECNOLOGIAS E PRÁTICAS ORIENTADAS À PRODUÇÃO DE CELULOSE KRAFT BRANQUEADA DE EUCALIPTO

Estamos já há algumas décadas tendo notáveis avanços na tecnologia de produção de celulose kraft branqueada de eucalipto no Brasil. Mais importante do que o desenvolvimento tecnológico em si, tem sido o novo conceito que se está dando para esse desenvolvimento: fábricas com ciclos mais fechados, altamente ecoeficientes e com mínimo impacto ambiental. Os fechamentos de circuitos estão agora ocorrendo com mais intensidade, pois novas tecnologias para evitar o acúmulo de contaminantes nas fábricas também estão sendo criadas. Já se consegue produzir celulose kraft branqueada de eucalipto com geração de cerca de 20 metros cúbicos de efluentes totais por tonelada de celulose final. Em pouco tempo, fechamos significativamente o sistema de águas e introduzimos maneiras criativas para impedir o acúmulo de cloretos, potássio, oxalatos e *pitch* nos sistemas de fabricação. Os ganhos energéticos foram notáveis. Hoje, consegue-se produzir uma tonelada de celulose branqueada de eucalipto com cerca de 600 kWh de energia elétrica e 5 toneladas de vapor. De compradoras de energia elétrica, as fábricas de celulose estão passando a serem vendedoras desse tipo de energia termoelétrica. Definitivamente estamos caminhando para fábricas mais simples, com menos equipamentos, menos prédios,

menos desperdícios e com produção muito mais limpa. Existem ainda enormes possibilidades de melhorias adicionais, não restam dúvidas - a ciência e o comprometimento de todos colaborarão para esses novos ganhos. Estamos rapidamente aprendendo a trilhar a ecoeficiência, a sustentabilidade do negócio e a sustentabilidade ambiental.

As modernas linhas de fibras que têm recentemente surgido são muito mais eficientes desde o pátio de madeiras até a secagem das folhas de celulose ou do papel. As áreas que mais evoluíram em suas tecnologias foram: preparação dos cavacos, cozimento kraft, lavagem e depuração da polpa e branqueamento. Tivemos muitas simplificações processuais, maiores fechamentos de circuitos, maior recuperação e conservação de energias, maiores eficiências operacionais e maiores escalas de produção. Isso tudo tem sido o resultado do esforço competitivo das tecnologias dos últimos anos: muita ciência, muita engenharia e geração de novos conhecimentos, dando a adequada base para esse desenvolvimento. Como resultados, o impacto ambiental tem sido muito menor, os investimentos também e os custos de produção ainda mais competitivos para as polpas de eucalipto. Por essas razões, o crescimento recente da produção de celulose kraft branqueada de eucalipto tem sido feito em fábricas estado-da-arte tecnológico.

Qualquer linha de fibras em uma fábrica de celulose ou de papel tem diversas missões, sendo as seguintes as mais importantes:

- Converter eficientemente a madeira em celulose branqueada;
- Manter a qualidade uniforme e de acordo com as exigências dos mercados;
- Funcionar a custos competitivos;
- Ter alta eficiência operacional;
- Evitar impactos significativos no meio ambiente;
- Gerar riquezas e felicidade para as partes interessadas e afetadas e com as quais se relaciona.

As linhas de fibras atualmente em instalação ou em operação recente, sabiamente desenvolveram mecanismos de controle desses fatores-chaves de competitividade. Diversos procedimentos de gestão técnica foram implementados para esse sucesso:

- Segregação de madeiras por espécies e por qualidade;
- Diminuição de perdas na área de preparo de madeiras;
- Redução nas perdas de fibras ao longo de toda a linha produtiva;
- Redução nos desperdícios de vapor e de energia elétrica;
- Seleção de processos muito eficientes para cozimento e branqueamento;
- Associação da linha de fibras à geração de energia elétrica e térmica a partir de biomassas da fábrica e das florestas;
- Máxima conservação de água e de calor, com uso de calor secundário e de filtrados quentes e recuperados;
- Máxima segurança aos trabalhadores nas operações fabris;
- Máxima eficiência de logística desde a área de manuseio de madeira, estoques intermediários, fluxos internos e destinação do produto final aos clientes;
- Desenho eficiente das capacidades, evitando gargalos de ineficiência;
- Eficiente uso do capital de investimento;
- Redução dos custos operacionais por otimização de custos ao longo do ciclo de vida dos insumos;
- Ênfase no treinamento e na qualificação do pessoal técnico;
- Transparência e diálogo com as partes interessadas;
- Grande comprometimento com os aspectos ambientais e sociais.

Dessa forma, diversas e modernas linhas de fibra têm sido instaladas no hemisfério sul, utilizando-se de madeiras de *Eucalyptus* e/ou de *Pinus* como matérias-primas. Outras mais estão ainda em

processo de construção ou de projeto. Certamente existem diferenças entre elas, mas o conceito básico tecnológico é parecido.

Como todos que trabalham nessas fábricas modernas estão orgulhosos de suas instalações e performances, tenho ouvido com frequência a frase "esta é a melhor e mais ambientalmente correta fábrica de celulose do mundo". Entendo as razões para essas expressões de júbilo. As fábricas atuais são muito melhores do que as fábricas das décadas de 80 e 90: são mais eficientes, performantes e com elevadíssima eficiência operacional. Entretanto, esse júbilo exagerado não é bom, pois ele acaba cegando os gestores e técnicos dessas empresas para novos ganhos e novas oportunidades para se tornarem ainda mais amigos da ecoeficiência. Por outro lado, não há uma melhor fábrica de celulose kraft branqueada no mundo, uma pode ser melhor em um particular, outras em outros. Tenho inclusive ouvido inexperientes executivos de grandes empresas se referirem a suas fábricas como não tendo impacto ambiental algum, uma ingenuidade perigosa.

Hoje, o grande problema para avaliar se temos ou não as melhores tecnologias disponíveis ("*Best Available Technologies*") ou as melhores práticas ambientais ("*best environmental practices*") são as referências bibliográficas disponíveis. Os documentos referência para isso já estão antigos, nessa era digital e de grandes avanços tecnológicos.

O documento rascunho do EC - IPPC (European Commission - Integrated Pollution Prevention and Control Bureau - Draft BREF 2010 - http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/PP_D1_0410.pdf) ainda demanda aperfeiçoamentos e consenso, em especial por parte de produtores com fábricas obsoletas e pouco eficientes em alguns países, outrora líderes na produção de celulose e papel no hemisfério norte.

Há hoje o consenso de que certas tecnologias são indispensáveis para qualquer nova fábrica, são obrigações tecnológicas. Entre essas obrigações citamos: cozimento kraft modificado com pré-impregnação dos cavacos, deslignificação com oxigênio, branqueamento ECF, lavagem eficiente da polpa, caldeira de recuperação do tipo "*low odor*" ou "*odor-free*", evaporação com multi-estágios para cerca de 80% de sólidos no licor preto concentrado, tratamento secundário ou terciário no efluente, uso de biomassa como combustível em substituição a combustíveis fósseis, secagem "flash" da lama de cal ao forno, caldeira de força de leito

fluidizado, sistema de destilação de condensados e queima dos gases voláteis, etc. Tudo obrigação, nada mais que obrigação e dever de casa de quem quer construir uma nova fábrica kraft de celulose branca.

A cada novo dia mais alternativas tecnológicas limpas e eficazes estão surgindo, e mais que isso, efetivas em custos, ou seja, viáveis do ponto de vista ambiental e econômico. Tem-se descoberto muitas opções e espaços para se melhorar ainda mais o processo de fabricação, sem extremismos, dentro de processo de melhoria contínua. Precisamos ainda melhorar muito nossas práticas e nossas técnicas em termos do que define o conceito de ecoeficiência e produção limpa: prevenir, reusar, segregar, fechar circuitos e atacar o problema na origem e não no fim-de-tubo. Continuamos a misturar efluentes sujos com águas boas e limpas, com isso sendo necessárias enormes estações de tratamento de efluentes. Continuamos a gerar uma enormidade de resíduos sólidos que acabam em aterros e se converterão em passivos ambientais para sempre. Mesmo que tenhamos compostagem e uso desses resíduos como subprodutos, muitos deles não existiriam se o problema fosse atacado na origem de sua geração.

Entendemos que existem hoje suficientes novas tecnologias e procedimentos de "*best practices*" que podem ser introduzidos, tanto em fábricas novas como no aprimoramento de fábricas em operação. De forma simplificada colocarei algumas sugestões adicionais para reflexão dos que hoje estão atuando nessa área. Caso implementadas em sua maioria, essas fábricas estarão, aí sim, caminhando para se situarem "entre as melhores fábricas do mundo em termos de desempenho operacional e ambiental". Farei isso por área da linha produtiva e depois colocarei alguns conceitos mais genéricos.

## Área do preparo da madeira

- Descascamento na área florestal, trazendo para a fábrica uma madeira mais limpa e deixando no campo a umidade e os nutrientes da casca como um presente para o solo e para as novas gerações de florestas;
- Picadores do tipo horizontal para minimizar danos nos cavacos e reduzir geração de cavacos defeituosos;

- Máxima produção de cavacos nas dimensões pré-estabelecidas (qualidade muito mais uniforme dos cavacos);
- Redução de perdas em todas as operações com madeiras;
- Ter pátio de madeira pavimentado para não comprometer a qualidade da madeira, reduzir geração de resíduos sólidos e melhorar a qualidade das águas que saem dessa área, inclusive a água de chuva;
- Separar restos de casca, galhos e folhas e usar como biomassa combustível ou enviar para compostagem e nunca ao lixão da fábrica;
- Usar só água recuperada em todas as operações do pátio de madeira.

## Área de digestão e lavagem

- Digestores "*batch*" ou contínuos com cozimento modificado ("*super batch*", "*compact cooking*", "*lo-solids*", etc.);
- Pré-impregnação dos cavacos para facilitar cozimento, aumentar rendimento e reduzir teor de rejeitos e de "*shives*";
- Cozimentos a baixas temperaturas (145 a 155ºC);
- Eficiente controle do número kappa após digestor;
- Ter a polpa muito bem lavada e depurada, de forma a se ter mínimo "*carry-over*" de matéria orgânica, soda cáustica e feixes de fibras para o branqueamento. Projetar a fábrica para uma lavagem sempre com cerca de 10 a 15% de reserva de capacidade.
- Reciclar nós e palitos da depuração de massa marrom, podendo para isso usar um pequeno digestor "batch" cativo para essa operação. Com isso, fica mais fácil o gerenciamento da qualidade do material produzido e sua destinação ao processo.
- Reusar a maioria dos condensados limpos da EVA para lavar a polpa, quer na linha marrom, como na parte inicial do branqueamento. Isso significa preservação de água e de calor no processo.

## Área do pré-branqueamento com oxigênio

- Deslignificação realizada em média consistência, com um ou dois reatores e eficientíssimas lavagens antes e depois dessa deslignificação.

## Área do branqueamento da celulose

- Adoção de sequências ECF com forte tendência ao ECF-Light, pela crescente utilização de etapas com peróxido de hidrogênio, ozônio e ácidos;
- Uso de estágios para redução por hidrólise dos ácidos hexenurônicos gerados no cozimento;
- Reciclo do filtrado alcalino do estágio EOP para a lavagem da polpa e ciclo de recuperação;
- Ênfase na alvura e sua estabilidade;
- Baixo consumo de água no branqueamento (cerca de 10 $m^3$/tsa), com crescente uso de água recuperada quente e de filtrados;
- Utilização de filtros de fibras para os efluentes do branqueamento, recuperando fibras valiosas e gerando um fluxo grande de efluente de baixos sólidos, sem necessidade de passar por um clarificador primário;
- Recuperação do calor dos efluentes do branqueamento, usando trocadores de calor. Com isso se reduz substancialmente a temperatura do efluente geral antes de seu tratamento biológico, sem necessidade de equipamentos para essa redução na estação de tratamento de efluentes;

## Área da recuperação do licor preto

- Uso de caldeiras de baixo odor e eficiente queima, com adequados sistemas de distribuição e exaustão de ar e gases;
- Evaporação do licor preto e da lama de cal a no mínimo 70 a 80% de sólidos secos;

- Não adotar a prática de purgar cinzas da caldeira de recuperação para os efluentes. Valer-se do sistema de solubilização e cristalização diferenciada para a remoção do cloreto prejudicial ao processo.
- Ter capacidade reserva de no mínimo 10% em termos de sólidos secos na evaporação e na caldeira de recuperação, para com isso poder absorver derrames e perdas de licor de processo e retidos pelo sistema de recuperação de perdas;
- Ter sistema de recuperação de metanol e usar o metanol como biocombustível;
- Ter eficiente sistema de "*stripping*" de condensados;
- Queimar gases não condensáveis na caldeira de recuperação, mantendo um incinerador cativo para se fazer isso quando for o caso de paradas da caldeira;
- Ter um eficiente sistema de coleta de emissões fugitivas de baixa concentração de todas as áreas da fábrica. Incinerar esses gases odorosos.
- Incinerar na caldeira de recuperação as emissões do tanque de dissolução do "*smelt*";
- Ter capacidade suficiente e câmara reserva para cada sistema de precipitador eletrostático, de forma a não se notar pluma de gases nas chaminés das caldeiras e forno de cal;
- Reusar os condensados da EVA pela caustificação e lavagem da polpa;
- Ter trocadores de calor para aproveitar o calor dos condensados quentes.

## Área da caldeira de força

- Queimar lodos da Estação de Tratamento de Efluentes na caldeira de biomassa;
- Ter biomassa a mais seca possível, obtendo-se isso pela gestão e proteção da mesma quanto ao umedecimento. Pode-se usar também prensa de casca para remover água da casca energética.

## Área da planta química

- Ter um sistema para recuperação do ácido sulfúrico presente na solução de sulfato de sódio gerado como residual, quando for o caso. Dessa forma se evita o consumo de soda cáustica para neutralização ou de álcali ativo do licor preto, se nele misturado no sistema de recuperação.
- Ter um sistema eficiente para resfriamento na geração da solução de dióxido de cloro;
- Não possuir um sistema de geração de dióxido de cloro que permita a presença de cloro elementar na solução;
- Desenvolver venda de hipoclorito de sódio, quando esse for gerado na planta.

## Área de secagem da celulose

- Segregar efluentes, não misturar o efluente da depuração hidrociclônica com águas limpas da máquina formadora;
- Recircular ao máximo a enorme quantidade de água que se gera nessa área pelo desaguamento e secagem da polpa;
- Recuperar as fibras boas que estão sendo perdidas e devolvê-las ao processo;
- Evitar drenagens e ter um tanque de refugos de tamanho adequado.

## Área da ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

- Segregar os efluentes na origem. Não misturar efluentes sujos com águas limpas, como águas de selagem, águas de unidades hidráulicas, água de refrigeração de turbina, água de purga de caldeiras, etc. Essas águas devem ser recicladas e não jogadas fora como efluentes.
- Desenvolver tratamentos diferenciados para efluentes contaminados e efluentes mais limpos. Averiguar o potencial de "*wetlands*" construídos para tratar naturalmente os efluentes de menor carga.

- Desenvolver uso para os lodos (compostagem ou queima);
- Ter estação de tratamento de efluentes no mínimo em estágio secundário. Se for o caso de se colocar um tratamento terciário com floculação seguido de decantação/flotação, instalar a seguir um sistema de filtração para os micro-flocos que seguem com o efluente.
- Ter fase anóxica no tratamento secundário biológico para favorecer a decomposição do clorato residual do efluente do branqueamento;
- Ter lagoa de segurança revestida com membrana e com capacidade para no mínimo 24 horas de operação. Essa lagoa deve ser utilizada somente para emergências de paradas da estação ou para derrames não retidos pelo sistema de recuperação de perdas (só em última instância).
- Não instalar de forma alguma torres de resfriamento que lancem neblina de efluente para a atmosfera. Isso tem sido uma prática absolutamente incompreensível por parte das equipes de engenharia de fábricas de celulose. Se tivermos que baixar a temperatura do efluente bruto para ser enviado ao tratamento biológico, vamos fazer isso baixando as temperaturas nas áreas de geração dos efluentes mais quentes, com trocadores de calor de placas.

## Área de resíduos sólidos

- Desenvolver especificações (para umidade principalmente) para cada resíduo sólido gerado pela fábrica;
- Otimizar prensagem dos lodos de forma a se ter maiores consistências possíveis. Valer-se do uso de serragem de madeira em mistura, se for o caso.
- Reduzir a geração de resíduos sólidos na sua origem;
- Segregar os resíduos sólidos. Tratá-los separadamente e encontrar utilizações internas ou externas à fábrica.
- Ter um aterro industrial com tamanho pequeno para forçar a gestão do resíduo para a não geração ou para a reciclagem.

## Outras melhores práticas gerais

- Segregar, segregar, segregar;
- Prevenir, prevenir, prevenir;
- Recuperar, recuperar, recuperar;
- Ter eficientes processos de redução de acúmulos de *pitch*, oxalatos, cloretos e potássio nos sistemas fabris;
- Trabalhar com baixos valores de AOX, DQO, cor e toxicidade nos efluentes da linha de fibras;
- Filtrar e recuperar águas sujas da estação de tratamento de água. Encontrar uso para o lodo dessa estação.
- Ter uma lagoa de água para receber e armazenar as águas limpas da fábrica (selagem, turbina, purga caldeira) e águas de chuva e esgoto pluvial. Essa água poderia ser enviada para a estação de tratamento de água e com isso se reduziria a captação no rio.
- Ter um supereficiente sistema de coleta de derrames ("*spills*"). Colocar grandes tanques para estocagem de derrames nas áreas como: caldeira de recuperação (água de lavagem da caldeira), caustificação, evaporação, digestão e lavagem.
- Não dar opção (não construir dutos) para geração de efluentes industriais nas seguintes áreas: digestor, lavagem, caustificação, planta química, caldeira de recuperação, caldeira de força. Forçar para que todos os derrames e até mesmo as águas de chuva nessas áreas sejam retidos pelo sistema de recuperação de perdas. O envio dos derrames para a estação de tratamento de efluentes deve ser a última das opções. Derrames devem ser sempre recuperados pelas áreas geradoras.
- Gerar no máximo 20 $m^3$ de efluente final/tsa;
- Ter eficiente automação para controle online;
- Usar combustíveis de baixo teor de enxofre e biocombustíveis renováveis.
- Reduzir ao máximo a geração de vapores nas chaminés da fábrica (máquina de secagem, torres de resfriamento de água quente de processo, etc.). Usar "*demisters*" (abatedores de neblina) onde for o caso, ou equipamentos que não gerem

neblina de vapor. Esse vapor dá uma péssima impressão aos que olham uma fábrica de celulose e não sabem que a maioria dessas fumaças trata-se apenas de vapor de água.

Amigos, com isso tudo implantado, poderemos nos aproximar muito mais de uma fábrica de mínimo impacto ambiental: sem cheiro, sem barulho, com mínima geração de resíduos e de efluentes, com ótima eficiência operacional e com pessoas felizes e orgulhosas trabalhando nela. Isso tudo é muito viável hoje em dia. Em alguns poucos anos mais, prometo-lhes que trarei uma nova listagem adequada em função das novas realidades tecnológicas. Isso tem sido a grande força motriz da humanidade: as mudanças, estimulando desafios audaciosos.

==========

## PROCESSOS TECNOLÓGICOS INDUSTRIAIS PARA CONVERSÃO DA MADEIRA DE EUCALIPTO EM CELULOSE KRAFT

Fábricas estado-da-arte tecnológico e sustentabilidade nas florestas, operações industriais e nos negócios

A fabricação de celulose kraft branqueada consiste de um conjunto conhecido e dominado de processos tecnológicos que são em geral supridos por um pequeno número de fornecedores de

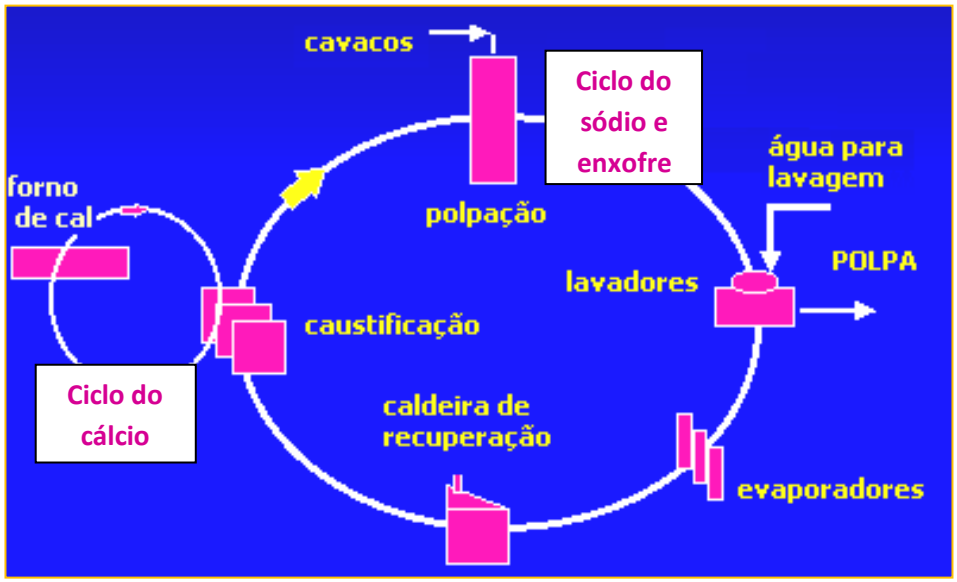
equipamentos e de tecnologias. Isso significa que as fábricas que são desenhadas e engenheiradas para esse tipo de produção podem ser consideradas universais - ou seja, podem ser facilmente accessíveis a qualquer investidor e serem construídas em quaisquer locais do planeta. Existe um sequenciamento lógico e conhecido de operações industriais que são divididas em quatro setores básicos e vitais: preparação dos cavacos, linha de fibras, recuperação do licor preto e gestão das chamadas utilidades (água, efluentes, resíduos e energia). Existe uma íntima relação entre todos esses setores e qualquer um deles tem o poder de comandar a operação da fábrica como um global. Isso significa que a fábrica pode interromper suas operações se ela não dispuser de energia, se o digestor parar de converter os cavacos em celulose, ou se a caldeira de recuperação tiver algum contratempo. Em geral, costuma-se dizer que o digestor e a caldeira de recuperação do licor são os corações das fábricas de celulose, mas tenho visto fábricas pararem de funcionar por um simples problema elétrico no tratamento de efluentes.

Para tornar as operações mais robustas e menos sensíveis a paradas gerais de operações, as fábricas costumam ter grandes estoques de produtos intermediários, como de toras e cavacos de madeira, de polpas não branqueadas e branqueadas, de licor preto concentrado, etc. Até mesmo enormes lagoas de emergência para conter efluentes são construídas, para que as fábricas não interrompam suas operações caso se tenha que fazer alguma manutenção na ETE – Estação de Tratamento de Efluentes. É claro que isso tudo acaba por exigir muitos investimentos em "estoques pulmões" e em aumento da necessidade de capital de giro. Entretanto, muito pior seria ter que parar a fábrica e arcar com as terríveis consequências financeiras e ambientais das paradas não programadas.

Parar a produção é o maior de todos os pecados para os fabricantes de celulose – a regra é produzir, mesmo que a qualidade seja um pouco prejudicada ou as emissões sejam pioradas. Essas concessões com qualidade e com o meio ambiente são comuns – mas existem limites: nem toda celulose desclassificada como de primeira qualidade tem mercado comprador e tampouco se deve agredir o ambiente em função da responsabilidade corporativa, da legislação e dos compromissos com as certificações tipo ISO 14001, etc.

Apesar da simplicidade conceitual, os processos de produção de celulose englobam praticamente todas as operações unitárias que um curioso engenheiro químico se interesse por conhecer. Os técnicos precisam ter domínio de praticamente todas as operações unitárias da indústria química, tais como: combustão, secagem, evaporação, destilação, precipitação, filtração, cristalização, digestão, extração, dissolução, flotação, eletrólise, etc., etc. Enfim, dispõe-se de uma universidade ou uma enciclopédia de engenharia química a disposição de quem trabalhar na área industrial da fábrica de celulose kraft.

Em termos químicos, costuma-se dizer que existem dois ciclos vitais que se interconectam no sistema kraft de produção de celulose: um está ligado à deslignificação da madeira e à produção de celulose não branqueada e de licor preto residual: é o ciclo do sódio e enxofre. O outro está relacionado à recuperação dos reagentes químicos contidos no licor, sendo responsável por transformar o licor preto de baixa atividade reativa em licor branco de alta atividade cáustica: é o ciclo do cálcio.



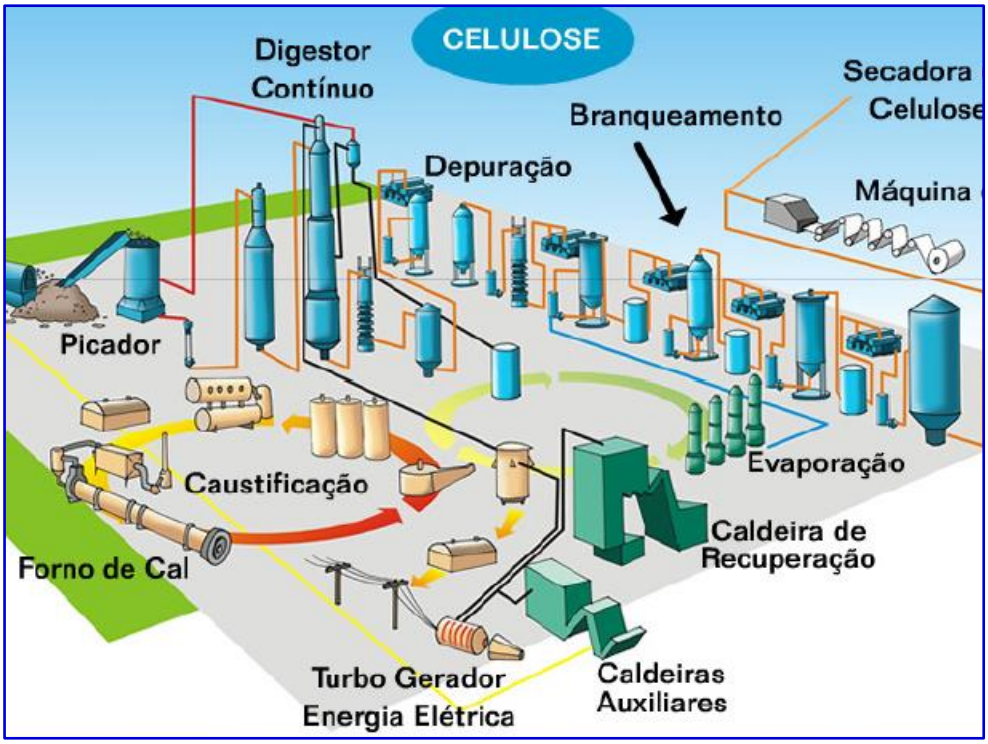

Fluxograma simplificado do processo kraft
Fonte: Adaptado de Umberto Klock, 2013

O desenho acima traduz toda a simplicidade conceitual do processo kraft: com dois ciclos químicos muito fechados e interconectados, consegue-se produzir celulose, recuperar os reagentes químicos e se gerar energia a partir da fração da madeira

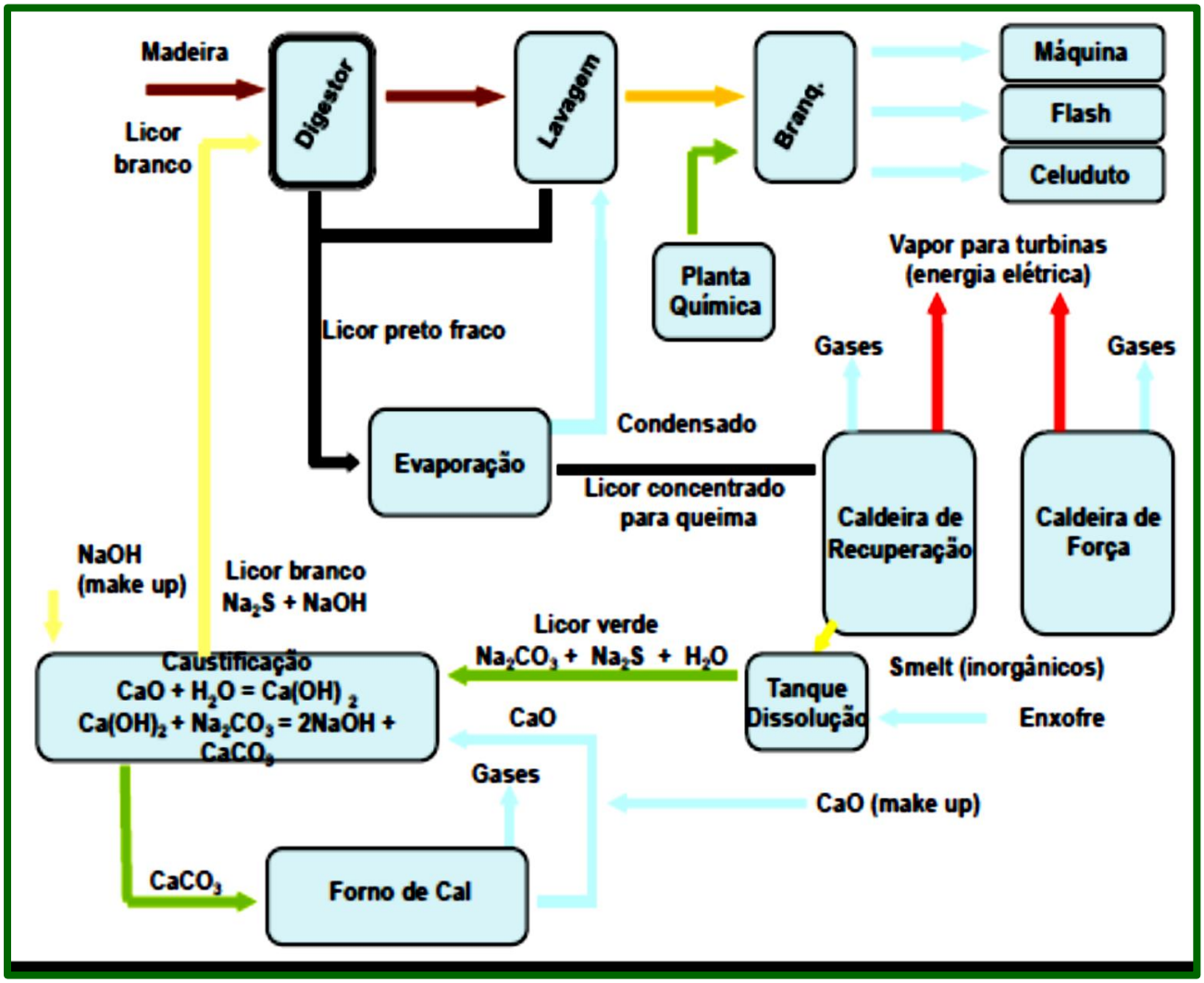
que foi solubilizada na digestão ou polpação dos cavacos. Foi principalmente por essa razão que o processo kraft se tornou vitorioso e hoje é dominante para se produzir celulose química. As demais operações e etapas tecnológicas podem ser comuns a outros processos de fabricação de celulose, como por exemplo, as etapas de branqueamento da celulose, formação e secagem da folha, tratamento de águas e efluentes, cogeração de eletricidade e vapor a partir de biomassa, etc.

A seguir, em algumas seções descritivas, procuraremos lhes mostrar as principais rotas industriais, os conceitos, as variáveis e os respectivos equipamentos utilizados ao longo desse tipo de industrialização. Como esse capítulo não tem a finalidade de ser um tratado tecnológico de alta profundidade, nos limitaremos a lhes explicar de forma objetiva e prática aquilo de relevante que acontece em uma fábrica de celulose kraft, mas também procuraremos esclarecer os porquês e os resultados de cada uma das etapas envolvidas.

Em termos gráficos, vamos lhes falar sobre cada um dos blocos mostrados nos desenhos a seguir e outros mais, apresentados suplementar e complementarmente:




Fluxograma esquemático da fabricação de celulose kraft branqueada (Suzano, antiga Conpacel)



Fluxograma da fabricação de celulose kraft branqueada na antiga Klabin Riocell

Então, mãos a obra – vamos navegar nesses setores todos e em outros mais.

==========

# PROCESSOS TECNOLÓGICOS INDUSTRIAIS
## PÁTIO DE MADEIRA E PRODUÇÃO DE CAVACOS

Toras de madeira de eucalipto – da floresta até a fábrica...

A maioria das fábricas de celulose de eucalipto traz toda ou parte da madeira na forma de toras descascadas para suas fábricas. Essas toras possuem comprimentos e umidades variadas, em função de tecnologias disponíveis e da gestão aplicada. As dimensões mais usuais estão para comprimentos entre 2 a 6 metros, diâmetros entre 5 a 35 cm e teores de umidade entre 20 a 50%. É comum que toras recém-abatidas fiquem por um período de 15 a 90 dias no campo, esperando que o teor de umidade diminua ou que a casca se solte, e com isso, facilitando o transporte (menos peso) e o descascamento quando realizado na fábrica.

Quando as toras chegam às fábricas, o destino mais frequente é a alimentação direta ao processo para converter as mesmas em cavacos. Entretanto, uma fração dessas toras é direcionada ao pátio de estocagem de toras, com a finalidade de "rodar" o estoque de madeira na forma de toras, que é mantido para casos emergenciais (greve de caminhoneiros, problemas climáticos, etc.). Se o estoque médio de toras for para 20 dias de funcionamento da fábrica, então 5% das cargas que chegam por dia devem ser enviadas para estocagem na forma de toras, para repor iguais 5% que devem ser removidos do estoque e picados: esse é o conceito, mas a aplicação é variável.

Estoques de toras em pátio de madeira

Antes de serem convertidas em cavacos, as toras precisam sofrer algumas operações, que em geral são as seguintes: seccionamento, descascamento, lavagem para remoção de contaminantes como restos de casca, resíduos florestais, terra, pedras, metais, etc.

O seccionamento é feito em geral para converter as toras longas que chegaram das florestas em toras menores (adequadas aos equipamentos que se seguirão) e aproveitar a serragem desse corte como biomassa energética na própria fábrica.

A maioria das toras costuma ter seu descascamento feito na própria floresta, ficando a casca disponibilizada para proteção do solo e ciclagem de seus nutrientes. Entretanto, se a fábrica demandar por alguma proporção de casca como combustível para geração de energia, as toras podem ser descascadas nas fábricas. Toras de eucalipto apresentam algumas características especiais quanto à liberação da casca. Para que a casca saia com facilidade, as toras

precisam ser descascadas no máximo em uma semana após a colheita, ou então só após 60 ou mais dias de secagem natural na floresta. Cada empresa adota suas estratégias a esse respeito em função das distâncias a percorrer para trazer as toras, quanto às condições de estocagem e logística, etc. Esse é um mundo complexo, gerador de custos e de problemas para as fases seguintes do processo industrial. Por isso, muita atenção é dada a esse descascamento e a equipe de gestão se preocupa para que ele seja efetuado em tempo hábil e com desempenhos adequados.

O principal tipo de descascador industrial é o de tambores – com operações a seco (com mínima adição de água – apenas para lubrificação da movimentação das toras). Trata-se de uma operação bruta e robusta, que envolve grandes impactos e estragos em toretes mais frágeis da madeira. Porém, é a forma mais econômica e rápida, por isso a preferência pelos descascadores a tambor.

Descascamento a seco de toras de madeira de eucalipto

A madeira descascada ainda possui muitos restos de casca que são removidos pela lavagem das toras. O objetivo da lavagem é limpar o melhor possível essas toras que irão alimentar os picadores para minimizar o envio de contaminantes (pedras e metais) que possam causar danos aos picadores e que possam interferir no desempenho da polpação e nas qualidades das celuloses (cascas, terra, etc.) a serem produzidas.

A picagem das toras consiste na conversão das mesmas em fragmentos pequenos denominados de cavacos. Isso é feito com a finalidade de aumentar a área de exposição da madeira aos reagentes químicos da polpação e se promover mais eficiente impregnação dos poros e paredes das células da madeira pelo licor de cozimento.

Cavacos de madeira de eucalipto

Pilha de cavacos

Os cavacos recém-picados ou os cavacos recolhidos das pilhas de cavacos passam a seguir por uma classificação em espécies de peneiras que visam selecionar os mesmos em função de suas dimensões principais: espessura e comprimento. Os cavacos sobre-espessos e os cavacos longos (tipo lascas de madeira), bem como pó, palitos e serragem de madeira, são separados e quase sempre utilizados como biomassa energética na caldeira de força.

Pilhas de cavacos e sistemas de peneiras para sua classificação, operação que em geral é feita antes ou depois da estocagem na pilha.

O processo kraft de produção de celulose se baseia em reações de dissolução dos agentes cimentantes das fibras. Para assegurar uma reação eficaz, eficiente e uniforme faz-se necessário que todos os elementos anatômicos da madeira sejam postos em contato com o licor de cozimento. Em resumo, a fase crítica e importante para o início da produção de celulose kraft é exatamente a entrada e ocupação da madeira pelo licor de cozimento.

O primeiro passo para se conseguir a entrada desse licor na madeira é aumentar a superfície de contato da madeira com o licor. Isso é conseguido pela transformação das toras de madeira em cavacos. Quanto menores forem os cavacos, maior a superfície para entrada do licor. Entretanto, a produção de cavacos de dimensões muito pequenas não é totalmente favorável, pois se gera muita serragem e "pó" de madeira, que são muito atacados pelo licor alcalino e se trazem muitos danos mecânicos às fibras. Material de dimensão muita pequena não é qualificado para a produção de celulose, pois consome muito licor alcalino, sofre extrema degradação

no digestor e, com isso, prejudica-se o rendimento na conversão em celulose. Por isso, os cavacos são em geral produzidos de forma a terem dimensões que minimizem a geração de serragem e de mini-cavaquinhos e também de cavacos espessos e de lascas de madeira. Objetiva-se um meio termo favorável ao processo. Quando os cavacos são adequadamente preparados e os operadores industriais cuidam para que isso aconteça, teremos conseguido cumprir bem uma importante etapa na produção de celulose kraft.

O objetivo é então se terem cavacos com qualidades uniformes de maneira a favorecer a penetração adequada do licor de cozimento dentro deles. É exatamente por essa razão que os cavacos são classificados antes de serem enviados para a polpação kraft subsequente.

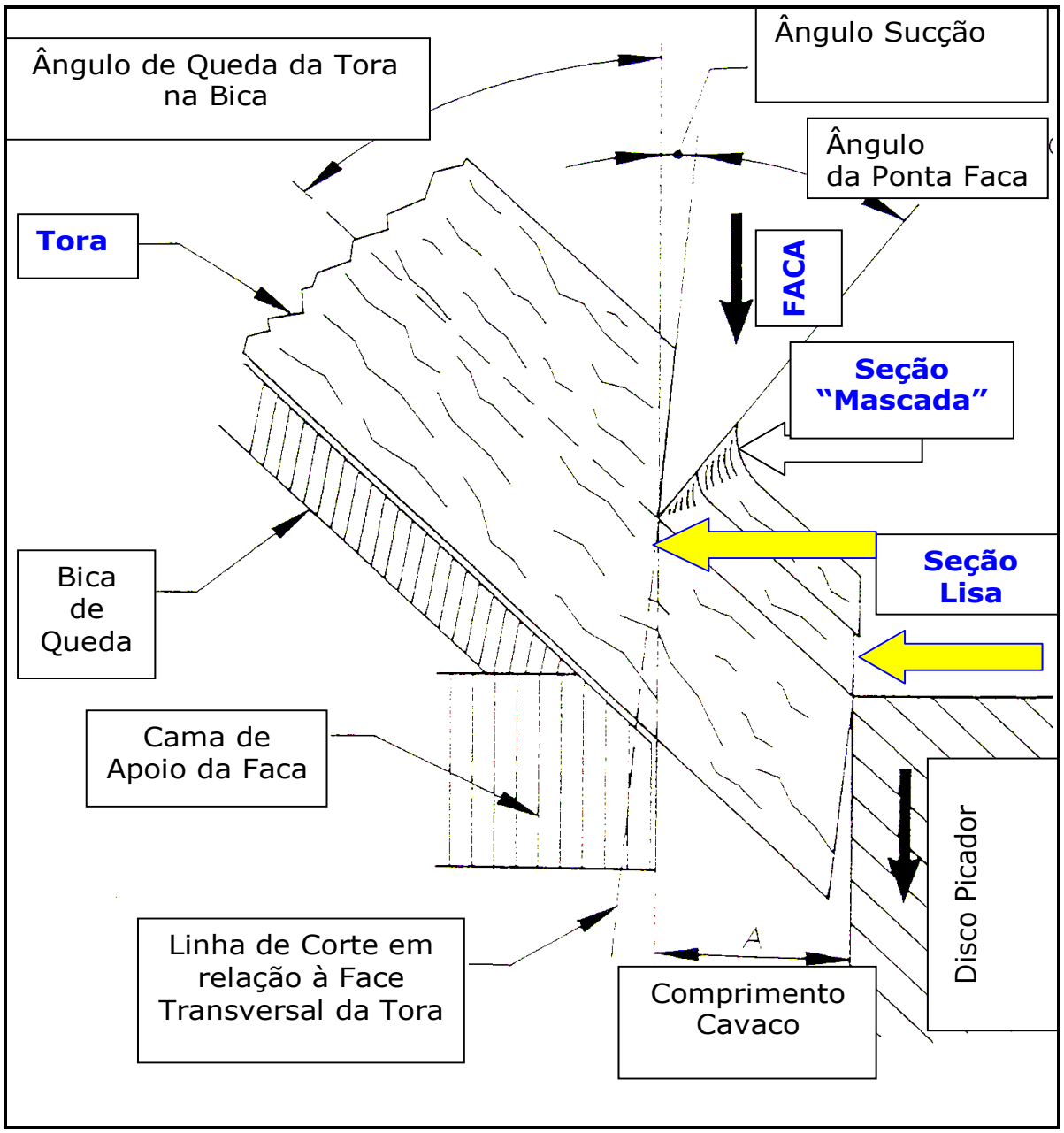
Qualquer procedimento que pretenda aperfeiçoar o cozimento kraft deve iniciar pela produção de cavacos adequados e pela otimização da impregnação dos mesmos pelo licor, caso contrário, estará navegando às cegas. Isso poderá ser acompanhado pelas quantidades de rejeitos gerados, pelas quantidades de aglomerados de fibras presentes nas polpas e pelas maiores exigências em reagentes químicos no branqueamento. Tudo isso reflete o fato de termos tido cozimento insuficiente para alguns ou muitos cavacos. Enquanto isso, outros cavacos poderão estar sobrecozidos. A polpa final até que poderá ter um número kappa médio relativamente constante, mas estará com enormes variações em suas fibras: algumas muito cozidas e outras pouquíssimo deslignificadas. O número kappa médio pode até ser aparentemente adequado, mas existirá uma enorme variação que se refletirá na performance da polpa logo a seguir no branqueamento. Polpas que branqueiam mal, consumindo muito cloro ativo, ou estão mal lavadas ou mal cozidas. Ou ambos, o mais comum.

A conversão das toras de madeira em cavacos é feita em picador industrial, que são equipamentos onde facas rotatórias cortam fatias dessas toras e as lançam internamente contra a carcaça metálica que recobre o disco que suporta o conjunto de facas. Os cavacos formados pelo impacto possuem entre 1,5 a 3 cm de comprimento e largura, sendo as espessuras variadas entre 1 a 8 mm. Os cavacos preferidos são os que possuem espessura entre 2 a 5 mm, e os acima de 8 mm são considerados sobre-espessos.

Pela brutalidade da operação, os cavacos industriais são ricos em microfissuras que são muito valiosas para a impregnação pelo licor. Quanto mais fissurado estiver o cavaco, desde que não existam danos às fibras, maior será a facilidade do licor entrar dentro dele e de expulsar o ar interno. Essas microfissuras são muito comuns na espessura dos cavacos, já que é nessa direção que os cavacos sofrem danos devido ao próprio desenho das facas e dos picadores.

A curiosidade maior é a forma como essa fatia é retirada. O topo dos cavacos é sempre a seção transversal da madeira, ou seja, onde está a máxima capilaridade para ser penetrada. Isso na parte de cima e de baixo do cavaco. Acontece que existem diferenças gritantes entre a parte de cima e de baixo dos cavacos, quando considerados como tendo seu eixo na direção das fibras da madeira. Tudo se relaciona ao desenho das facas, que possuem um lado plano e outro em ângulo. A fatia de madeira é empurrada contra esse ângulo e vai-se estilhaçando e se danificando com essa pressão. Essa seção de um lado de topo dos cavacos fica "mascada", com maiores danos que a outra seção, que se mantém mais lisa. No local onde o lado liso e plano da faca corta, a fatia fica bem lisa, quase sem danos mecânicos. Pelo que já vimos, fica claro que essa seção mais danificada tem maior capilaridade criada por danos mecânicos do que a seção absolutamente lisa. Logo, a seção lisa do topo dos cavacos tem penetração mais lenta do que a seção oposta mais danificada, com mais fissuras e fraturas. Isso apesar das duas corresponderem à seção transversal da madeira, com suas capilaridades anatômicas se oferecendo ao licor para que esse venha a impregná-las.

Observem o que dissemos na figura que está apresentada a seguir:



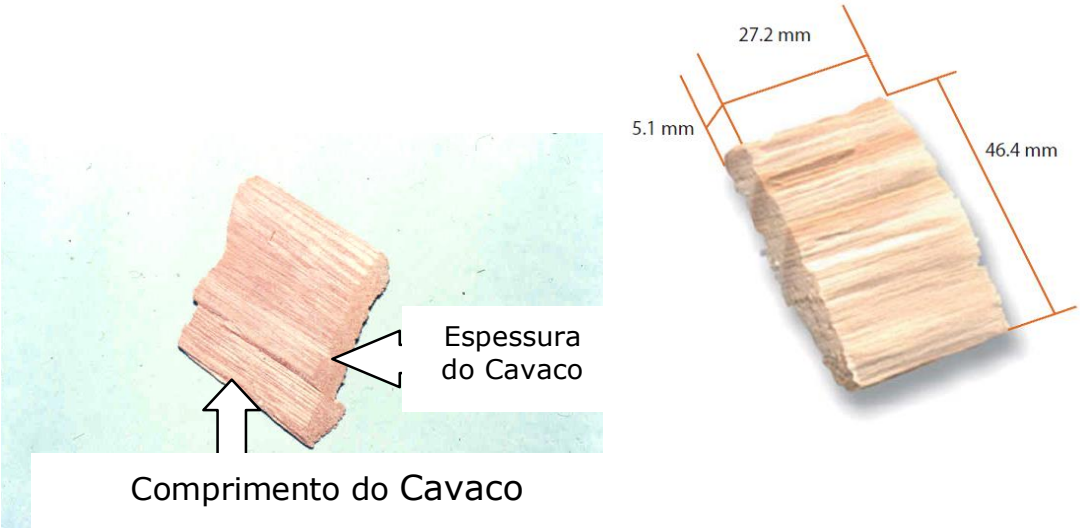

Corte do cavaco industrial mostrando que uma seção do topo dos cavacos ficará mais mascada que a outra que ficará mais lisa.
Fonte: Smith, 1998 – citado por Foelkel, 2009

Discos e facas do picador de toras

Lavagem de toras e bica de alimentação dos picadores

Fatia de madeira picada industrialmente mostrando a face lisa do corte

Mesma fatia de madeira cortada pelo picador antes de virar cavacos pela ação mecânica, mas vista do lado "mascado" e comprimido




Cavacos de madeira de eucalipto

Nas fábricas existe uma preocupação de se produzirem cavacos com espessuras variando entre 2 a no máximo 8 mm. Há uma

concordância técnica entre todos de que os cavacos muito finos (palitos, "pin chips" e serragem) não são muito desejados pelo excesso de danos mecânicos e maiores consumos de químicos ativos na polpação. Por outro lado, os cavacos sobre-espessos, mais espessos que 8 mm, são muito difíceis para serem impregnados e deslignificados, resultando em maiores teores de rejeitos incozidos.

Os cavacos muito espessos são causados por madeiras de muito alta densidade básica ou então por defeitos da madeira (nós, madeira doente, etc.). Podem ainda serem resultados da má performance do picador, da ponta da tora quando a mesma toma o primeiro impacto com a faca do picador (para picadores com alimentação inclinada) ou então de toras muito finas que não possuem peso suficiente para serem "sugadas" pela faca e se estilhaçam em lascas.

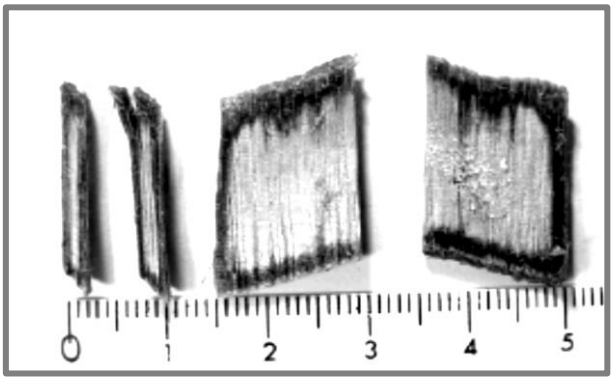
As madeiras mais densas resultam em geral a cavacos mais espessos, não temos dúvidas alguma sobre isso. Por essa razão, elas deveriam merecer picadores com ajustes de facas especiais para elas. Com a regulagem de facas para cavacos mais curtos, teremos cavacos menos espessos também. Algo muito simples, mas quase sempre esquecido nas fábricas. Com cavacos espessos, as dificuldades de impregnação serão inevitáveis. Aumentarão: o teor de rejeitos e o consumo de álcali efetivo. Reduzirá: o rendimento em conversão da madeira a celulose. Por isso, atentar para os ajustes do picador em função da densidade da madeira sendo consumida.

Infelizmente, nas fábricas não é muito comum o ajuste do comprimento dos cavacos em função da qualidade da madeira. Isso é feito só para situações mais extremas.

Os operadores dos picadores não são muito motivados a reduzir o comprimento dos cavacos porque podem perder produção e gastam mais energia para picar o mesmo comprimento linear de toras. Isso porque uma mesma tora terá que ser fatiada mais vezes quando convertida a cavacos de menor comprimento.

Acontece que o comprimento dos cavacos é a dimensão mais importante para a penetração do licor via diferencial de pressão. O licor penetra preferencialmente pela seção transversal da madeira e ela está nas duas extremidades do cavaco (em seu topo superior e inferior, quando olhado no sentido das fibras da madeira). A seção transversal é a seção de máxima capilaridade da madeira disponível para penetração. Nessa seção, temos entre 40 a 45% de porosidade

ou poros livres (lúmens) para penetração, muito maior que nas outras seções (tangencial e radial). É por isso que a penetração é tão rápida pelo topo e pela base dos cavacos.




Cavacos parcialmente penetrados pelo licor de cozimento.
Fonte: Inalbon et al., 2009 – citados por Foelkel, 2009

Quando a penetração deixar de ser importante e cessar, a impregnação só continuará acontecendo pela difusão. É nesse momento que a espessura dos cavacos ganha muita importância. As regiões do cavaco ainda não impregnadas terão que receber o licor via difusão, inclusive com a dissolução e posterior difusão de algum ar ocluso para a fase líquida. Como as velocidades de impregnação e difusão no sentido radial e tangencial são baixas, a menor dimensão agora e que se torna a mais importante é exatamente a espessura dos cavacos. Exatamente por ser a menor dimensão. Muito se fala na importância da espessura dos cavacos como sendo crítica para a impregnação. Acontece que tão importante como a espessura é exatamente o comprimento dos cavacos. Até mesmo porque elas são fortemente relacionadas como já vimos. Cavacos mais curtos e mais finos são definitivamente mais facilmente impregnados. Não há necessidade de muita sabedoria para enxergar isso.

Mesmo que os cavacos demandem mais energia e mais tempo de picagem para serem produzidos mais curtos (e mais finos como resultado imediato), isso é definitivamente favorável para o cozimento kraft, dentro de certos limites. Não estamos advogando produção de palitos. Apenas ao invés de cortar fatias de madeira com 2,6 mm para o comprimento de cavacos, fazer com 2,2 - por exemplo. Vale a pena se avaliar em termos de ganhos em redução de rejeitos, de aumento de rendimento, de produtividade do digestor, de número kappa, de consumo de químicos no branqueamento, etc., etc. Recomendo sempre esse tipo de avaliação tão simples. À vezes

um investimento no setor de preparação de cavacos se paga em pouquíssimo tempo pela alta taxa de retorno que possa apresentar. Muitas vezes, o operador dos picadores acredita que está fazendo uma economia de energia aumentando "um pouco" o tamanho dos cavacos, mas na realidade ele está trazendo inúmeros problemas para as áreas de processo seguintes.

As dimensões dos cavacos são controladas pelo operador dos picadores, mas também pelo estágio tecnológico dessas máquinas e pela qualidade da madeira. Investir na modernização dos equipamentos da área de preparo de madeira é infelizmente algo não muito comum nas fábricas existentes. Parece que todos os gestores estão sempre motivados a investir na modernização das caldeiras de recuperação, digestores, branqueamento, máquinas de secagem, etc. Fica então a missão aos picadores de continuar quebrando a madeira em pedaços, sem que as pessoas se apercebam que exatamente ali nos cavacos é que começa a polpação. Só pela redução do teor de rejeitos se pode aumentar o rendimento em cerca de 1 a 2% base madeira. Isso significa cerca do dobro base polpa.

Os cavacos mais adequados facilitam a penetração e a difusão do licor e conduzem a polpações mais seletivas e eficientes. Pena que muitos gestores teimam em não ver essas vantagens.

De qualquer maneira, mesmo que não consigamos modernizar nossos picadores e as áreas de seleção de cavacos, é importante manter o bom estado de manutenção, ajustes e ter controles em condições otimizadas. Da mesma forma deve-se agir em relação às peneiras que classificam os cavacos em relação às suas dimensões.

Então, nesse setor é preciso ter atenção para:

- Facas afiadas nos picadores;
- Contrafacas e blocos em bom estado;
- Adequados ângulos das facas;
- Diâmetros de toras relativamente selecionados para não se picar toras de diâmetros muito diferentes;
- Idem para a densidade básica da madeira;
- Idem para a umidade da madeira;

- Peneiras de classificação íntegras e sem furos;

- Alimentação adequada às peneiras para evitar transbordos e passagem de cavacos sem classificação para a etapa de polpação.

Os cavacos mais úmidos, que se originam de árvores com menor tempo pós-colheita, possuem maior facilidade de serem impregnados, apesar de menores velocidades de penetração de licor. Quanto mais úmido o cavaco, menor é a velocidade inicial de penetração do licor de cozimento. Esse excesso de água torna-se uma barreira à livre entrada do licor para dentro do cavaco. Entretanto, esses cavacos vão possuir muito menos ar em seu interior, que é mais rico em água da umidade. Por isso, mesmo com uma menor velocidade de penetração inicial, a penetração não é tão prejudicada, pois ela pode continuar por mais tempo, já que a contrapressão pelo ar interno é menor. Adicionalmente, a "madeira verde" favorece a difusão dos íons do licor de cozimento. Mais uma vez, é importante reforçar que o ar e não a água é a maior e pior barreira à impregnação dos cavacos. Por essa razão que é preferível se ter cavacos mais úmidos e com menos ar dentro deles, mesmo que a penetração inicial seja mais lenta.

Enfim amigos, a área de preparo da madeira é muito mais importante do que muitos técnicos das fábricas acreditam, Até mesmo porque ao olhar os cavacos, todos são muito parecidos, mas isso é só a aparência que nossos deficientes olhos humanos conseguem notar. Há muito mais a ser enxergado, pena que muitos não acreditam nisso.

==========

# PROCESSOS TECNOLÓGICOS INDUSTRIAIS
## LINHA DE FIBRAS KRAFT

Moderna linha de fibras pertencente à Fibria em Três Lagoas/MS
Fonte: Spectrum Andritz, 2009

As linhas de fibras carregam muito do charme das modernas fábricas de celulose kraft. Elas bem que merecem esse destaque, pois as atuais fábricas em estado-da-arte tecnológico apresentam magníficas sequências de operações nas mesmas, que englobam o recebimento dos cavacos pela área do digestor e seguem até a formação e armazenamento dos fardos de celulose de mercado. As recentemente instaladas linhas de fibra são bem diferentes das antigas, de poucas décadas atrás. Elas cresceram em dimensão, modernizaram-se e são atualmente muito mais eficientes e com impactos ambientais reduzidos e controlados.

Uma linha de fibras envolve um sequenciamento de operações que em caso de produção de polpa branqueada para venda no mercado consiste das seguintes etapas: polpação ou digestão, lavagem e depuração da polpa não branqueada, pré-branqueamento ou deslignificação com oxigênio, branqueamento, depuração da massa branqueada, formação e secagem da folha, enfardamento e estocagem.

A seguir algumas considerações sobre cada uma dessas etapas vitais:

## ♦ POLPAÇÃO KRAFT

O processo kraft se baseia na utilização de uma solução alcalina forte de soda cáustica, sulfeto de sódio e derivados com a finalidade de atacar e dissolver a lignina da madeira em vasos denominados digestores, em condições de temperatura e pressão controladas. Dá-se o nome de polpação, um neologismo derivado da palavra inglesa "*pulping*", ao processo de individualização dos elementos anatômicos da madeira (ou outro material vegetal fibroso), colocando-os na forma de uma massa úmida e fibrosa para que possa ser usada na fabricação do papel e de outros produtos.

As fibras celulósicas (ou polpa) podem ser purificadas, branqueadas, manipuladas e adequadas para serem convertidas em folhas de papel com especificações precisas e adequadas ao bom desempenho nos usuários. O papel então nada mais é do que a colocação das fibras e demais elementos anatômicos da madeira que foram individualizados pela polpação e modificados na fabricação do papel, na forma de uma folha.

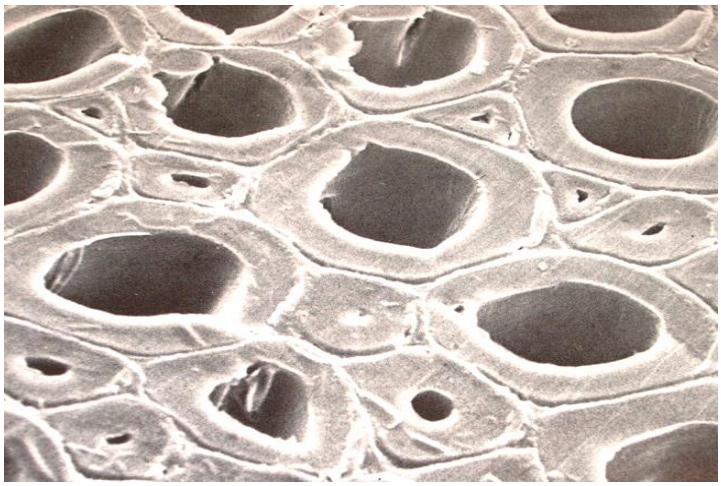
Para uma perfeita separação e individualização dos elementos anatômicos da madeira pelos processos químicos, é necessário que a lamela média seja quase que praticamente toda dissolvida ou

enfraquecida. A lamela média rica em lignina deverá então ter essa lignina degradada e plastificada, sendo assim enfraquecidas as forças de união fibra a fibra na madeira. Ao final do cozimento kraft, os constituintes anatômicos da madeira estarão praticamente soltos. Uma leve ação mecânica dessa suspensão aquosa já é suficiente para individualizá-los.

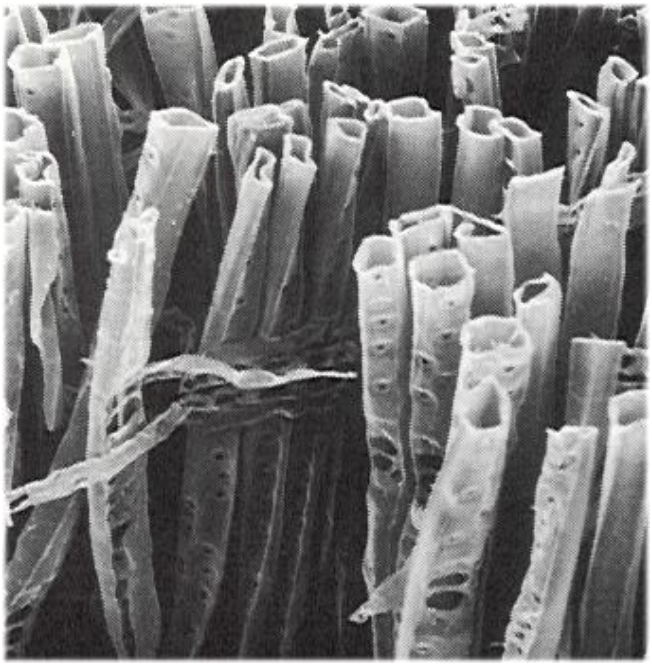
O processo químico ideal seria aquele que apresentasse altíssima seletividade (só removendo a lignina) e excepcional eficiência (praticamente todo o conteúdo de lignina). A remoção da lignina, na maior proporção possível, é necessária em caso da fabricação de polpas branqueadas. Isso porque os fragmentos residuais da lignina são cromóforos, possuem cor escura e escurecem ainda mais com o tempo, com a oxidação, com modificações na sua estrutura química, etc.

Infelizmente, a remoção completa e seletiva da lignina não consegue ser feita pelo processo kraft, por razões de sua baixa seletividade. O processo kraft tem maravilhosas vantagens energéticas e econômicas, mas carece de seletividade. Tampouco temos uma deslignificação uniforme. Muitas fibras ao final do cozimento ainda mostram resíduos de lamela média não dissolvida. Outras, não conseguem ser completamente individualizadas, formando grupos de fibras denominados de feixes ou "*shives*". Outros pedaços de madeira maiores (cavacos grandes) ou com madeiras anormais (nós de inserção de ramos) acabam sofrendo deslignificação parcial e se convertem em rejeitos incozidos na saída do digestor. Esses demandarão um recozimento ou algum outro reprocessamento ou disposição final.

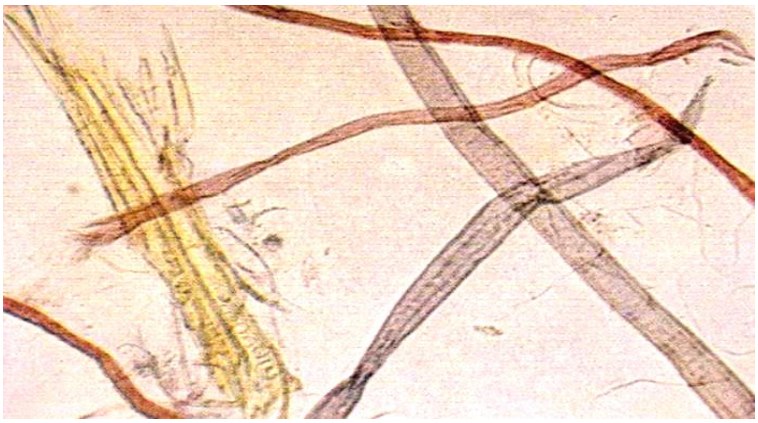
Rejeitos e palitos incozidos do cozimento kraft



Fibras da madeira a separar na polpação kraft

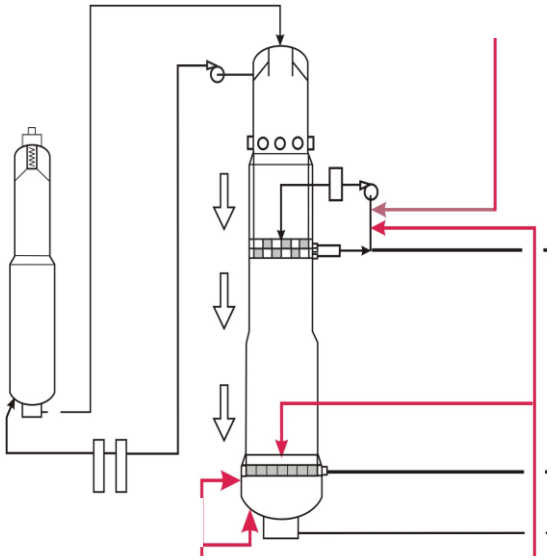


Fibras parcialmente individualizadas em cavaco semi-cozido



Fibras e feixes de constituintes anatômicos

Já que o processo de individualização das fibras exige a reação química do álcali ativo do licor com a lamela média da forma mais uniforme possível, torna-se fundamental que sejam postas juntas as partes interessadas (lamela média e licor de cozimento). Isso significa que quanto melhor for a impregnação dos cavacos pelo licor alcalino kraft, melhor a polpação. Mas não é apenas a entrada física do licor que é essencial. As condições de concentrações de álcali, temperatura e tempo de reação são também variáveis vitais nesse processo.



Digestor contínuo tipo Lo-solids
Fonte: Valdebenito, 2009 – citado por Foelkel, 2009

Os íons químicos ativos e dominantes no licor de cozimento kraft para produção de celulose são: $OH^-$ (hidroxila) e $HS^-$ ou $SH^-$ (hidrossulfeto - http://pt.wikipedia.org/wiki/Hidrossulfeto_de_s%C3%B3dio). Além deles, também existem outros íons não ativos em quantidades significativas: $[CO_3]^{2-}$, $Na^+$ e $S^{2-}$. O íon sulfeto $S^{2-}$, apesar de presente no licor, está sempre em processo de dissolução em condições alcalinas, gerando $OH^-$ e $HS^-$. O sulfeto em si não tem papel importante na deslignificação, apenas se constitui na fonte contínua de íons ativos capazes de atuar na deslignificação que são a hidroxila e o hidrossulfeto.

O processo kraft é um processo bastante popular, sendo responsável por mais de 95% de toda a produção mundial de celulose química. No caso da celulose de eucalipto, ele é o processo quase absoluto. Existe ainda uma tendência de o eucalipto ser utilizado

também com muito sucesso na fabricação de pastas de alto rendimento pelos processos CTMP (pasta quimotermomecânica) e APMP (pasta mecânica ao peróxido alcalino). Outro bem sucedido processo sendo utilizado para a madeira dos eucaliptos é uma variação do processo kraft que serve para a produção de polpas solúveis: processo pré-hidrólise kraft.

O sucesso do processo kraft se deve a alguns fatores imbatíveis para sua aplicação, quais sejam:

- Sua versatilidade - pode ser aplicado em praticamente qualquer material vegetal fibroso;

- A altíssima recuperação e de forma muito simples dos reagentes químicos;

- A etapa de recuperação é também fonte de geração térmica (biomassa combustível do licor preto residual do cozimento);

- Rápida e eficiente despolimerização e dissolução alcalina da lignina;

- A relativa estabilidade da celulose gerando fibras de boa qualidade;

- A fácil degradação dos extrativos da madeira;

- A possibilidade de se adotar processos de deslignificação modificados e estendidos, tanto em digestores contínuos, como em descontínuos - tipo "*batch*";

- A excelente qualidade da polpa produzida, o que lhe favorece inúmeras aplicações;

- A relativamente fácil e tecnologicamente viável branqueabilidade da polpa marrom, sendo possível levá-la a altíssimos graus de alvura.

Como desvantagens, o processo kraft apresenta as seguintes:

- Rendimento da conversão da madeira a celulose não é alto devido ao ataque aos carboidratos pelo licor de cozimento, fortemente alcalino;

- A tecnologia é capital intensiva e depende claramente da economia de escala;

- O odor gerado no processamento ainda não está completamente solucionado;

- As limitações na etapa de recuperação do licor são sempre obstáculos para o crescimento de produção em fábricas já instaladas.

As fábricas e os fabricantes de novas tecnologias estão sempre na busca de melhorar rendimentos e produtividades, em reduzir consumos específicos de madeira, em reduzir perdas e desperdícios, em otimizar os consumos energéticos (térmico e elétrico) e em melhorar a continuidade ou eficiência operacional.

Ganhar eficiência e reduzir custos na etapa de polpação kraft se consegue por:

- Aumento do rendimento da conversão da madeira em celulose - ou seja, para cada tonelada absolutamente seca de madeira se produzirá um maior peso seco de celulose, reduzindo então a quantidade de material da madeira que se dissolveria para o licor. As fábricas de celulose até o momento são fábricas de polpas fibrosas e não de licor preto para enviar para a evaporação e depois caldeira de recuperação.

- Redução do consumo de álcali ativo ou efetivo por tonelada de madeira (quantidade de licor branco necessário para a polpação);

- Redução do consumo específico de madeira, o que se consegue também por itens de qualidade da mesma;

- Redução do consumo de energia térmica (calor) ou elétrica (para movimentações e fluxos);

- Ganho de produção na linha de fibras em relação ao originalmente projetado;

- Ganho de eficiência ou continuidade operacional no setor de produção de celulose (digestores e equipamentos da área de polpa não branqueada).

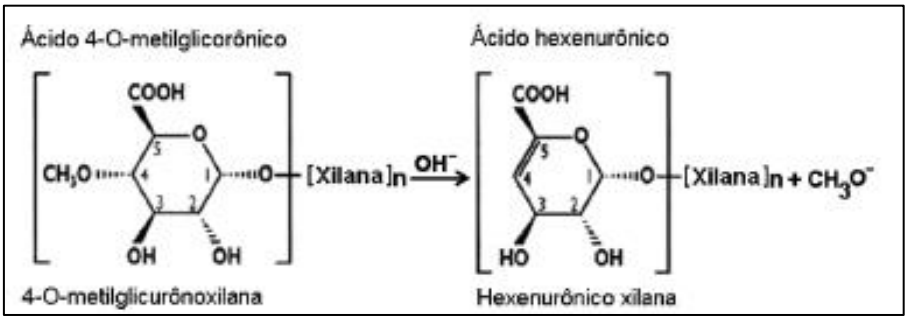
Tem havido muito esforço sendo alocado pelos tecnologistas do setor na tentativa de melhorar a química e a performance do processo kraft. Os ganhos até que têm sido modestos, apesar das enormes mudanças tecnológicas que o processo tem sofrido nos anos mais recentes. Em geral, as modificações conceituais em digestores kraft e na forma de cozinhar a madeira têm elevado o rendimento em algo como 2 a 5% base madeira. Ganhos modestos, pelo tanto que se pesquisou e se modificou. Por isso, faz-se necessário estudar ainda mais para manter o processo kraft vencedor e competitivo.

Os ganhos modestos no rendimento do processo podem até certo ponto ser explicados pela interação não tão favorável entre a química do processo kraft e a físico-química dos componentes da madeira. O licor kraft de cozimento é utilizado com a finalidade de deslignificar a madeira e promover a individualização das fibras. Entretanto, ele não é muito seletivo e causa sérios efeitos deletérios em inúmeras moléculas de carboidratos dessa madeira, em especial nas hemiceluloses. Seus íons químicos ativos, especialmente as hidroxilas, atacam carboidratos da parede celular do vegetal, modificando-os, fragmentando-os, despolimerizando-os e solubilizando-os. Uma das formas de se ganhar rendimento é exatamente pela maior proteção contra a degradação das hemiceluloses e da celulose, reduzindo a degradação que se dá principalmente através da despolimerização terminal conhecida como "reação de *peeling*". Ao mesmo tempo em que se protegem os carboidratos, devemos estar atentos para evitar a reprecipitação e condensação da lignina. Ou seja, temos tarefas altamente complicadas para serem ainda resolvidas pelos pesquisadores do processo kraft.

A soda cáustica, fonte principal das hidroxilas no processo kraft, é um reagente muito agressivo aos carboidratos da madeira, mesmo em condições de baixas temperaturas. Além disso, ela provoca o inchamento da parede celular, o que potencializa as reações de degradação por tornar os constituintes da parede celular ainda mais acessíveis. Por outro lado, também a lignina fica mais acessível pelo inchamento das paredes. Desafortunadamente, essas coisas acontecem concomitantemente. Da mesma forma que removemos lignina, estaremos removendo as moléculas de carboidratos mais sensíveis. Ainda, as mesmas condições que favorecem a reprecipitação de xilanas no cozimento, também são boas para a reprecipitação de lignina. Ou seja, é um quebra-cabeças difícil de ser montado e resolvido.

Outro problema descoberto há pouco mais de uma década é a formação de derivados das hemiceluloses durante a polpação kraft. São os famigerados ácidos hexenurônicos, que confundem as medições de lignina e contribuem para os valores analisados para o número kappa. Esses ácidos consomem produtos oxidantes, são difíceis de serem removidos da parede celular e contribuem para a reversão da alvura da celulose branqueada, em função de seu caráter cromóforo.

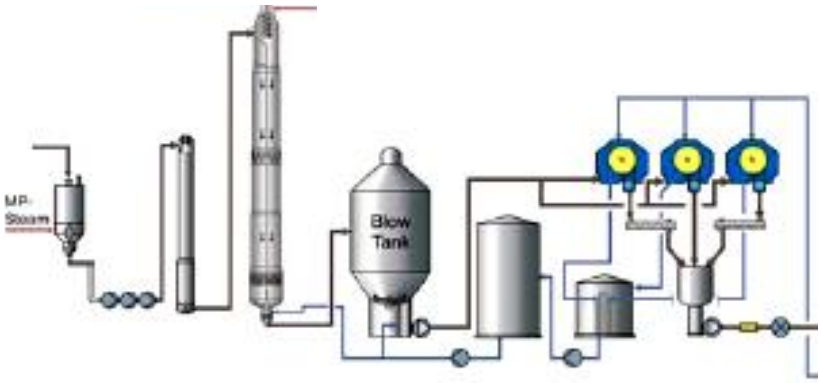
Os ácidos hexenurônicos são formados durante a polpação kraft pela modificação dos ácidos 4-O-metilglucurônicos, presentes nas xilanas, conforme abaixo:




Fonte: Ventorim e colaboradores, 2009

As condições de polpação que mais influenciam o conteúdo de ácidos hexenurônicos na polpa são álcali ativo, sulfidez e temperatura. A concentração de ácido hexenurônico em polpas e licores residuais kraft para diversas madeiras de folhosas depende de vários fatores, como tempo de cozimento, temperatura e carga de álcali. Dois mecanismos que afetam o decréscimo do teor de ácidos

hexenurônicos são: a hidrólise alcalina e consequente separação dos grupamentos de ácidos hexenurônicos das cadeias de xilana e a dissolução das xilanas, apesar disso provocar decréscimo no rendimento da polpação.




Cozimento Lo-Solids na fábrica de Botnia (atual UPM), Uruguai
Fonte: Saarela et al., 2008 – citados por Foelkel, 2009

A melhor maneira de melhorar o rendimento do processo kraft seria pelo bloqueio das reações de despolimerização terminal dos carboidratos, pela maior retenção de hemiceluloses e eventualmente, por alguma reprecipitação de xilanas ao término da polpação. Para que as hemiceluloses possam se reprecipitar sobre a polpa, elas não poderiam ser extraídas do digestor. Entretanto, os modernos digestores fazem exatamente isso: cuidam de extrair o licor preto residual de dentro do digestor para substitui-lo por licor menos concentrado, com maior habilidade de sugar para a fase líquida os compostos dissolvidos da madeira. Com essa técnica, favorece-se a difusão de substâncias orgânicas dissolvidas de dentro dos cavacos para a fase líquida do sistema (licor). Os processos que repartem a carga alcalina total e a adicionam fracionadamente ao longo do cozimento, ao mesmo tempo em que extraem licores concentrados em material orgânico e os substituem por outros menos, são denominados de processos alcalinos kraft modificados.

A missão dos tecnologistas tem sido buscar usar o licor preto extraído e rico em compostos dissolvidos da madeira para a etapa de impregnação dos cavacos. Isso tem permitido se usar a alcalinidade residual ainda presente no licor preto, especialmente seus íons hidrossulfeto (abundantes) e hidroxilas (menos abundantes). Os $HS^-$ são catalisadores das reações alcalinas e são considerados

"protetores" dos carboidratos, sendo a causa do sucesso do processo kraft em relação ao processo soda (que não os dispõe em sua química). Mesmo que fragmentos maiores de xilanas venham a se reprecipitar nessa fase de impregnação dos cavacos, restará aos pesquisadores descobrir formas de evitar que esses fragmentos sejam removidos pelo cozimento kraft subsequente à impregnação. Algo nada fácil, concordam?

Os pesquisadores têm procurado se valer de outros compostos protetores, tais como: surfactantes, antraquinonas, boridreto, polissulfetos, etc.. O objetivo está sempre concentrado na prevenção da remoção de hemiceluloses (em especial xilanas) e de glucanas (da celulose) da polpa. Com isso, aumentariam a efetividade e a seletividade da polpação kraft. Existem bons resultados reportados pelas pesquisas, mas em termos positivos e industriais, apenas a antraquinona tem tido relativo sucesso.

Atualmente, os pesquisadores e os engenheiros desenvolvedores de tecnologias estão buscando otimizar as adições de licor branco virgem, as concentrações alcalinas e as temperaturas de cozimento, visando tornar maior a remoção de lignina e menor a remoção de carboidratos (seletividade do cozimento). Buscam dominar mais o processo de deslignificação sem impactar tanto sobre os carboidratos. Busca-se na verdade, dominar o processo de "*bulk delignification*" (deslignificação massiva ou principal da lignina), minimizando o impacto nos carboidratos nas demais fases da polpação.

Mais recentemente, com o desenvolvimento dos diversos conceitos de biorrefinarias, tem sido trabalhado para que se possam remover as hemiceluloses de maior peso molecular do licor preto residual para se devolvê-las à polpa kraft em alguma fase na linha de fibras. A mais provável etapa capaz de promover a reprecipitação de lignina sobre as fibras tem sido a deslignificação com oxigênio, que tem condições de temperatura e de alcalinidade muito favoráveis para que isso possa acontecer.

Do ponto de vista físico químico, o processo de polpação kraft pode ser considerado como um conjunto dinâmico de coisas acontecendo de forma até mesmo caótica e sem um ordenamento estanque, como por exemplo:

- ♣ Penetração do licor para o interior dos cavacos;
- ♣ Difusão dos íons ativos de cozimento para as frentes de reações com os constituintes da madeira que precisam ser dissolvidos;
- ♣ Reações químicas entre os íons ativos do licor e os componentes químicos da madeira;
- ♣ Difusão dos produtos resultantes das reações para o exterior dos cavacos;
- ♣ Continuidade das reações na fase líquida;
- ♣ Desfibramento mecânico final para a individualização dos constituintes anatômicos;
- ♣ Separação das fibras e demais constituintes anatômicos individualizados do licor residual e das impurezas (depuração e lavagem).

Por outro lado, o processo alcalino kraft tem sido dividido tecnicamente em cinco etapas magnas:

1. Impregnação dos cavacos a mais baixas temperaturas (100 a 110ºC), mas que já consome cerca de 15 a 25% do álcali efetivo em reações de neutralização dos grupos ácidos da madeira

(grupos acetila e grupos urônicos). O consumo é basicamente de soda cáustica.

2. Aumento da temperatura até se atingirem temperaturas de maiores velocidades de remoção de lignina (para se dar início à fase seguinte de "*bulk delignification*" ou deslignificação principal). Nessa fase de aumento de temperatura até 140 a 145ºC se consomem adicionais 20 a 30% do álcali efetivo para degradar carboidratos, extrativos e alguma lignina.

   Portanto, só para impregnar os cavacos e para elevar a temperatura dos mesmos até a temperatura inicial de deslignificação massiva ou principal da lignina (140 – 145ºC), já se consomem cerca de 45 - 50% do álcali efetivo e se removem cerca de 25% do peso seco da madeira. Essas reações de degradação de carboidratos nessa fase 2 se caracterizam por reações de dissolução de ramificações das hemiceluloses e de despolimerização terminal, tanto de hemiceluloses como de celulose.

3. Fase de deslignificação principal ou massiva ("*bulk delignification*"), que corresponde ao início do que se chama de tempo de cozimento na máxima temperatura. Aqui se dá a maior remoção de lignina da madeira.

4. Fase de deslignificação residual (fase final do cozimento), que se caracteriza por baixa remoção de lignina dos cavacos, mas que é necessária para permitir a mais fácil individualização das fibras, especialmente aquelas de cavacos que foram mal impregnados anteriormente. As perdas de rendimento continuam por despolimerização terminal das cadeias principais ("*backbones*") de carboidratos.

5. Interrupção da polpação: depende muito do tipo de produto que se está produzindo e outras vezes, das limitações que o fabricante tem como gargalos em sua fábrica. No caso dos eucaliptos, o processo kraft é basicamente utilizado para a produção de polpa a ser branqueada. Isso significa que a polpa deve conter baixo teor de lignina residual para não consumir demasiadamente os reagentes oxidantes e caros de branqueamento. Entretanto,

conduzir a polpação kraft nos digestores para níveis exageradamente baixos (número kappa abaixo de 15, por exemplo, para os eucaliptos brasileiros) pode resultar em perdas sérias de rendimento da polpação. Esses níveis de número kappa baixos só se justificam quando a polpa tem enorme facilidade de deslignificação (baixo teor de lignina e alta relação S/G – siringila/guaiacila). É o conhecido caso da madeira do *Eucalyptus globulus*.

Quando a polpação kraft da madeira do eucalipto é conduzida de forma a resultar em números kappa entre 15 a 20, a separação final das fibras é obtida com muito leve ação mecânica. A própria remoção dos cavacos cozidos de dentro do digestor e seu bombeamento a média ou baixa consistência já são suficientes para essa individualização.

O nível ideal de cozimento é em geral definido caso-a-caso, dependendo muito da madeira usada, da tecnologia disponível e dos gargalos operacionais do processo, tais como: qualidade dos cavacos, disponibilidade de licor branco, disponibilidade de reagentes químicos para o branqueamento, quantidade de rejeitos formados, etc., etc.

Parte do sucesso dos processos e digestores atuais se deve às melhores condições na etapa de impregnação dos cavacos. Também se deve à difusão dos fragmentos de compostos dissolvidos da madeira para fora da estrutura dos cavacos, em contra fluxo com os íons ativos de cozimento que continuam a penetrá-los. O transporte e remoção desses fragmentos dissolvidos de constituintes da madeira são feitos com trocas de licores de cozimento.

Tudo indica que as velocidades de difusão dos íons ativos para o interior dos cavacos e a saída de constituintes dissolvidos de

madeira (também por difusão) são mais vagarosas que as reações químicas que ocorrem (rapidíssimas). Isso é muito importante conhecer. O processo é definitivamente dinâmico. Isso precisa ser levado em conta nas otimizações e modelagens.

Hoje, acredita-se que:

- Os cavacos devem estar impregnados o máximo possível antes de se elevar a temperatura para atingir a fase de deslignificação principal ou massiva. Inclusive, deve-se evitar ter cavacos mal impregnados em temperaturas de cozimento acima de 140ºC.

- As baixas temperaturas e a boa impregnação favorecem a etapa de "*bulk delignification*" e a seletividade da polpação. Boa seletividade significa maior deslignificação com menor degradação de carboidratos. Pode ser medida tanto pela relação rendimento depurado/número kappa ou viscosidade da polpa/número kappa.

- A concentração alcalina deve ser mantida relativamente nivelada ao longo das diversas fases do cozimento. Isso se consegue fracionando as entradas de álcali no sistema, não se colocando todo de uma única vez no começo do cozimento, como era feito no passado.

- A concentração elevada de íons hidrossulfeto deve ser perseguida para prevenir a degradação mais intensa dos carboidratos, especialmente nas fases iniciais do cozimento. Em parte, isso se consegue trabalhando com mais alta sulfidez e também pela impregnação dos cavacos com uso de licor preto contendo constituintes dissolvidos de madeira e alta concentração de íons $HS^-$. O uso de licor verde na impregnação dos cavacos foi intensamente estudado para fazer essa função, mas nunca conseguiu se firmar como uma operação industrial de sucesso. Talvez porque as fábricas sempre possuem limitações em suas áreas de caustificação e forno de cal. Ou ainda, por ineficiências na filtração desse licor verde.

- As concentrações do íon hidroxila devem ser mantidas mais ou menos uniformes ao longo do cozimento, mas com uma concentração tal no licor que mantenha rápida a entrada desse

íon para o interior dos cavacos pelo fenômeno de difusão (que é fortemente dependente das diferenças de concentrações).

- As concentrações de íons sódio e de fragmentos de lignina devem ser continuamente reduzidas por trocas de licor, para favorecer a migração de lignina fragmentada para fora dos cavacos ao longo do processo de cozimento.

- A temperatura do cozimento, em todas as suas fases deve ser a mais baixa possível, sem prejudicar o tempo de cozimento e a produtividade, em função das dimensões dos equipamentos desenhados e em uso na fábrica.

A quantidade de álcali ativo e/ou efetivo consumido ao longo do processo vai depender de:

- Madeira: em termos de sua constituição química, densidade básica, etc.;

- Dimensões e qualidade dos cavacos;

- Qualidade da impregnação dos cavacos;

- Temperatura máxima de cozimento (para baixas temperaturas em geral se demandam mais altas cargas alcalinas para evitar que o tempo de cozimento se torne demasiadamente longo. Uma desvantagem importante, pois representa mais investimentos no setor de preparação de licor branco);

- Grau de deslignificação almejado (número kappa objetivado);

- Interação entre as variáveis chaves do processo (tempo, temperatura, carga alcalina, sulfidez, etc.).

A quantidade de álcali efetivo base madeira afeta tanto o rendimento como a qualidade da polpa. Também afeta a economicidade do processo, as dimensões das unidades de recuperação de licor (caldeira de recuperação para queimar sólidos secos, forno de cal, caustificadores). Portanto, não basta apenas se baixar a temperatura, pois em uma fábrica existente as demandas e ofertas de álcali podem ser críticas. A fábrica pode perder produção

se quiser baixar mais do que pode a temperatura de cozimento, sem ter a requerida quantidade de álcali para compensar isso.

O álcali efetivo é consumido por reações com:

- extrativos da madeira;
- "acidez" natural da madeira, causada pelos grupos ácidos das ramificações das hemiceluloses (acetila e grupos urônicos);
- degradação das hemiceluloses por despolimerização da cadeia principal;
- despolimerização terminal das moléculas de celulose;
- degradação da lignina;
- reação de carbonatação das hidroxilas pela presença de moléculas de dióxido de carbono (toda degradação de matéria orgânica leva à formação de gás carbônico em sua fase terminal);
- adsorção às fibras da polpa.

As xilanas do eucalipto (*O*-Acetil-4-*O*-Metilglucurono-Xilana ou Acetato de 4-O Metil-Glucurono-Xilana) são as mais importantes hemiceluloses das suas madeiras. Elas são muito sensíveis à degradação pelo licor de cozimento kraft. As xilanas podem representar 18% a 25% da madeira do eucalipto, especialmente quando se somam os grupos acetila e metil glucurônicos. Somente a remoção dos grupos acetila e metil glucurônicos podem representar perda de peso da madeira de 4 a 6%. Infelizmente, isso é praticamente inevitável - pela tecnologia kraft de hoje, são perdas irreversíveis essas das acetilas, principalmente. Resta aos pesquisadores encontrar então mecanismos para tentar estabilizar e impedir a degradação da cadeia principal da xilana do eucalipto (seu "*backbone"* – ou espinha dorsal)

As novas tendências em termos de cozimento kraft têm buscado atuar em otimizações e modificações processuais. As principais alterações que têm sido adotadas são as seguintes:

- mais eficiente remoção do ar de dentro dos cavacos;
- mais efetiva impregnação dos cavacos;
- abaixamento das temperaturas de cozimento na fase de "*bulk delignification*";
- abaixamento das pressões hidrostáticas (tanto pela redução da pressão aplicada ao topo dos digestores como pela redução em altura dos digestores que hoje são menos esbeltos e mais encorpados);
- redução do ciclo do cozimento pelo aumento da carga alcalina;
- redistribuições das cargas alcalinas e otimização das mesmas em função das matérias-primas utilizadas.

Essas tendências estão sendo contempladas nos mais recentes desenvolvimentos de digestores apresentados pelos líderes na fabricação e desenvolvimento de tecnologias para o processo kraft de polpação, como por exemplo:

- Cozimento "Compact Cooking" (Metso, ex-Kvaerner);
- Cozimento "Kobudo Mari" (representação Metso);
- Cozimento "Lo Solids" (Andritz);
- Cozimentos "*Super Batch*" e "*Rapid Displacement Heating (RDH)"* – menos populares para os eucaliptos.

Essas novas tecnologias têm conseguido aumentar a seletividade do cozimento kraft para os eucaliptos, melhorando a remoção de lignina e oferecendo polpas não branqueadas praticamente "isentas" de rejeitos de cozimento (incozidos) e com pouquíssimos palitos ("*shives*"). Apesar disso, como já mencionado, os ganhos até que foram modestos pelos enormes esforços colocados

por tantos pesquisadores, tanto em laboratórios, protótipos e instalações industriais. Mas existe ainda espaço para mais a se fazer, todos acreditam nisso. Por isso, há muita gente se esforçando para encontrar novos caminhos para a tecnologia kraft, pois essa é ainda considerada como a melhor das alternativas tecnológicas disponíveis para se produzir celulose.

A associação da polpação kraft a algum tipo de produção de biocombustíveis ou biomateriais nas chamadas biorrefinarias integradas pode acabar transformando esse limão em limonada – ou seja, o que hoje é considerado "perdido" para o licor preto para ir arder na fornalha da caldeira pode até mesmo ser extraído e purificado, atingindo valores expressivos em outros tipos de negócios e mercados.

## ♦ LAVAGEM E DEPURAÇÃO DA MASSA NÃO BRANQUEADA

Peneira de cesto para depuração de massa marrom

Filtros lavadores de concepção antiga – abertos e sem pressurização (apenas se valendo de perna barométrica)

A polpa que sai do digestor está bastante contaminada por licor preto e por grupos de fibras que não se separaram por completo (palitos, rejeitos e feixes). Para que essa polpa possa ser enviada às etapas seguintes de pré-branqueamento com oxigênio e branqueamento propriamente dito, ela precisa ter esses contaminantes removidos o máximo possível.

A lavagem da massa ocorre desde o interior do digestor, quando se procura trocar o licor preto ricamente contaminando por filtrados sujos, mas menos contaminados e originados pela lavagem da polpa externamente ao digestor. Depois da descarga do digestor,

a lavagem continua, com sucessivos difusores, filtros ou prensas lavadoras. O fluxo de polpa ocorre em fluxo contrário aos das águas de lavagem. Logo, a operação de lavagem se dá em contracorrente, o que significa que a celulose segue um fluxo e os licores e filtrados de lavagem caminham em fluxo oposto. Com essa técnica, a água mais limpa, em geral "condensados limpos" originados do setor de evaporação do licor preto, é adicionada no final do processo de lavagem e as etapas intermediárias são lavadas com filtrados que ao caminhar em contra fluxo vão-se enriquecendo de licor preto. Quando esses filtrados de lavagem saem enriquecidos em material orgânico e em sais de sódio de dentro do digestor, após percorrerem todo o circuito de lavagem da massa recebem a denominação de licor preto fraco.

O objetivo da lavagem é oferecer ao branqueamento uma massa com mínimas perdas alcalina e orgânica, ou seja, com o mínimo arraste de sódio e de material orgânico. Isso porque todo o material que for para o branqueamento acabará sendo destinado aos efluentes do branqueamento, seja em fases alcalinas ou ácidas. Sódio perdido é sódio a ser reposto depois para a geração do licor branco e dos químicos de polpação. Licor preto perdido significa aumento de poluição orgânica a tratar, aumento de geração de lodos e mais custos e menos ecoeficiência.

A depuração é a operação que visa remover sujeiras sólidas, em geral por fracionamento por dimensões (peneiras) ou densidades (hidrociclones).

Dentre esses contaminantes da polpa podemos citar:

- Rejeitos incozidos do cozimento;
- Palitos e feixes incozidos do cozimento;
- Terra, areia, partículas metálicas, etc.;
- Aglomerações de "*pitch*";
- Carvãoezinhos, plásticos, etc.

As seções de lavagem e depuração quase sempre operam sobrecarregadas, e por isso mesmo, em consistências e fluxos inadequados - os gestores e técnicos deveriam colocar mais atenção sobre elas, uma vez que impactam muito nos consumos de químicos

e energia nas etapas seguintes de deslignificação com oxigênio e do branqueamento.

Outro fator crítico é a qualidade dos condensados utilizados como fonte de água de lavagem. Não se pode lavar uma polpa com água suja, muito contaminada. Sempre digo que o máximo que podemos obter ao se lavar uma polpa seria a troca completa da água suja que ela contenha pela nova água usada para se lavar a mesma. Se a água de lavagem não for adequada, a lavagem com certeza será ineficiente.

Obviamente, as operações de depuração e lavagem podem ter efeitos importantes sobre custos e qualidades das polpas. Dentre essas qualidades podem ser citadas algumas críticas como: nível de alvura e reversão da mesma, teor de sujeira da polpa, viscosidade da polpa branqueada, teor de sais minerais, teor de extrativos, etc.

Enfim amigos, a lavagem da polpa e sua depuração eficiente são etapas muito mais importantes do que muitos acreditam serem. A principal causa para o inadequado desempenho dessas operações consiste em se trabalhar com elas em níveis de fluxo acima das capacidades desenhadas pelos projetos. Quase sempre as empresas se modernizam e fazem aumentos de produção nos digestores e nas caldeiras de recuperação, mas sempre deixam a lavagem e depuração para receberem modernizações no futuro, o que usualmente acaba por não acontecer.

## ♦ PRÉ-BRANQUEAMENTO OU DESLIGNIFICAÇÃO COM OXIGÊNIO

A massa não branqueada muito bem lavada e com o menor arraste possível de material orgânico ("*carry-over*") é encaminhada para um ou dois reatores sequenciais onde será oxidada por oxigênio em condições alcalinas e em temperaturas próximas a 100ºC. Essa etapa permite que aproximadamente 30 a 50% da lignina que deixou o digestor ainda unida às fibras de celulose possa ser removida de forma mais seletiva, daí o termo usado de deslignificação.

A deslignificação com oxigênio, também conhecida como pré-branqueamento com oxigênio, traz uma série de vantagens ambientais e econômicas para a fábrica de celulose kraft, tais como:

- ✓ Redução do número kappa por remoção de parte da lignina ainda presente na polpa;

- ✓ Redução dos teores de feixes de fibras e de extrativos contaminantes da polpa não branqueada;

- ✓ Redução das cargas de químicos e de águas a serem utilizadas no branqueamento subsequente;

- ✓ Redução da poluição orgânica e iônica do branqueamento da celulose, já que serão menores as quantidades de lignina a serem extraídas;

- ✓ Redução da geração de lodos orgânicos na ETE;

- ✓ Consiste em um ponto de reposição de sódio ao sistema, apesar de em muitos casos ela ser realizada com uso de licor branco oxidado (quando não se necessita dessa reposição como soda cáustica);

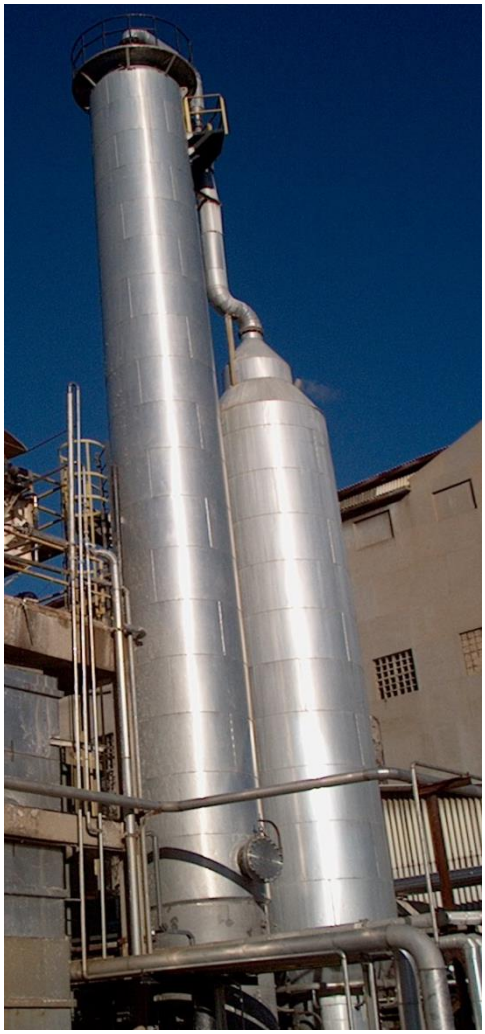
- ✓ Recuperação da soda cáustica utilizada e do material orgânico dissolvido pelos reatores de deslignificação, pelo envio do filtrado da sua lavagem para o sistema de lavagem contracorrente da polpa não branqueada - e depois para a evaporação e caldeira de recuperação;

- ✓ Melhoria nas qualidades da polpa branqueada, já que as agressividades do cozimento e do branqueamento serão minoradas.

As adições totais de oxigênio e de soda cáustica variam em função do número de reatores, do número kappa inicial da polpa e da agressividade que se queira dar ao processo. Em geral, as adições de soda cáustica e de oxigênio variam entre 15 a 30 kg/tsa para cada um.

Existem muitos questionamentos sobre a forma de se executar essa deslignificação se com um ou dois reatores. A maioria dos estudos revela que a segunda etapa de oxidação tem pouca ação sobre o número kappa ou sobre o teor de lignina residual na polpa. Entretanto, em diversas situações se ganha alguma coisa em alvura e em redução do teor de feixes de fibras. Porém, como não poderia deixar de ser, perde-se um pouco mais de rendimento. Em resumo, os debates são acalorados, mas definitivamente, a maioria dos trabalhos de pesquisa aplicada não indica necessidade de um segundo reator.

Algumas empresas fabricantes de equipamentos e desenvolvedoras de tecnologia kraft insistem na deslignificação com dois reatores de oxigênio para permitir que se termine a polpação no digestor em níveis mais altos de número kappa (entre 18 a 20). Pelo fato da deslignificação com oxigênio ser mais seletiva que o cozimento kraft, pode-se cozinhar menos no digestor e se continuar a deslignificação de forma menos agressiva nos reatores com oxigênio. Faz sentido, mas cada caso é um caso – depende muito da concepção da fábrica, da madeira e das condições operacionais aplicadas.



Reator de deslignificação com oxigênio
Fontes: Cambará S/A (esquerda) e Celulose Riograndense (direita)

Após a deslignificação, a polpa deverá ser muito bem lavada para poder entrar no branqueamento com o mínimo de arraste de sódio, material orgânico e impurezas contaminantes.

Apesar das inúmeras vantagens que a deslignificação com oxigênio oportuniza, ela é inócua aos ácidos hexenurônicos formados

durante a polpação da madeira e que irão consumir reagentes químicos no branqueamento e prejudicar a alvura da celulose. Entretanto, sua principal vantagem, que é remover lignina, também não é completamente seletiva, já que se pode também remover e degradar carboidratos. O rendimento dessa etapa costuma ser de 96 a 98%. Dessa maneira, o material orgânico dissolvido e a carga de soda cáustica residual na forma de carbonato e hidroxila acabam sendo enviados para o sistema de recuperação do licor preto. Isso porque o filtrado de lavagem da deslignificação entra no sistema de lavagem contracorrente da polpa não branqueada.

Em caso de caldeiras sobrecarregadas, essa contribuição, em sólidos, mesmo não sendo grande (40 a 60 kg de sólidos secos/tsa), pode limitar a capacidade de produção da fábrica de celulose. Porém, isso não pode ser uma desculpa para não se incorporar a deslignificação com oxigênio no processo produtivo – ela é, sem dúvidas, uma das mais bem sucedidas tecnologias de mínimo impacto ambiental e reconhecida hoje como sendo uma das melhores alternativas disponíveis para ser utilizada em fábricas de celulose kraft branqueada.

## ♦ BRANQUEAMENTO DA CELULOSE

Foto: CENIBRA, Brasil

O branqueamento é a etapa do processo de produção de celulose que visa a transformar a celulose produzida no digestor e/ou deslignificada com oxigênio em uma polpa com alta alvura e alto valor comercial. As polpas de eucalipto sem branquear são de coloração marrom acinzentada e possuem mercados comerciais restritos: papéis base impregnação fenólica, papéis base carbono, papéis para envelopes, cartões multicamadas, etc. Exatamente por essa razão, o branqueamento é a etapa do processo de produção de celulose de eucalipto que mais agrega valor e que melhor relação benefício/custo apresenta.

Quando uma fábrica de celulose kraft branqueada de eucalipto tem um problema em sua linha de branqueamento, ela tem pouquíssimas opções para venda de celulose não branqueada, diferentemente de uma fábrica de celulose kraft de fibra longa, de *Pinus,* por exemplo.

Foto: Celulose Riograndense

A seção do branqueamento em qualquer fábrica de celulose kraft para comercialização como polpa de mercado tem missões muito importantes:

- ♣ Garantir níveis de alvura em geral acima de 90% IS0 e que essa alvura seja permanente e de baixa reversão;

- ♣ Garantir excepcionais níveis de limpeza (sujeiras, feixes de fibras, etc.) para atendimento às exigências dos clientes;

- ♣ Minimizar a degradação da celulose para manter as resistências das fibras em níveis adequados;

- ♣ Minimizar as remoções de componentes da polpa para evitar queda dos rendimentos e aumento de consumo específico de madeira por tonelada de celulose branqueada produzida;

- ♣ Aperfeiçoar o consumo de água e geração de poluentes (é a área fabril que mais consome água fresca e onde mais se geram efluentes e contaminações nos fluxos hídricos). O branqueamento remove cerca de 2 a 4% do peso da celulose deslignificada com oxigênio, sendo que esse material dissolvido acaba indo em sua maior parte para o efluente junto com os residuais de compostos químicos utilizados nos estágios. É por essa razão que o branqueamento da celulose é uma das fontes mais importantes de poluição nas fábricas desse produto.

- ♣ Otimizar os custos de produção.

O branqueamento propriamente dito se inicia pelo recebimento da polpa que foi previamente tratada com oxigênio. Isso não é absolutamente necessário, mas é a forma melhor e de melhor nível de tecnologia disponível. Podem-se branquear também polpas que não tenham sido submetidas à deslignificação com oxigênio, mas à custa de maiores consumos de água e de químicos e com maiores custos e poluentes, obviamente.

Qualquer branqueamento de celulose química de mercado envolve adoção de sequências com diversos estágios. Não se faz o branqueamento em uma única etapa para evitar a aplicação de

condições muito severas e que causariam degradação da qualidade e perdas de rendimentos.

Cada estágio consiste de três operações básicas:

- ✓ Aplicação de um reagente químico oxidante ou extrator e de vapor em misturadores de altíssima eficiência de mistura;

- ✓ Manutenção da polpa em uma torre ou reator de retenção para se dar tempo para que as reações desejadas aconteçam;

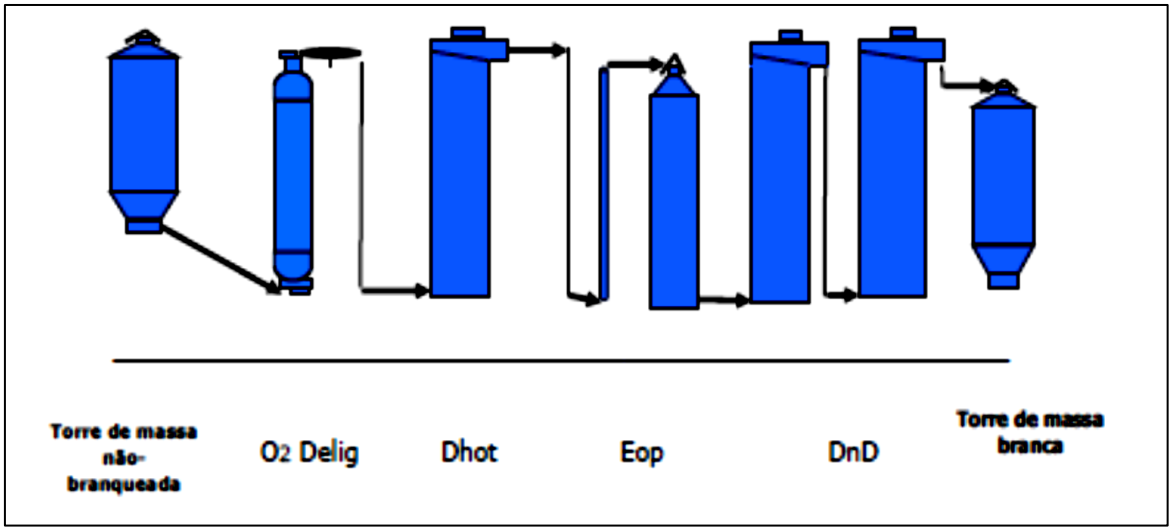
- ✓ Lavagem da polpa após término da reação para remover compostos solubilizados e residuais dos reagentes químicos aplicados.

A lavagem eficiente é tão fundamental como a reação que ocorre na torre ou reator. Polpas mal lavadas carreiam residuais de material orgânico e de reagentes que irão consumir produtos químicos ativos na etapa seguinte, além de favorecerem reações de condensação e de precipitação de compostos ("*pitch*", oxalatos) e de reversão de alvura. Por essa razão, os branqueamentos atuais se valem de prensas lavadoras para máxima extração de compostos após cada estágio. Um dos problemas de poluição em branqueamentos de celulose é a má lavagem, quando compostos residuais de um estágio entram no estágio seguinte, sem necessidade de ali estarem, consomem produtos químicos, geram mais poluição e aumentam os custos operacionais.

Outra exigência em geral esquecida é o controle da consistência da massa ao longo de todas as operações: nos misturadores, na torre de retenção e na polpa saindo dos lavadores. Qualquer mudança na consistência para valores abaixo dos especificados implicam em alterações de tempo de reação, concentrações de reagentes e aumento de consumos de água, vapor, etc.

O conjunto sequencial de dois ou mais estágios de branqueamento se denomina sequência de branqueamento. No passado, quando as polpas de eucalipto surgiram a partir de uma base conceitual que existia para fibras longas, essas sequências eram

longas, pois as polpas de coníferas são mais difíceis de serem branqueadas que as de eucaliptos.




Exemplificando sequência de branqueamento utilizada em polpas kraft de eucalipto

As sequências que apareceram com destaque na década dos anos 70's foram:

C/DEHDED e C/DEDED

Com os inúmeros estudos de branqueabilidade das polpas de eucalipto que foram surgindo, conseguiu-se provar que as polpas de eucalipto se branqueiam facilmente e que podemos nos valer de três ou quatro estágios para atingir os graus de alvura e de qualidades desejadas.

Durante a década dos anos 90's aceleraram-se as pesquisas para desenvolvimento de sequências ambientalmente mais corretas. Isso se deveu a alguns fatores que impactaram forte o setor de fabricação de celulose, quais sejam:

→ Crise ambiental do setor em função da descoberta da formação das famigeradas dioxinas e furanos, em função da reação do cloro elementar com componentes das polpas;

→ Necessidade de introdução massiva no setor da deslignificação com oxigênio como etapa de pré-branqueamento com a finalidade de se reduzir o número kappa da polpa a branquear,

e com isso, as necessidades de cargas químicas e de água bem como a geração de poluentes problemáticos (organoclorados);

→ Descoberta dos ácidos hexenurônicos presentes nas polpas não branqueadas e que representam fração significativa das medições do número kappa, consumindo reagentes de branqueamento e afetando a qualidade final da polpa branqueada.

As pesquisas para o desenvolvimento de novas tecnologias de branqueamento foram intensificadas. Nunca se pesquisou tanto um tema no setor como se fez com o branqueamento ao longo de toda a década dos 90's e depois no início dos anos 2000's. Todas essas pesquisas tinham como objetivo não apenas resolver os conflitos chaves que o setor vivia, mas também de garantir a sobrevivência dos compostos de cloro que não gerassem dioxinas e furanos (em especial as TCDD's e TCDF's) nos níveis alarmantes que existiam quando se usava o cloro elementar no branqueamento.

Foram inúmeras as pesquisas avaliando resultados de branqueabilidade e impactos ambientais. As sequências testadas foram divididas em dois grandes grupos: sequências ECF ("*Elemental Chlorine Free*"- Isentas de Cloro Elementar) e TCF ("*Total Chlorine Free*" – Isentas de Compostos de Cloro). Os ambientalistas apoiavam o banimento de todos os compostos de cloro do branqueamento e queriam somente compostos a base de oxigênio. Já os fabricantes de celulose e as empresas fabricantes de equipamentos advogavam o uso seguro do dióxido de cloro, deixando de lado apenas o hipoclorito de sódio e o cloro elementar.

O meio termo acabou prevalecendo – as sequências ECF – Light (com pequenas dosagens de dióxido de cloro) passaram a ser dominantes nas fábricas modernas e estado-da-arte.

Um branqueamento ECF-Light é constituído basicamente de:

→ Pré-branqueamento ou deslignificação com oxigênio;

→ Etapa ácida a quente para destruição dos ácidos hexenurônicos (pode ser um estágio ácido específico AHT ou um estágio a quente de dioxidação com $ClO_2$ – DHT);

→ Utilização de peróxido de hidrogênio e de oxigênio para substituir parcela significativa do dióxido de cloro que se utilizava no passado.

O setor de fabricação de celulose se mobilizou para manter o uso de dióxido de cloro, em função de algumas de suas vantagens:

→ Ser um dos mais efetivos agentes de branqueamento, em resultados fabris e custos;

→ Ser de extrema simplicidade processual;

→ Ter mínimo impacto ambiental;

→ Demandar baixos consumos de água em relação a outras sequências sem sua presença;

→ Permitir tratabilidade de efluentes e dos lodos orgânicos gerados;

→ Garantir qualidades adequadas nas polpas branqueadas, em especial em termos de resistências, viscosidades, alvuras, estabilidade da alvura, limpeza, etc.

Apesar de tanta pesquisa realizada nesses últimos 15 anos, o setor acabou referendando algumas poucas sequências como as eleitas e destacadas como sendo as de melhores tecnologias disponíveis:

- Para branqueamento de polpas de eucalipto destinadas à fabricação de papéis com fins sanitários ("*tissue*"), onde alvuras de 88 a 90% IS0 são suficientes:

AHTDEOPD

AHTDEOD

DHTEOPD

DHTEOD

- Para branqueamento de polpas de eucalipto destinadas à fabricação de papéis de impressão e escrita e papéis especiais (decorativos, etc.), onde alvuras acima de 90% são requeridas pelos clientes:

$A_{HT}DE_{OP}DP$

$A_{HT}DE_{OP}DnD$

$D_{HT}E_{OP}DP$

$D_{HT}E_{O}DnD$

$ZE_{OP}DnD$

$ZE_{OP}DP$

$ZE_{O}DnD$

$ZE_{O}DP$

Os estágios tipicamente oxidantes são os seguintes:

D = Dioxidação

$D_{HT}$ = Dioxidação a quente

Z = Ozonização

P = Peroxidação

DnD = dois estágios de dioxidação sem lavagem entre eles

Os estágios de hidrólise ou de extração oxidativa são os seguintes:

$A_{HT}$ = Estágio ácido a quente para hidrólise dos ácidos hexenurônicos

$E_{OP}$ = Extração oxidativa com oxigênio e peróxido conjuntamente à soda cáustica

$E_{O}$ = Extração oxidativa com oxigênio conjuntamente à soda cáustica

$E_{P}$ = Extração oxidativa com peróxido conjuntamente à soda cáustica

Em todos os casos e para todas as sequências, o que se quer é o atingimento das alvuras e qualidades requeridas e que a perda de alvura seja a menor possível até que o cliente receba e use a celulose. Para minimizar os problemas de reversão de alvura, costuma-se aplicar um estágio redutor com solução ácida de dióxido de enxofre (ácido sulfuroso) ou terminar a sequência com estágio de peroxidação. A solução de dióxido de enxofre também é aplicada como "mata residual de dióxido de cloro", para minimizar o ataque corrosivo desse produto em etapas subsequentes no processo de fabricação.

A efetividade de qualquer sequência de branqueamento e sua aplicação adequada na prática são medidas por um conjunto de fatores técnicos, a saber:

- Carga aplicada de cada reagente químico ao longo da sequência;
- Carga total aplicada em equivalente oxidante;
- "*Carry over*" de químicos entre estágios;
- Consistências ao longo de toda a sequência;
- Rendimento do branqueamento;
- Níveis atingidos de alvura, reversão de alvura, viscosidade, refinabilidade, limpeza e propriedades mecânicas da polpa branqueada;
- Número kappa e teor de ácidos hexenurônicos residuais na polpa ao final do branqueamento;
- Consumos de água limpa e água reciclada;
- Geração de efluentes;
- Carga de poluentes gerados;
- Tratabilidade dos efluentes gerados;

- Teor de organoclorados residuais na polpa e nos efluentes;

- Custos totais, inclusive os custos demandados para tratar e dispor resíduos.

Torres e prensas lavadoras

Para finalidades de melhor entendimento do que acontece com uma polpa kraft de eucalipto desde a saída do digestor até o final da etapa de branqueamento, decidiu-se construir uma tabela elucidativa com dados técnicos típicos:

| | | |
|---|---|---|
| **Polpa kraft não branqueada e típica de eucalipto no Brasil** | | |
| Número kappa | 17 | |
| Kappa devido à lignina | 10 | |
| Kappa devido aos ácidos hexenurônicos | 7 | |
| Viscosidade | 55 | cP em CED |
| Alvura | 35 | % IS0 |
| **Polpa kraft pré-deslignificada com oxigênio e típica de eucalipto no Brasil – COM SÓ UM REATOR DE $O_2$** | | |
| Número kappa | 11,5 | |
| Kappa devido à lignina | 4,5 | |
| Kappa devido aos ácidos hexenurônicos | 7 | |
| Viscosidade | 30 | cP em CED |
| Alvura | 50 | % IS0 |
| Rendimento na pré-$O_2$ – com reator único | 98 | % |
| **Polpa kraft pré-deslignificada com oxigênio e típica de eucalipto no Brasil – COM DOIS REATORES DE $O_2$** | | |
| Número kappa | 11 | |
| Kappa devido à lignina | 4 | |
| Kappa devido aos ácidos hexenurônicos | 7 | |
| Viscosidade | 25 | cP em CED |
| Alvura | 53 | % IS0 |
| Rendimento na pré-$O_2$ - com dois reatores | 97,8 | % |
| **Polpa branqueada final** | | |
| Alvura | Maior que 90 | % IS0 |
| Perda de alvura por reversão | Menor que 2 | % IS0 |
| Viscosidade final | 15 | cP em CED |
| Equivalente de cloro ativo total aplicado | 3 a 3,5 | % base seca |
| Rendimento no branqueamento (após pré-$O_2$) | 97,8 | % |
| Perda física de fibras pelos efluentes | 0,5 | % |

A sequência básica para variações tem sido $DE_{OP}DD$. O primeiro estágio de dioxidação é vital e ele tem tido pelo menos duas versões: estágio $D_1$ tradicional, com tempos curtos (30 minutos) e temperaturas baixas (50 a 70ºC) ou $D_{HT}$ (90 a 120 minutos a 90 a 95 ºC). Alternativamente ao estágio $D_{HT}$ também se usa com sucesso o estágio $A_{HT}$. Esse último consiste na aplicação de ácido sulfúrico ou clorídrico em um tratamento a quente por pelo menos 90 minutos.

Existem muitos debates e acaloradas discussões sobre qual a melhor opção para se destruir ácidos hexenurônicos. Em todos os casos, há que se levar em conta:

- Qualidade da celulose e sua dependência em relação à qualidade da madeira e do processo de polpação kraft;
- Consumo total de químicos no branqueamento;
- Perda de rendimento no branqueamento;
- Residuais de ácidos hexenurônicos nas polpas não branqueadas e totalmente branqueadas.

Deve ficar claro que conforme o tipo de polpa não branqueada, dos teores de ácidos hexenurônicos e dos arrastes de químicos por lavagens deficientes, cada uma dessas tecnologias pode se mostrar mais ou menos vantajosa.

A etapa final de qualquer sequência ECF para polpas kraft de eucaliptos para alvuras acima de 90% IS0 tem sido a aplicação sequencial de dois estágios: DP ou DD. Os fatores mais considerados pelos fabricantes para essa eleição têm sido: o custo de investimento, as cargas de químicos, os custos operacionais, os residuais de organoclorados e as exigências qualitativas para a polpa. Mesmo com custos de investimentos e operacionais mais altos para DP, muitas empresas a utilizam para garantir polpa com alvura estável e baixos teores de organoclorados, sejam na polpa ou nos efluentes. A alternativa DD permite que não se lave a polpa entre essas duas etapas (variante DnD), o que simplifica custos de investimentos e consumo de água.

Concluído o branqueamento, a celulose costuma ser estocada em uma torre de massa como pulmão para alimentar as etapas seguintes que são: a depuração da massa branca e a posterior formação e secagem da folha comercial de celulose.

## ♦ LIMPANDO A MASSA BRANQUEADA

O setor industrial de produção de celulose e papel vive um momento tecnológico singular e ao mesmo tempo preocupante. Enquanto as exigências ambientais da própria indústria se refletem em um maior fechamento de circuitos e menores consumos de água, as demandas qualitativas para a celulose e o papel branco são cada vez maiores. Hoje, surpreendentemente até, e em direção contrária ao que seria razoável, buscam-se celuloses mais brancas, mais limpas e mais puras. Até certo ponto, o motor impulsionador do branco total tem sido a colagem alcalina e o uso do carbonato de cálcio como carga na fabricação do papel. Esses avanços na tecnologia do mais branco acabaram como vetores do mais puro e do mais limpo, já que quanto mais branco o papel, mais fácil de notar suas contaminações.

Essas contaminações podem ser visíveis a olho nu (pintas, feixes de fibras, fibras de feltro, carvõezinhos, etc.) ou invisíveis, mas igualmente perigosas (íons metálicos, sujeira coloidal, oxalatos,

"*pitch*", etc.) Por essa razão, a produção de celulose branqueada de mercado deve colocar a máxima atenção em remover as sujeiras e impurezas da polpa, mesmo que essas impurezas não sejam notadas pelos clientes a olho nu, ou mesmo com uma lupa de aumento. Portanto, depurar e limpar a polpa não depende apenas de peneiras e depuradores centrífugos, mas de todo um complexo sistema interligado de máquinas, águas e fibras.

O fechamento dos circuitos de água tende a concentrar químicos das mais diferentes composições e origens. Isso ocorre tanto nos circuitos da fabricação da celulose como do papel. Concentram-se minerais, resinas, amido, surfactantes, colas, fragmentos de lignina, ácidos hexenurônicos, etc., etc. Já que a polpa celulósica está exigindo cada vez mais oxidações para se tornar mais branca, isso leva a um aumento nos grupos carboxílicos e nas cargas eletrostáticas das fibras. Essas cargas fazem a fibra atuar como uma resina trocadora de íons, adsorvendo tanto grupos catiônicos, como compostos polares. A remoção desses compostos enxertados na fibra fica cada vez mais difícil, pois já são do passado as fabulosas lavagens com muita água limpa que se faziam. O resultado disso é a necessidade de se usar outros compostos químicos para remover o que sujou ou o que grudou, aumentando mais ainda o chamado "lixo químico" no processo. Extrações ou purgas desse lixo são necessárias, senão o processo se contamina demais e as qualidades do papel e da celulose se perdem. A alta alvura tende a se reverter nessas condições, acelerada pela presença de íons como ferro, manganês, etc. As sujeiras se proliferam devido às resinas, carepas de ferrugem, areia, etc.

Limpeza e alvura, que sempre foram itens perseguidos na qualidade das polpas, agora ganham novos acompanhantes: condutividade, "*pitch*" coloidal, teores de ferro, manganês, etc. Aumentam-se controles e exigências. Aumentaram as dificuldades também. Dos velhos tempos temos duas boas lembranças: a eficiente lavagem química que o estágio ácido da cloração fazia nos íons metálicos e as intensas lavagens com águas limpas, a cada etapa do processo. Essas velhas lembranças podem nos indicar caminhos: a cloração era eficiente, pois agia promovendo uma regeneração das fibras como se elas fossem uma resina de troca iônica, removendo os íons catiônicos. O estágio era bastante ácido, com pH's menores que 2. Logo a seguir, purgava-se o filtrado. Ao mesmo tempo, a cloração tinha um efeito deletério. Ela sabia, como poucos, transformar os

extrativos do eucalipto em algo pegajoso, que conhecemos por "*pitch*". Isso em adição à formação de dioxinas e furanos em níveis inaceitáveis.

Hoje, as lavagens intensas com água limpa têm sido substituídas por lavagens com filtrados, em contracorrente. Os lugares para se colocar água limpa no processo são cada vez mais escassos. Eles devem ser encontrados com sabedoria e com sabedoria devemos escolher os pontos onde purgar a água contaminada com o lixo químico. As melhores localizações para se colocar água limpa são as etapas finais de processo. Por exemplo, na fabricação de celulose de mercado, a "última lavagem" da polpa ocorre na máquina formadora da folha branca de celulose, na sua mesa plana. Se o pH nesse momento for baixo também, na faixa de 4 - 5, por exemplo, estaremos fazendo uma última lavagem química da polpa antes de se secá-la. Os filtrados ou água branca poderiam ser tratados para limpá-los, e isso seria fácil de ser conseguido. Até hoje me questiono porque as fábricas tendem a misturar efluentes limpos com efluentes muito sujos, estragando então toda a água.

Por outro lado, as etapas ácidas estão cada vez menos frequentes nas novas sequências de branqueamento. Por isso, devemos também utilizá-las com sabedoria. Existem estágios ácidos em pré-branqueamento, bem como existem estágios de dioxidação. O DHT, por exemplo, é um ótimo lavador e purificador da polpa. Importante saber então o que fazer com o seu filtrado, para onde direcioná-lo com seu lixo químico. A utilização de ácido sulfuroso (água de $SO_2$) permanece ainda com muito sucesso para "matar o dióxido de cloro residual", para remover lixo catiônico adsorvido às fibras e para estabilizar a alvura, já que o $SO_2$ é um composto redutor. Hoje, buscam-se alternativas para evitar se perder na secagem a duramente conquistada alta alvura. O metabissulfito de sódio tem encontrado sua oportunidade também.

O resultado de tudo isso é claro. Temos que ser cada vez mais sábios na combinação das etapas processuais e em suas purgas. Lembrar que tudo isso tem custos envolvidos e causam impactos ambientais. Se gerenciarmos mal, prejudicamos a polpa, os custos da empresa e o meio ambiente. Toda essa situação tem-nos levado a situações no mínimo curiosas. Por exemplo, quando a etapa final do branqueamento é uma peroxidação, o pH é alcalino. Costuma-se fazer a adição de água ácida de $SO_2$, para logo a seguir, na fábrica de

papel, se elevar de novo o pH para o refino e para a colagem alcalina subsequente. Resultado; estamos cada vez mais nos escravizando aos produtos químicos, é um tira e põe interminável. Volto a lembrar aos novos projetistas de fábricas: porque não separar melhor as águas e tratá-las separadamente em miniestações de tratamento de água na fábrica? Com isso, a cada água, a sua destinação e o seu tratamento. Há muita água boa nas nossas fábricas indo aos efluentes. Com muito pouco elas se tornariam de novo água limpa de processo para retornarem possivelmente na mesma etapa processual.

## ♦ FORMAÇÃO E SECAGEM DA FOLHA DE CELULOSE

Máquina de formação e secagem das folhas de celulose

Após a depuração, a polpa branqueada em suspensão aquosa passa por engrossadores e tanques de massa para permitir maiores facilidades para acerto da consistência. Em consistências bem baixas, ligeiramente acima de 1%, a polpa diluída ingressa na caixa de entrada da mesa plana formadora de folhas de uma máquina em geral do tipo Fourdrinier. Na caixa de entrada, a suspensão de fibras sofre um turbilhonamento intenso para permitir boa homogeneização. Através de um lábio de abertura na caixa de entrada, as fibras em baixa consistência são liberadas para a mesa plana formadora, sobre

uma tela plástica em movimentação contínua, a qual retém continuamente as fibras e deixa escoar a água. Forma-se assim uma manta contínua de cerca de 800 a 1000 g/m² (equivalente a massa seca), que é a folha úmida de celulose. Ao sair dessa tela, a folha úmida possui cerca de 20 a 25% de consistência e é direcionada para a seção de prensas a úmido. Dessa seção, a folha sai bastante consolidada, com consistência próxima a 50%.

Secadores a colchão de ar

A etapa seguinte é a seção de secagem que em geral se dá em secadores de colchão de ar ou em baterias de cilindros secadores. A água ainda presente na folha vai gradualmente sendo removida, até se atingir cerca de 10% de umidade, umidade padrão de comercialização de celulose. O peso comercial de celulose é referido à umidade de 10%, sendo que esse peso é denominado de "peso seco ao ar" – ou então, peso "*air dry*"). Daí a razão para as siglas usualmente empregadas como: tsa, tonelada seca ao ar – e tad ou adt, tonelada "*air dry*".

Toda água removida na mesa plana e prensagem a úmido é vulgarmente conhecida como água branca, pela cor típica que tem devido à presença de grande número de fibras que passam através da tela e retornam para o processo. A água branca é por isso utilizada como água de diluição ou de lavagem da massa, em etapas anteriores à mesa plana. Com isso, evitam-se perder valiosas fibras e

não se contaminam os efluentes com matéria orgânica em suspensão.

Já o ar úmido quente, que é liberado do setor de secagem, é reaproveitado para aquecer o ar seco, que por sua vez entrará na área de secagem para receber a umidade evaporada da folha, e assim continuamente vai-se repetindo o ciclo.

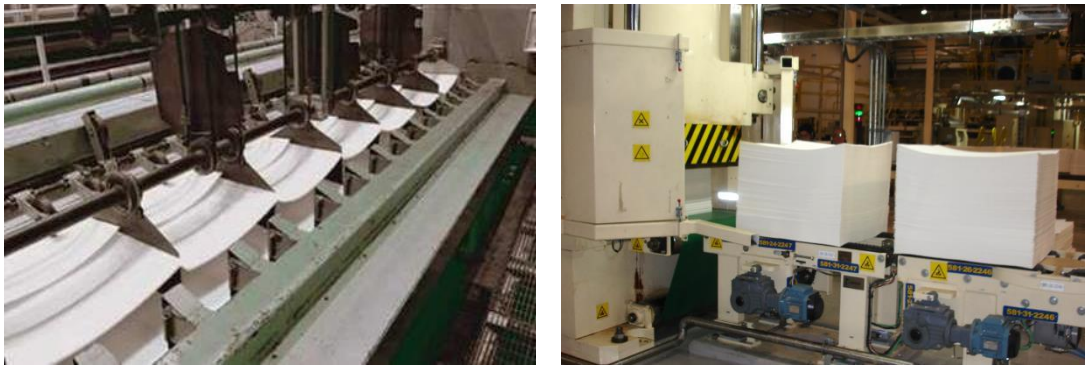
Saída da folha seca de celulose para ser cortada e enfardada

## ♦ ENFARDAMENTO, ESTOCAGEM E LOGÍSTICA

Seção de enfardamento das folhas de celulose

A folha seca contínua é a seguir cortada em formatos padronizados. Essas folhas são empilhadas, prensadas e embaladas

em fardos de 200 a 250 kg de peso bruto. Grupos de 4 a 8 fardos de celulose são amarrados juntos para compor uma unidade de carga, cujo padrão varia conforme a empresa. Esses fardos são então encaminhados para o depósito de celulose, de onde sairão para atender os clientes.



Cortadeira e embaladeira de folhas de celulose de mercado

Embaladeira de fardos de celulose

Fardos prontos e unitizados sendo direcionados ao porto para embarque internacional

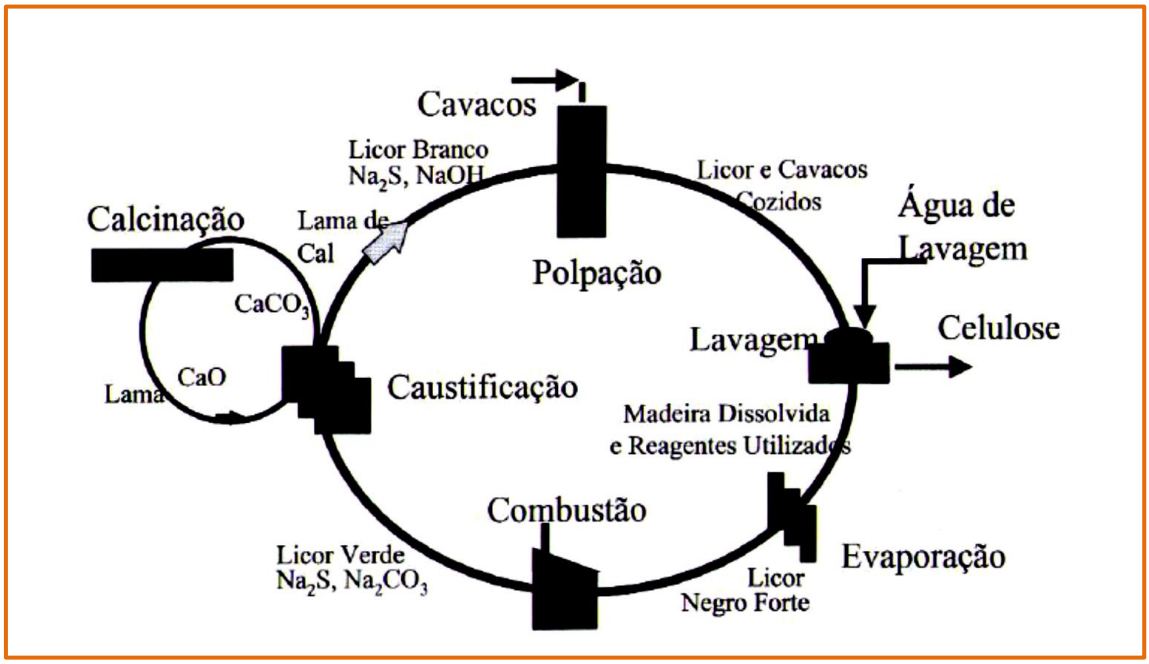
==========

# PROCESSOS TECNOLÓGICOS INDUSTRIAIS
## PROCESSO DE RECUPERAÇÃO DO LICOR PRETO KRAFT

Fábrica da Celulose Riograndense – minha "sempre viva Riocell"

Uma grande vantagem do processo kraft consiste em sua capacidade de ter mínimas perdas químicas e máxima eficiência energética. Cerca de 96 a 97% dos reagentes químicos utilizados na polpação são recuperados. Além disso, hoje uma fábrica de celulose kraft não branqueada pode ser considerada como capaz de gerar sua própria energia a partir da fração da madeira dissolvida no licor residual de cozimento (licor preto). Como cerca de metade do peso da madeira é dissolvida nesse processo de separação das fibras, essa madeira dissolvida e na forma líquida se converte em um biocombustível nas fábricas de celulose kraft. Pela concentração desse licor preto residual a altos níveis de sólidos secos (65 a 80%) em evaporadores de múltiplos efeitos e concentradores, esse licor ganha características ideais para queima. A seguir, esse combustível rico em matéria orgânica e em elementos minerais (sódio, sulfetos, carbonatos, sulfatos, etc.) é queimado em uma caldeira especial (caldeira de recuperação), gerando energia térmica e elétrica por cogeração e permitindo a recuperação dos reagentes químicos

minerais para novo ciclo de cozimento. Um ciclo muito fechado e de grande sucesso tecnológico.




O ciclo de recuperação kraft
Fonte: Alfredo Mokfienski

O licor preto é um líquido valioso, pois contem grande quantidade de matéria orgânica dissolvida (uma das fontes de combustível da fábrica) e os produtos químicos utilizados no cozimento, embora de forma modificada, mas passíveis de serem recuperados e de serem reintroduzidos no processo. Essa recuperação de energia e de químicos torna o processo kraft bastante econômico e diminui consideravelmente a geração de resíduos e de efluentes líquidos, ou seja, também oferece enormes vantagens ambientais. Perdas de licor preto não são apenas fontes de poluição, mas perdas econômicas importantes que devem ser evitadas.

O licor preto é extraído do digestor contínuo por peneiras extratoras localizadas na parte intermediária do corpo do digestor, uma vez que a lavagem em contracorrente se dá até essa região de extração de licor preto fraco. Como esse líquido está sob pressão e temperatura ainda elevadas, ele tende a se expandir e a liberar vapor quando trazido às condições atmosféricas. Por essa razão, a expansão se dá em ciclones de expansão especiais, de forma a que vapores e condensados gerados nos ciclones possam ser recuperados e reusados - além de fornecerem energia para aquecimento. Os vapores condensados servem como água quente de processo. Os

gases não condensáveis de mau odor são coletados e incinerados em outras áreas da fábrica.

O licor preto fraco pode ainda ser filtrado para recuperação de fibras que sempre o acompanham, já que as peneiras extratoras do digestor são incapazes de impedir o arraste de fibras. Logo depois dessa operação, o licor preto fraco está pronto para ser enviado para pronta recuperação – ainda quente, para tentar aproveitar esse calor residual.

## ♦ EVAPORAÇÃO DO LICOR PRETO

Foto: Sistema de evaporação - Celulose Riograndense, Brasil

O processo de recuperação do licor preto kraft se baseia em sua queima controlada para aproveitamento da energia contida no carbono orgânico do material dissolvido da madeira e para liberação dos componentes minerais residuais do licor de cozimento e que podem ser de novo ativados para se promover novas reações de polpação.

Para que o licor possa ser eficientemente queimado, há necessidade de se concentrar o licor preto fraco que possui cerca de 15% de sólidos secos até o que se chama de licor preto forte, com teores de sólidos secos variando entre 65 a 80%. Nessas condições, o licor consegue queimar por si só na caldeira de recuperação, sem necessidade de outro combustível auxiliar. Somente para o início da ignição é que se adota usar algum combustível fóssil mais poderoso e que consiga arder em chamas mais rapidamente.

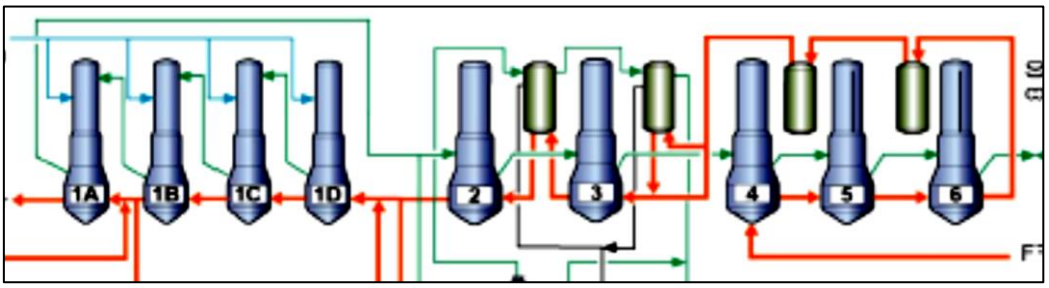
O setor de evaporação do licor preto tem então diversas finalidades associadas à conversão de um líquido residual em um combustível: remover água do licor, condensar essa água removida, tratar os condensados para oferecer os mesmos para uso em outros setores da fábrica, usar o mínimo possível de vapor virgem e minimizar as contaminações aéreas e hídricas que são possíveis de acontecer nessas operações.

Evaporar um líquido se consegue pelo seu aquecimento até a ebulição e permitindo que a água se vá perdendo como vapor conforme mais calor se fornece ao mesmo. Concomitantemente, outros compostos de baixo ponto de ebulição se volatilizam, como metanol, terebintina, mercaptanas, etc. Todos escapam da fase líquida do licor e precisam ser manejados para aproveitamentos internos ou para receber tratamentos antipoluentes.

Teoricamente, se fôssemos executar a evaporação em uma única etapa, o gasto de vapor para aquecimento seria enorme, pois para evaporar uma tonelada de água em condições atmosféricas se demandaria mais de uma tonelada de vapor, frente às naturais perdas processuais. Entretanto, a tecnologia foi criativa e desenvolvida de forma a aproveitar o vapor liberado do licor já na primeira evaporação com vapor virgem para ser usado como vapor de aquecimento do licor em fases seguintes do processo de evaporação. Esse processo é denominado de <u>evaporação em múltiplos efeitos</u>.

Cada efeito é constituído de um sistema de tubos, no interior dos quais circula o licor sendo aquecido. Do lado de fora, aplica-se o vapor para aquecer tubos e licor. Na extremidade do efeito há uma câmara para expansão desse licor aquecido e ansioso para liberar vapor d'água. Essa câmara é mantida com certo nível de vácuo para com isso se abaixar o ponto de ebulição do licor nesse efeito em específico. Em cada efeito temos um determinado nível de vácuo e uma temperatura de ebulição típica, conforme a concentração do licor nesse efeito. O sucesso dessa tecnologia se baseia exatamente no controle dos vácuos e das temperaturas de ebulição dos licores em cada efeito. O vácuo é conseguido pela própria condensação do vapor gerado pela expansão do licor. Esse vácuo acontece no exato momento em que esse vapor aquece o licor e cede parte de seu calor, convertendo-se em condensado. Uma maravilhosa engenharia conceitual que permite que com uma tonelada de vapor virgem se possa evaporar pelo menos 4 a 7 toneladas de água.

Cada efeito atua então como aquecedor, ciclone de expansão e condensador. Como temos uma sequência de diversos efeitos, a evaporação vai sendo feita em sequência, valendo-se de um fluxo de licor que se vai concentrando e liberando vapor para ser usado para evaporar o mesmo licor que cedeu esse vapor. Mágico, não é mesmo?




Tudo isso se consegue com eficientes controles e ajustes de fluxos de licor, de vapor virgem e vapores gerados nos efeitos. O controle do vácuo é ponto chave, o que é conseguido pelo uso de um eficiente condensador de superfície, que é responsável pelo sequenciamento de vácuos em todo o sistema. Já o vapor virgem é fator crítico, pois dele depende o desencadear das evaporações em cada efeito. Todo o processo é então função de dois pontos vitais: onde e quanto se colocar de vapor virgem e em que condições se estão gerando os vácuos no condensador de superfície e nos diversos efeitos.

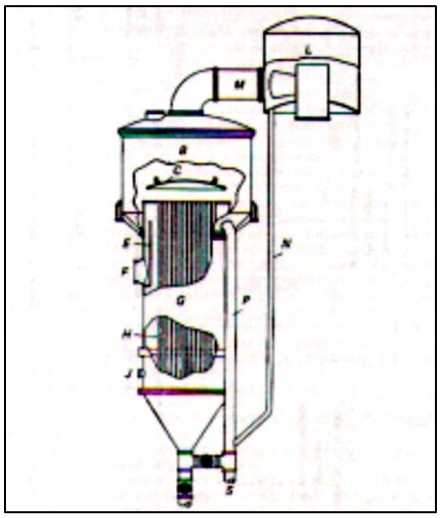
As tecnologias de evaporação variam ligeiramente entre os fabricantes: há sistemas mais modernos de filmes descendentes, há variações tecnológicas em função das características dos licores, etc. Tudo é criado com a meta de se ter o máximo de água evaporada por unidade de vapor virgem. Outro fator limitante nas tecnologias é até qual concentração de sólidos se consegue ir? Conforme o licor se concentra, ele fica muito mais viscoso e de mais difícil bombeamento. No passado existiam limitações, mas hoje as tecnologias evoluíram a ponto de se atingirem altos níveis de concentrações em sólidos secos nos licores. Um grande ganho em eficiência energética e em minimização de poluentes.

A relação entre toneladas de água evaporada por um sistema de evaporação por cada tonelada de vapor virgem utilizada se

denomina Fator de Economia (FE). De forma empírica, esse fator é estimado pela fórmula:

FE = (Número de Efeitos) – 1

Assim, para um sistema com 6 efeitos, o fator de economia seria de aproximadamente 5.



Efeito evaporador

Não é muito difícil se calcular as quantidades de água que precisam ser evaporadas. Isso pode ser feito a partir das concentrações iniciais e finais em sólidos secos do licor preto. Como as perdas de sólidos são pequenas, as estimativas de remoção de água podem ser feitas de forma bastante simples.

As quantidades de água presentes no licor preto fraco são enormes, em função das exigências de água para polpação, lavagens, depurações, etc. Mesmo com a adoção dos fluxos em contracorrente de águas e polpas, a quantidade de água presente no licor preto fraco equivale a aproximadamente 7 a 8 $m^3$/tonelada absolutamente seca de polpa não branqueada. Com balanços materiais não muito difíceis de serem realizados, é possível se engenheirar muito bem o que acontece em toda a linha de evaporação – o que permite sua otimização.

A operação da evaporação demanda muita atenção quanto à liberação de poluentes e às incrustações que sujam o sistema e restringem as trocas de calor. A evaporação é grande geradora de gases de mau odor e de gases não condensáveis que prejudicam a

qualidade dos condensados. Para melhorar a qualidade dos condensados, em geral sujos também por arrastes de licor, costuma-se destilar os mais contaminados em colunas de "*stripping*". Com isso, reduz-se a carga poluente dos líquidos, libertam-se os gases de mau odor para incineração e permite-se o aproveitamento desses condensados em outros setores da fábrica: lavagem da polpa não branqueada e/ou deslignificada com oxigênio e preparação do licor de cozimento.

Em geral, nem todo fluxo gerado de condensados consegue ser reaproveitado e uma fração variada é destinada ao tratamento de efluentes. Caberá ao tratamento secundário biológico a missão de degradar os compostos causadores de poluição orgânica e de odor nos efluentes.

Percebe-se com isso que a tecnologia é muito bem orquestrada com os demais setores da fábrica e absolutamente criativa.

O licor preto concentrado a valores de 65 a 80% de sólidos secos pode então ser destinado à caldeira de recuperação, onde será queimado para liberar energia térmica (vapor) e os compostos químicos essenciais para a polpação kraft (soda cáustica e sulfeto de sódio).

## ♦ CALDEIRA DE RECUPERAÇÃO

Foto: ex-Aracruz, Unidade Guaíba, Brasil

A caldeira de recuperação é um dos equipamentos mais carismáticos e importantes de uma fábrica de celulose kraft. Foi graças à recuperação química e energética do seu licor preto que o processo kraft pode se tornar vitorioso. Imaginem que, caso não fosse possível se recuperar o licor preto, ter-se-ia que se dar outra destinação a um enorme volume de um líquido altamente alcalino e carregado em matéria orgânica dissolvida da madeira. Obviamente, a ciência e a tecnologia teriam encontrado outras maneiras para utilizar essas riquezas, como vem sendo feito agora com as biorrefinarias e com as possiblidades de gaseificação do licor preto, ou de precipitação e extração de sua lignina e hemiceluloses.

Ao invés de ser tratado como uma fonte poluente para ser descartada, o licor preto fraco pode ser convertido em um razoável combustível através de sua concentração, como vimos na seção anterior. Apesar do alto teor de cinzas (35 a 45%) e baixo poder calorífico (13 a 15 GJ/TSS quando a 80% de sólidos), toda essa disponibilidade de material pode garantir a realização de dois importantes sonhos: autossuficiência energética graças a uma energia de base vegetal e limpa; autossuficiência em reagentes

ativos para a polpação kraft. Essas autossuficiências não são plenas: há necessidade de reposição de algumas perdas e no caso energético, o forno de cal ainda não é alimentado para combustão por essa fonte de energia produzida na fábrica.

De qualquer forma, são conquistas tecnológicas notáveis, inimagináveis há algumas décadas atrás.

A caldeira de recuperação possui três missões vitais dentro da fábrica de celulose kraft:

- Queimar o combustível licor preto para gerar vapor superaquecido a altas temperaturas e pressões, em condições ideais para produzir energia elétrica e vapor para processo através do uso de turbogeradores;

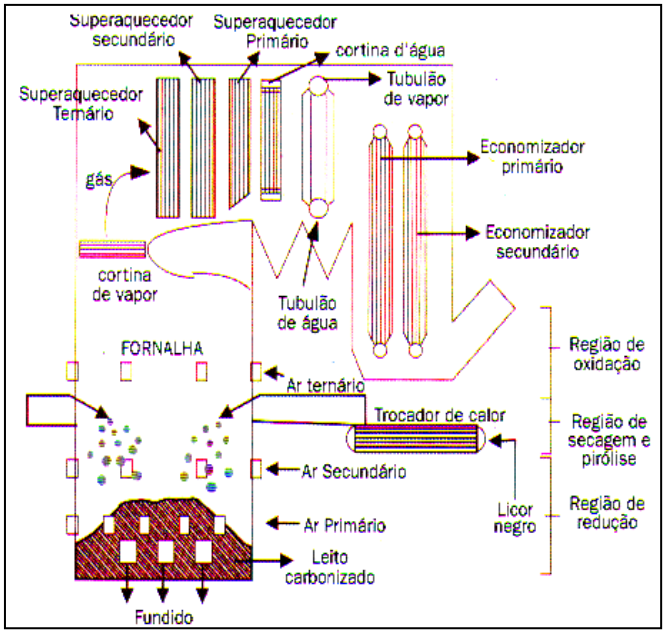
- Atuar como um reator químico para recuperar os compostos utilizados na polpação da madeira. A caldeira oferece como um de seus produtos um licor verde rico em sulfeto de sódio ($Na_2S$) e carbonato de sódio ($Na_2CO_3$). Esse licor verde não está totalmente ativado – falta ainda se converter o carbonato de sódio em soda cáustica, o que será feito na seção de caustificação e forno de cal de maneira simples e eficiente.

- Dar sumiço em uma enorme carga de material orgânico e compostos cáusticos residuais da etapa de polpação, evitando, de forma limpa, que esse material venha a se constituir em um problema ambiental.

Com enorme eficiência e em uma única instalação, a caldeira de recuperação consegue atuar em três vertentes vitais da fábrica kraft: prevenção de poluição, produção de álcali ativo a partir de resíduos e geração de energia de origem renovável.

A caldeira de recuperação é um equipamento robusto, de grandes dimensões e que requer operações seguras e eficientes. Não são raros os casos de grandes acidentes com caldeiras desse tipo. Os mais comuns são rompimentos das paredes por explosões causadas por vazamentos de água para dentro da fornalha, onde existe uma lava incandescente sendo queimada. Forma-se enorme quantidade de vapor que aumenta a pressão interna dentro da fornalha a ponto de

que a caldeira se fragilize e se rompa, com enorme estrondo – dai o nome de explosão. Existem explosões de grande magnitude, causando liberação de gases, vapores, partículas, calor, etc. Tudo isso pode ser tão intenso que às vezes temos acidentes fatais com pessoas associados às explosões de caldeiras.




Detalhes da constituição da caldeira de recuperação
Fonte: Alfredo Mokfienski, adaptado de Marcelo Cardoso

Uma caldeira kraft é formada por duas regiões típicas:

- ✓ A <u>fornalha</u> – onde o combustível é lançado para ser queimado e em cuja base se forma um leito ou camada de material fundente em combustão, muito parecido com uma lava de vulcão. Esse material em processo de fusão é denominado de "*smelt*" ou fundido, sendo o mesmo retirado continuamente da fornalha por bicas de extração de "*smelt*".

- ✓ A <u>região de trocas de calor por convecção</u>, que se situa no topo da caldeira e onde o altíssimo calor que é arrastado pelos gases de combustão é cedido para a água e vapor, que estão circulando dentro de tubos metálicos de altas resistências.

As duas principais formas de transferência de calor em uma caldeira de recuperação são:

- ✓ Radiação: a energia liberada pela camada incandescente sobre na fornalha aquecendo o meio gasoso que ali está atuando;

- ✓ Convecção: a energia que é transferida pelos gases em movimento ascendente para as partes metálicas que contêm água e vapor para serem aquecidos.

Para que isso tudo ocorra com sucesso, há que se dispor de um bem orquestrado sistema de injeção de licor preto forte para dentro da fornalha e de gases de combustão que são divididos em três categorias: primário, secundário e terciário. Os gases são repartidos para controlar a forma da camada de fundido, para garantir uma queima controlada em atmosfera redutora e para reduzir a quantidade de poluentes causadores de mau odor.

Graças a isso tudo se consegue a mágica de converter o sulfato de sódio ($Na_2SO_4$) adicionado como "make-up" em sulfeto de sódio. A atmosfera criada de baixo teor de oxigênio induz a que o próprio sulfato ceda seus átomos de oxigênio para oxidar o carbono em excesso no ambiente, liberando energia, pois se trata de uma oxidação química exotérmica. Uma magnífica obra da química kraft, descoberta por acaso por Carl Dahl.

$$Na_2SO_4 + 2C \text{ ----------> } Na_2S + 2\,CO_2 + \text{Calor}$$

$$Na_2SO_4 + 4C \text{ ----------> } Na_2S + 4\,CO + \text{Calor}$$

Por outro lado, devido à presença intensa de dióxido de carbono no ambiente, é impossível se converter o sódio do licor em soda cáustica. Ele acaba reagindo com o $CO_2$ e forma carbonato de sódio. Porém, isso não se constitui em problemas, já que é muito fácil se transformar o carbonato de sódio em soda cáustica – basta se caustificar o mesmo com cal hidratada, como veremos mais adiante.

A fornalha consiste em um grande incinerador onde o combustível é injetado por bicos pulverizadores de licor. Existem ainda dispostos os insufladores ou ventiladores de ar primário, secundário e terciário. Na parte inferior da fornalha se deposita a camada ou leito de fundido e nas laterais do fundo estão as bicas de saída do fundido derretido em temperaturas acima de 1.000ºC. O fundido cai diretamente sobre um filtrado aquoso fraco que vem da

área de caustificação para receber o mesmo e dissolvê-lo. Isso ocorre em um tanque de dissolução de "*smelt*", em reações violentas e que lembram explosões. Os sais minerais fundidos se dissolvem nessa água e formam o conhecido "licor verde", que tem esse nome em função da cor esverdeada causada pelo próprio sulfeto de sódio presente.

O licor verde é sujo, com muitas partículas de carvõezinhos não completamente queimados na fornalha e outros resíduos como óxidos de silício, magnésio, etc. Por isso, o licor verde é direcionado para a seção de caustificação para ser filtrado ou decantado e para depois ser convertido em licor de plena atividade, ou licor branco.

Acima da fornalha se situa a região de intensa troca de calor entre os gases quentes e a água e vapor. Essa seção é constituída das seguintes regiões:

- Superaquecedores de vapor;
- Cortinas de paredes tubulares para aquecimento de água;
- Bancada constituída de um balão de água quente e de um balão de vapor;
- Economizador de aquecimento de água;
- Exaustor de retirada dos gases.

Os gases de exaustão circulam por todas essas partes e vão cedendo calor. Para garantir esse fluxo existem dois sistemas operando simultaneamente: os insufladores de ar de combustão e o exaustor de ar (também conhecido como ventilador induzido), localizado na saída da caldeira.

O ar expulso da caldeira sai ainda aquecido (ligeiramente abaixo de 150ºC) e contem muitos poluentes como partículas de cinzas, gases oxidados e gases reduzidos, etc. As partículas de cinzas, se não fossem recuperadas em precipitadores eletrostáticos, resultariam em uma fumaça branca e densa, onde se perderiam enormes quantidades de sódio e as vantagens da recuperação se esvairiam em forma de poluição aérea. O material particulado recolhido representa algo como 5 a 9% do peso de cinzas e é

reconduzido ao licor preto forte, imediatamente antes dele ser injetado na caldeira para queimar.

A água que entra na caldeira é desmineralizada, pois ela vai ser convertida em vapor de puríssima qualidade. Ela vai sendo aquecida gradualmente, passando pelo economizador, cortinas e atinge a bancada. Essa bancada é desenhada para ter dois balões interligados – um cheio de água e o outro parcialmente com água. Esse último atua como um local para expansão do vapor – que se libera da água aquecida e se converte em vapor. Mais água é reposta pela interconexão com o balão de água e mais vapor se forma, de forma contínua.

O vapor formado na bancada ainda é de baixa pressão e temperatura. Ele precisa ser convertido em vapor superaquecido e para isso é direcionado aos superaquecedores, de onde o vapor superaquecido sairá com 450 a 500ºC e 70 a 105 bar de pressão. Nessas condições poderá alimentar os turbogeradores para se produzir eletricidade e vapor para o processo (variando entre 3 a 14 bar).

Os circuitos de água e de gases caminham em contracorrente: em um sentido os gases se resfriam e em sentido oposto a água e o vapor se aquecem.

Os dois principais produtos da caldeira de recuperação são, portanto:

- O licor verde, que é matéria-prima para a seção de caustificação e forno de cal;

- O vapor superaquecido, que é insumo para os turbogeradores, onde será convertido em energia elétrica e vapor de menores pressões e temperaturas para uso no processo fabril.

Durante muitos anos, as caldeiras de recuperação foram os principais gargalos processuais na fabricação de celulose kraft. Os fabricantes de equipamentos tinham dificuldades enormes em desenvolver tecnologias que resultassem em:

- Baixos níveis de odor;

- Escalas de produção compatíveis aos avanços na área de linha de fibras;

- Investimentos e custos de operação unitários adequados e atrativos (US$/tsa.ano e US$/tsa);

- Adequados níveis de automação, modelagem e controle de processo;

- Eficientes sistemas de limpeza de fuligem e de incrustações de cinzas, causadoras de entupimentos e restrições no fluxo de gases e na troca de calor.

Os tempos estão mudando, pois a investigação tecnológica já tem oportunizado inúmeros ganhos nesses quesitos, transformando os desafios passados em sucessos presentes. Hoje já se dispõem de caldeiras queimando 6.000 toneladas de sólidos secos por dia e já se anuncia que a meta dos 9.000 está sendo encarada como viável.

A economia de escala mais uma vez saindo vitoriosa e quebrando paradigmas.

Foto: Arauco Nueva Aldea, Chile

## ♦ CAUSTIFICAÇÃO E FORNO DE CAL

Foto: Veracel, Brasil

O objetivo da área de caustificação é converter o licor verde em licor branco, sendo esse último uma solução aquosa rica em elementos ativos para a polpação dos cavacos de madeira. Em sua constituição, o licor branco possui principalmente: soda cáustica, sulfeto e carbonato de sódio, porém só os dois primeiros são ativos.

Por outro lado, o forno de cal tem a missão de converter o carbonato de cálcio residual da etapa de caustificação do licor verde em cal virgem (viva, ou queimada), para que essa cal possa de novo ser utilizada de forma cíclica nesse processo.

A química desse processo é bastante simples, nada mais do que três reações explicam tudo o que é realizado por essa área e com bastante ecoeficiência.

O licor verde enviado pela área da caldeira de recuperação consiste em uma solução contendo altos teores de $Na_2CO_3$ e $Na_2S$. O sulfeto faz parte do álcali ativo, mas o carbonato não, ele é inerte para a polpação. Porém, é muito fácil converter o $Na_2CO_3$ em NaOH. Com isso, consegue-se recuperar a atividade do licor, que contendo soda cáustica e sulfeto de sódio é denominado de "licor branco". O álcali ativo é a soma de $Na_2S$ e NaOH, expressos sobre uma mesma base, que pode ser NaOH ou $Na_2O$.

Durante a caustificação, nem todo carbonato de sódio consegue ser transformado em hidróxido de sódio. Com isso, existe um residual de carbonato, que não atua na polpação, mas caminha pelos processos para nada – como inerte. A relação entre o álcali ativo e o álcali total titulável (NaOH, $Na_2S$ e $Na_2CO_3$) é denominada de atividade do licor. Em geral, ela varia de 80 a 86%.

As três reações químicas que explicam todo o conceito tecnológico da área são as seguintes:

- Extinção da cal: nada mais é do que hidratação da cal virgem, ou seja, conversão da cal virgem em cal hidratada:

$$CaO + H_2O \text{ ----------> } Ca(OH)_2$$

- Reação de caustificação do licor verde, que consiste na conversão do carbonato de sódio em soda cáustica, ao mesmo tempo em que se gera um precipitado de carbonato de cálcio (lama de cal)

$$Na_2CO_3 + Ca(OH)_2 \text{ ----------> } 2NaOH + CaCO_3$$

- Calcinação da lama de cal no forno, que visa resgatar a cal virgem para ser de novo reintroduzida no processo:

$$CaCO_3 \text{ -------}\Delta\text{--------> } CaO + CO_2$$

Um licor branco típico contem em geral cerca de 100 gramas de NaOH por litro, 40 gramas de $Na_2S$ e 25 gramas de $Na_2CO_3$. Isso representa cerca de 140 gramas de álcali ativo por litro e atividade de 85%. Todos os compostos expressos como NaOH.

Entretanto, nem tudo consiste de reações químicas simples e de maravilhosas operações nesse setor. Existem muitas impurezas presentes nos licores e lamas, bem como na cal virgem. É comum que nessas condições alcalinas se concentrem muitos dos elementos não processuais como silício, magnésio, etc. Também é uma área muito sensível à geração de odor e a gases de efeito estufa, em especial quando se usam combustíveis fósseis no forno de cal (gás natural e óleo combustível). Os produtos usados para repor as perdas

de cálcio (calcário calcítico e cal virgem comprada) costumam trazer impurezas ao processo e necessitam de muitos controles e atenção.

Existem oito etapas básicas que são realizadas nesse setor, que são as seguintes:

- Purificação do licor verde para extração do "*dregs*", que são resíduos sólidos presentes no licor verde;
- Extinção da cal;
- Caustificação do licor verde para conversão do mesmo em licor branco;
- Separação da lama de cal;
- Purificação do licor branco;
- Lavagem da lama de cal;
- Secagem da lama de cal;
- Calcinação da lama de cal no forno.

Para o sucesso dessas operações são utilizados clarificadores, filtros, caustificadores, tanques, misturadores, lavadores, precipitadores e o renomado forno de cal.

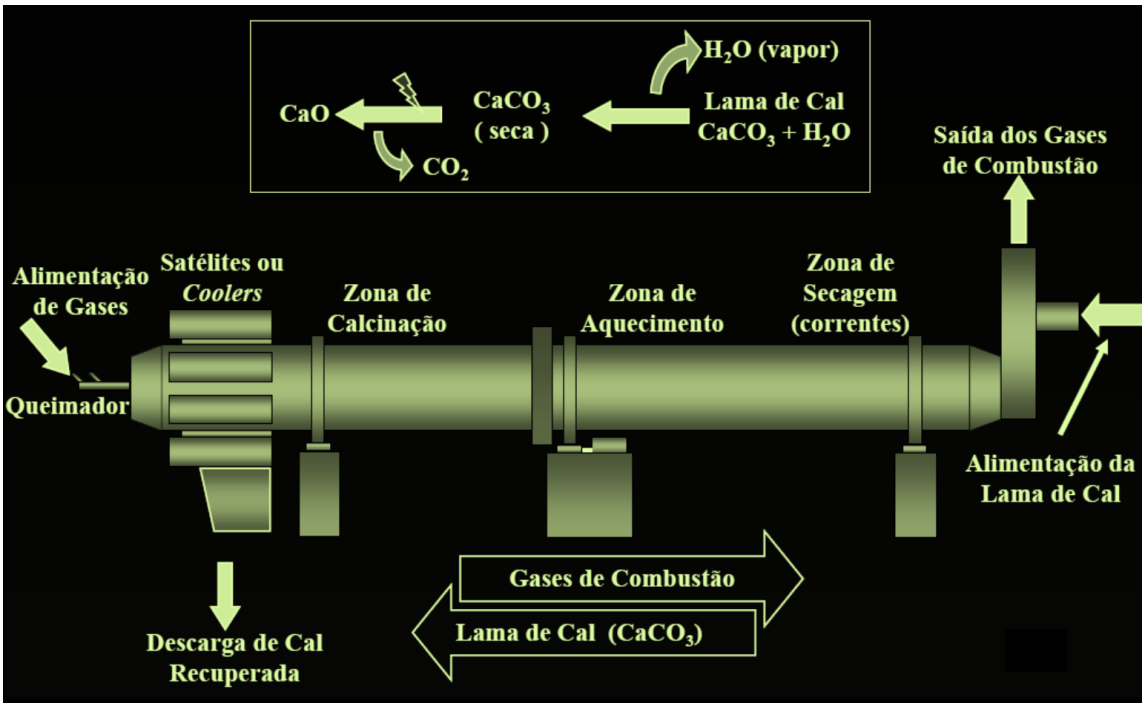
O outro resíduo sólido formado nesse setor é conhecido por "*grits*". Quando se faz a extinção da cal virgem, nem toda cal se hidrata – existem resíduos que são resultantes de impurezas da cal, presença de carbonato não calcinado, presença de pelotinhos de cal de baixa reatividade, etc. Por isso, o licor branco precisa ser purificado por filtração ou clarificação em decantadores.

Tanto o "*dregs*" como o "*grits*" podem conter residuais de soda cáustica e de sulfeto de sódio. Por essa razão, eles precisam ser muito bem lavados por duas razões: diminuição de perdas químicas e reduzir a agressividade do resíduo sólido gerado, para permitir sua reciclagem.

A lama de cal que será enviada ao forno também precisa mostrar baixo teor de impurezas e alto teor de secos. Com isso, se pode garantir uma melhor calcinação, uma cal virgem de melhor qualidade e reatividade, bem como menor geração de compostos de mau odor nos gases de exaustão do forno de cal.

O licor branco, por sua vez, precisa ser muito bem clarificado para restringir a entrada de partículas de carbonato de cálcio à polpação. Isso causaria muitas dificuldades técnicas no processo, como incrustações organominerais e "*pitch*".

O forno de cal é o ator principal dessa seção, por sua imponência externa. Consiste de um longo tubo cilíndrico rotativo (entre 80 a 150 metros) com um diâmetro delgado (3 a 5 metros).




Forno de cal com secagem interna da lama de cal
Fonte: Adaptado de Alfredo Mokfienski

Nas tecnologias mais modernas, a lama de cal costuma ser secada antes de entrar ao forno de cal, em um equipamento que se costuma chamar de "*LMD – Lime Mud Dryer*". Porém, nos fornos mais antigos, a seção inicial do forno tinha a função de secar a lama, usando para isso o calor dos gases quentes do forno que saem pela extremidade superior do mesmo.

De qualquer forma, a lama de cal caminha em contracorrente em relação ao fluxo de gases de exaustão. Do lado oposto à entrada da lama de cal temos um incinerador ou queimador ardendo com intensidade para se atingir as temperaturas necessárias para decompor termicamente o carbonato de cálcio. Atualmente, a maior parte dos fornos no Brasil foi convertida para queimar gás natural ao invés de óleo combustível. Trata-se de um combustível fóssil mais limpo e menos poluente. Também se costumam queimar gases residuais do processo como hidrogênio da planta química, metanol extraído do licor e de condensados da evaporação, etc.

Enquanto os gases de exaustão são retirados em uma extremidade do forno, pela outra se remove a cal virgem ou cal queimada produzida. Essa extremidade é a parte mais quente do forno, exatamente onde se situam os bicos queimadores para fornecer o calor necessário para a calcinação.

A área de caustificação e forno de cal é também crítica em termos de emissões aéreas, pois pode gerar diversos tipos de poluição: particulados, compostos de mau odor, óxidos de enxofre, gás carbônico pela decomposição da lama de cal, etc. Como os gases de exaustão saem em contracorrente com a lama em seu processo de secagem final no interior do forno, ocorre muito arraste de partículas finas e secas de lama de cal. Essas partículas precisam ser extraídas desses gases e reincorporadas ao processo como lama de cal seca. Utilizam-se precipitadores eletrostáticos para abater e recolher esse tipo de material particulado.

Atualmente, o controle ambiental dessas áreas tem sido muito efetivo, em oposição ao que acontecia em passado não muito distante. Há pouco tempo atrás essas áreas não eram vistas como críticas para abatimento de poluição hídrica, aérea e de resíduos sólidos. Hoje, esses setores estão tão otimizados que sequer necessitam ter um duto de saída de efluentes. Até mesmo a água de chuva que vier a cair sobre a área pode virar água de processo. Enfim, há ainda uma diversidade de comportamentos e de desempenhos ambientais, mas que as coisas estão melhorando – disso eu não tenho dúvidas.

==========

# PROCESSOS TECNOLÓGICOS INDUSTRIAIS
## SETOR DE UTILIDADES

Toda fábrica de celulose possui um setor denominado de "Utilidades", o qual engloba uma série de atividades industriais complementares ao processo kraft, tais como geração de eletricidade e vapor, tratamento de água industrial, efluentes e gestão dos resíduos sólidos gerados pelo processo fabril. Esse setor varia em escopo conforme as fábricas, podendo ainda receber adicionalmente alguns outros setores, tais como: geração de ar comprimido, desmineralização de água para abastecer as caldeiras, gestão de condensados de vapor virgem, armazenamento de resíduos perigosos, planta química para produção de dióxido de cloro, oxigênio, etc., etc. Em algumas fábricas, até mesmo a área de manutenção é incluída nas ditas

utilidades. Em outras, diversas dessas áreas são terceirizadas e passam a outras empresas especializadas que se integram no arranjo produtivo liderado pela empresa âncora de fabricação de celulose de mercado.

Para não tornar esse capítulo por demais extenso, nos limitaremos a dar destaque aos tópicos maiores desse setor, que são a cogeração de eletricidade e vapor, o tratamento e consumo de água e a geração e gestão de efluentes hídricos e de resíduos sólidos.

## ♦ COGERAÇÃO DE ELETRICIDADE E DE VAPOR

Foto: Cambará S/A, Brasil

A indústria de celulose e papel é grande consumidora de energia. Em países grandes produtores desses itens como Brasil, Estados Unidos, Canadá, Finlândia e Suécia consiste em um dos 5

maiores segmentos industriais de consumo. Nos Estados Unidos é a terceira usuária de energia na indústria, ficando atrás somente da indústria do petróleo e da indústria química. No Brasil, o mesmo modelo acontece – terceira colocada na indústria de manufatura, sendo superada apenas pela indústria de alimentos e bebidas e pela indústria do ferro/aço. De acordo com a BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel, em 2010 a matriz energética setorial tinha 66,3% de sua composição energética como sendo de licor preto gerado nas fábricas de celulose kraft (integradas ou de celulose de mercado); 18,5% de biomassas energéticas (cascas, lenha, resíduos de madeira, etc.); 8% de gás natural e 5.5% de óleo combustível. Portanto, apenas 14% de combustíveis fósseis e 85% de recursos energéticos renováveis.

Graças às modernas termelétricas e sistemas de cogeração, o setor de celulose de mercado gera a maior parte da energia elétrica consumida nessa área de fabricação, plantando assim um fator importante de competitividade setorial. A cogeração, ou geração simultânea de eletricidade e vapor, representa parcela importante da energia elétrica gerada no setor, sendo que ainda está crescendo em novas instalações. Frente a isso, a energia é um insumo importante e relativamente dominado no setor. As fábricas modernas de celulose de mercado (e as não tão modernas, também) são praticamente autossuficientes em energia, valendo-se de fontes de combustíveis próprias e renováveis, como licor preto e biomassas energéticas.

Apenas o forno de cal consome ainda cerca de 1 a 1,5 GJ de combustível fóssil por tonelada seca ao ar de celulose. Ainda assim, a maioria das fábricas está trocando o óleo combustível poluente que vinha sendo queimado no forno de cal por gás natural, mais limpo e de menor impacto ambiental. Pequenas quantidades de óleo diesel são usadas em arranques de fábricas e em geradores de emergência, mas esse percentual é desprezível em termos de balanços nacionais.

O gás natural e o óleo combustível são importantes fontes energéticas para as fábricas não integradas de papel e fábricas de papéis reciclados (com preparação da massa a partir de aparas). Opostamente às fábricas de celulose de mercado, que possuem inclusive excedentes de energia elétrica para venda a terceiros, as fábricas integradas e não integradas de papel são deficitárias em sua geração de eletricidade. Geram vapor suficiente para suas máquinas térmicas, mas a quantidade de energia elétrica associada a essa geração térmica é insuficiente, mesmo pelo uso de cogeração. Em

geral, são quase sempre dependentes de fontes externas de eletricidade. É por essa e outras razões que as fábricas integradas e não integradas de papel conseguiram criar uma cultura mais firme em termos de ecoeficiência energética em relação às fábricas de celulose de mercado, já que pagam por uma energia cara e comprada.

O setor de papel e celulose utiliza basicamente os seguintes tipos de energias em suas operações:

- Calor para cogeração (vapor superaquecido de alta pressão para movimentar turbo-geradores e produzir energia elétrica e térmica);

- Calor de processo (vapores de média e baixa pressões para aquecimentos diversos);

- Calor recuperado ou calor secundário (calor trocado em trocadores de calor, economizadores, transferências de condensados, etc.);

- Força motriz (energia resultante da ação de motores sobre um eixo móvel em bombas, picadores, refinadores, etc.);

- Energia de refrigeração (energia usada em refrigeração de água para plantas químicas e sistemas de ar condicionado);

- Energia para processos eletrolíticos (energia usada em células de cloro-soda, geração de clorato de sódio, etc.);

- Iluminação: iluminação de interiores e exteriores;

- Outros tipos: energia elétrica usada em escritórios, equipamentos de controle, etc.

Em cada uma dessas situações podemos ter índices de eficiência diferentes e variados, muitas vezes com baixos resultados no aproveitamento e na utilização dessas energias. Frente à diversidade tecnológica setorial, muitas vezes encontramos uma situação de excepcional eficiência em uma fábrica onde existem alguns usos desastrosos para o mesmo tipo de energia. É por essas razões que o envolvimento de terceiros em programas de

diagnósticos e auditorias energéticas pode ser considerado bastante recomendável para nossas fábricas.

As razões para se trabalhar um programa de uso racional de energia no setor são muito claras e dentre elas podemos citar:

- Há forte tendência de dificuldades futuras no suprimento de energia, mesmo das nossas admiradas biomassas energéticas, que começam a ser disputadas por outros setores (biocombustíveis, geração de calor por outras indústrias, produção de carvão vegetal siderúrgico, etc., etc.);

- Há fortes possibilidades de uma competição global mais intensa pelos recursos energéticos renováveis;

- Há tendências seguras para crescimento da participação dos custos de energia nos produtos, principalmente pelo encarecimento dos recursos energéticos;

- Há ainda fortes tendências para redução nos preços de venda de produtos de celulose e papel em função de competitividade acirrada nos mercados;

- As pressões ambientais serão cada vez mais intensas sobre a geração de gases de efeito estufa, não apenas sobre o gás carbônico fóssil, mas também sobre o metano, óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono, etc.

Frente a isso tudo, o percentual de participação da energia nos custos de fabricação da celulose e do papel tenderá a aumentar na composição dos itens mais expressivos da planilha de custos industriais.

A tabela a seguir oferece uma consolidação dos dados energéticos de processo para fábricas kraft dotadas de melhores práticas e tecnologias de produção:

| | Calor de Processo GJ/tsa | Energia elétrica de processo – MWh/tsa |
|---|---|---|
| Fábricas de celulose kraft branqueada de fibra curta | **9,8 – 12,25** | **0,500 – 0,650** |
| Fábricas de papel cópia ou gráfico branco – Não integradas | **4,5 - 8** | **0,60 – 0,85** |
| Fábricas de papéis sanitários brancos - Não integradas | **5 - 7** | **0,85 – 1,15** |
| Fábricas integradas de papel kraft branco de impressão e escrita | **14 - 16** | **1,1 – 1,4** |
| Fábricas de papel reciclado (integradas, desde a preparação das aparas) | **5 - 9** | **0,8 – 1,2** |
| Fábricas de polpa destintada - DIP ("*Deinked Market Pulp*") | **0,5 – 1,5** | **0,4 – 0,8** |

Uma conclusão importante a ser aprendida dos dados energéticos é que a integração de fábricas de celulose de mercado com outras fabricações é uma oportunidade muito sábia e ecoeficiente. A integração do "cluster" papeleiro definitivamente agrega ecoeficiência energética ao setor. Enquanto sobra energia elétrica na fábrica de celulose de mercado, falta eletricidade na fábrica não integrada de papel. A integração desses dois tipos de produção equaliza, aperfeiçoa e consolida em uma única unidade produtora e consumidora essas duas manufaturas. Além disso, a fábrica de celulose de mercado não mais precisará consumir vapor e eletricidade para formar e secar a folha de celulose e depois embalar os fardos. São economias de cerca de 0,14 a 0,16 MWh/tsa de eletricidade e de 1,7 a 2,5 GJ/tsa de energia térmica. A integração é um importante fator a promover redução de consumo de energias, tanto elétrica como térmica.

Em algumas situações, a integração vai além da fabricação de celulose e papel. São formados verdadeiros "clusters" de base florestal, englobando fábrica de celulose, fábrica de papel, serrarias, fábrica de aglomerados, fábricas de produtos químicos, etc. com uma única central de geração de energia térmica e elétrica por cogeração. Também a simplificação ocorre em nível de tratamento de efluentes, águas, sistemas gerenciais, etc. A integração no "cluster" (agregados ou arranjos produtivos, como chamam alguns) oportuniza reduções

de custos de produção, simplificação nos investimentos de capital, melhores distribuições de energia e redução de perdas de transmissão, bem como simplifica áreas administrativas, gerenciais, laboratoriais, de marketing, etc. Resultam ganhos em consumos específicos, reduções de custos unitários, e aumentos de resultados financeiros. Raramente um "cluster" bem equilibrado e projetado demandará fonte externa de energia, tanto térmica como elétrica. Mesmo que haja alguma sobra de vapor, as turbinas de condensação/extração ("*CEST = Condensing/Extracting Steam Turbines*") darão conta do excesso de vapor de forma eficiente, sem ter que se desperdiçá-lo.

No caso brasileiro, há uma forte ênfase na construção de fábricas extremamente eficientes de celulose de mercado, tirando todas as vantagens possíveis da economia de escala em unidades de produção estado-da-arte. Os baixos consumos específicos de energia são conseguidos pela instalação de fábricas com as melhores tecnologias disponíveis e de idades tecnológicas muito recentes. Infelizmente, esse não é o modelo mais ecoeficiente em termos energéticos, apesar de oferecer consumos específicos baixos em função da economia de escala e das excepcionais eficiências operacionais.

Hoje no Brasil, as fábricas de celulose de mercado mais recentes estão sendo projetadas e construídas para produção de 1,0 a 1,5 milhões de toneladas de celulose de mercado por ano. Essas fábricas acabam sempre tendo um excedente de vapor a ser condensado e um excedente de energia elétrica para venda a terceiros. Esse excedente de energia elétrica para venda pode atingir entre 0,2 a 0,5 MWh/tsa.

Apesar dessa busca pela eficiência operacional e escala de produção, há ainda muita diversidade no setor de celulose e papel brasileiro. Nem todas as fábricas são estado-da-arte e também o estado-da-arte é transitório. Em pouco tempo, as tecnologias se aperfeiçoam e as exigências energéticas mudam também. Há um consenso de que as fábricas futuras demandarão cada vez menos vapor, mas o consumo específico de eletricidade poderá aumentar ligeiramente, pela busca de tecnologias que trabalhem em consistências mais elevadas e com menos água e pela introdução de equipamentos tipo "*kidney*" (rins depuradores) que irão demandar consumos adicionais de eletricidade. As modernizações tecnológicas resultarão em fábricas que vão trabalhar a consistências maiores e

com muito menos água. Será muito menos vapor para aquecer esses fluxos de massa e filtrados, mas as potências dos equipamentos motrizes poderão aumentar.

De qualquer maneira, essa ampla diversidade tecnológica que temos no Brasil oferece distintas e variadas possibilidades de implementações e ganhos em ecoeficiência energética. A ecoeficiência energética está mostrando potenciais de ganhos que variam entre 5 a 25% no consumo unitário de energia, dependendo da configuração industrial e cultura energética de cada unidade produtiva. As oportunidades são maiores para economias em vapor do que para eletricidade. Isso porque a famosa crise elétrica que o País viveu no início dos anos 2000's por carência de chuvas fez com que a indústria se mobilizasse para ecoeficiência energética no setor elétrico. Frente às pressões causadas naquela época, foram incorporadas medidas profiláticas e sanitárias em conservação de energia elétrica processual com muito sucesso em nossas fábricas, em especial nas fábricas de papel não integradas. Com isso, as oportunidades em racionalização no uso da energia elétrica de processo mostram oportunidades de ganhos inferiores aos de economias em vapor (calor ou energia térmica).

Programas de conservação de energia e de racionalização desse uso costumam ser muito favoráveis às empresas do setor. Em diversas épocas passadas o setor se mobilizou para melhores resultados em conservação de energia. É interessante citar o importante papel de duas associações de classe: a BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel e a ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. São fortes braços a apoiar o setor na elaboração de estudos, diagnósticos, desenvolvimento de indicadores, programas de "benchmarking" energético, etc. Outro importante parceiro do setor nos anos 70's a 90's foi o IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Ainda existem vivos e dinâmicos em muitas bibliotecas do setor alguns manuais de conservação de energia editados pelo esforço técnico do IPT nos anos de 1978 (3 volumes) e 1985 (2 volumes).

Um programa organizado e institucional para ecoeficiência energética setorial pode colaborar para melhorias das operações de nossas fábricas como um todo e não apenas nos aspectos energéticos. Existem oportunidades para redução de custos de produção, aumento de produtividade, otimizações de performances, venda de excedentes energéticos, etc. Enfim, tudo que nossos

executivos apreciam ouvir e ver acontecer. Infelizmente, alguns ainda não perceberam as vantagens desse tipo de programa.

Quando a conta de energia é alta, como no caso das fábricas não integradas de papel ou nas de papéis reciclados (inclusive papéis sanitários reciclados), as pessoas são mais sensíveis a mudanças, pois o bolso ajuda a pressionar ações de melhoria de custos (e de performances, por consequência). Portanto, as fábricas não integradas devem continuar priorizando mais intensamente a gestão da energia, especialmente no caso de fábricas existentes em processos de modernização.

Já as fábricas de celulose de mercado, essas estão sempre atentas a expansões de capacidade produtiva, com modernizações e construções de novas linhas de fibras integradas ou não às antigas. Nesses casos, é muito comum a busca pela melhor tecnologia disponível para essas novas linhas, com novas instalações modernas e já comprovadas tecnologicamente. O setor de papel e celulose, até mesmo pelos altos custos de investimentos e longos prazos para maturação financeira, é muito ligado a tecnologias eficientes, mas já devidamente comprovadas. Portanto, para o caso brasileiro, podemos no momento esperar sempre por novas e modernas fábricas, com elevadas eficiências operacionais. Elas deverão ter eficiências melhores em consumos de água, energia elétrica, vapor e demais insumos. Entretanto, dificilmente teremos instalada no Brasil uma geração tecnológica absolutamente inovadora em conceitos produtivos, antes que já esteja comprovada industrialmente em alguma outra parte do mundo (em geral na Escandinávia ou América do Norte, por exemplo). Por exemplo: fala-se muito em fábricas associadas às biorrefinarias para geração de biocombustíveis renováveis; ou então com gaseificação de biomassa para uso de energia limpa no forno de cal; fala-se também em secagem da folha úmida de papel por impulsos ("*impulse drying*"); como também se fala em precipitação de lignina do licor preto para aproveitar a mesma em outras oportunidades de mercado. Esses saltos tecnológicos deverão certamente acontecer primeiramente em outros locais, para depois serem implementados nas nossas fábricas – disso eu não tenho dúvidas. Há até certo ponto uma aversão a saltos tecnológicos considerados perigosos ou arriscados – como seria o caso das biorrefinarias (produção integrada de celulose e biocombustíveis), muito badaladas atualmente nos países desenvolvidos. Mais uma vez, isso é perfeitamente compreensível em

um País que tem escassez e custo caro para o capital, além de tributação excessiva sobre os investimentos.

Apesar de termos no setor fontes de energia muito limpas e renováveis, como o licor preto concentrado e as biomassas florestais; além de processos de geração muito eficientes como a cogeração; não podemos nos acomodar e nos dar por satisfeitos. Mesmo os energéticos limpos e renováveis podem ser otimizados em seus usos, obtendo-se assim ganhos expressivos em economias de recursos naturais e em recursos econômicos. Definitivamente, a ecoeficiência energética para nossas fábricas resultará em menores necessidades de combustíveis, sejam eles fósseis ou renováveis. São recursos naturais que podem ser economizados, ajudando a Conservação, não apenas da Energia, mas da Natureza.

Biomassas – Cascas e cavacos de madeira

Biomassa – Lenha fina

## ♦ CONSUMO DE ÁGUA E FECHAMENTO DE CIRCUITOS

As fábricas de celulose kraft de mercado e as de papel são grandes consumidoras de água. Isso ocorre desde a invenção do papel, que foi idealizado para ser formado usando uma diluída suspensão de fibras vegetais e uma peneira para reter as mesmas na forma de uma folha molhada. Ao mesmo tempo em que as fábricas captam grandes volumes de água, como parte importante dessa água se contamina nos processos industriais, ela deve ser tratada e lançada aos corpos de água como efluentes. Outra parte importante da água captada se perde por evaporação, para os pisos, acompanhando resíduos e produtos, etc. Essa perda pode variar entre 10 a 20%, dependendo da maneira adotada para gestão dessa água e dos desenhos das instalações, especialmente do projeto conceitual dos sistemas de recuperação de perdas e de conservação de águas.

Há não muito tempo atrás, por volta do início dos anos 70's, as fábricas de celulose eram bastante abertas em seus circuitos de água, com consumos de água por tonelada de polpa que chegavam a 250 m³ - um exagero. Como a água sempre custou pouco (apenas o custo de captação, tratamento e distribuição) a filosofia era a de se usar bastante água. O porquê disso é fácil de entender: quanto mais água se usa no processo, mais fácil fica a eliminação de contaminantes indesejáveis que causam cor na celulose e

incrustações no processo. Coloides, íons minerais, grupos cromóforos, extrativos da madeira, radicais orgânicos, limo, finos pegajosos, tudo isso pode ser mais facilmente eliminado pela abertura do processo. Se os circuitos são fechados, esses contaminantes podem vir a se acumular e causar problemas e perdas de produção e de qualidade. Por isso, sempre foi mais fácil ao técnico "trabalhar com o circuito mais aberto". Por essa razão, não há muito tempo atrás, atingíamos essas enormidades de 150 a 250 m³ de consumo de água por tonelada de celulose e de 25 a 40 m³ por tonelada de papel. Algo definitivamente inaceitável para os padrões de hoje.

O mundo mudou nesse período, as empresas e as tecnologias se aperfeiçoaram, procurando consumir menos água e gerar menos efluentes. Chegamos hoje a valores entre 25 a 40 m³/tsa na fabricação da celulose kraft branqueada de eucalipto e a 5 a 15 m³/tonelada na fabricação do papel branco. É uma grande melhora, mas não podemos ainda aceitar isso como bom. A água ainda é muito barata, entre 0,05 a 0,12 US$/m³ (2 a 4 US$/tsa), mas o custo do tratamento dos efluentes não é tão barato assim (entre 7 a 15 US$/tsa de polpa, dependendo da intensidade e do tipo). Isso tudo só falando em custos diretos, sem depreciação, sem computar a perda energética associada, etc..

Isso leva à velha regra muito fácil de entender: quanto mais água uma fábrica capta, maior será o volume de efluentes que ela gerará. Nada mais natural, é a conhecida e divulgada lei de conservação das massas de Lavoisier, "tudo o que entra deve sair" para se manter o balanço material. Óbvio então que os custos aumentam conforme usarmos mais água, já que haverá mais água a bombear e efluentes a tratar.

Vemos ainda hoje, as empresas com necessidades de fazer grandes investimentos em enormes estações de tratamento de água e de efluentes. Vemos ainda que há muitas possibilidades de melhorias no que diz respeito a diminuir o consumo de água. Ao lerem o que vou lhes contar, tenho certeza que entenderão meus pontos de vista. Certamente que estou ciente que a tal fábrica de "efluente zero" é algo ainda distante. Hoje já temos boas fábricas de celulose kraft branqueada de eucalipto operando com cerca de 20 m³ de efluentes/tsa. Temos fábricas de papel com 5 a 10 m³/tonelada de papel branco. Eu estou feliz com a evolução, mas não satisfeito

ainda. Tenho visto muitas melhorias, mas elas não me convencem que são estado-da-arte ou melhores práticas, pois se apoiam muito no tratar, tratar e tratar do que no prevenir, segregar, reusar e disciplinar. Tudo é uma questão conceitual, que parte da própria concepção do projeto das fábricas. Se tivermos uma fábrica existente de celulose kraft branqueada projetada e operando com 30 $m^3$/tsa de efluentes, toda sua instalação foi engenheirada para o uso de água em questão e consequente geração de efluentes: redes, bombas, tubulações, tanques, decantadores, reatores biológicos, etc. Mudar a operação da mesma para menores consumos é bem mais difícil do que projetar uma nova fábrica para um consumo bem menor; talvez a metade disso - com maiores facilidades.

Em parte, o problema é cultural e começa nas áreas de engenharia, nas pessoas que desenham as fábricas. O conceito se baseia muito pouco na segregação das águas. A filosofia conceitual é se misturar todas as águas residuárias e se tratar tudo em uma enorme e custosa estação de tratamento de efluentes. Uma vez mais a tal de economia de escala a cabrestar o raciocínio. Com isso, são misturadas nos efluentes tipos de águas limpas, quase potáveis, que poderiam ser perfeitamente reusadas no processo. Exemplos disso: águas de selagem, águas de refrigeração, águas de lubrificação de gaxetas, águas de purga das caldeiras, condensados das máquinas secadoras de folha, águas de lavagem de pisos, água das chuvas, etc. Somente nessas águas de boa qualidade enviadas para efluentes podemos alcançar cerca de 20% do total de água descartada. Lembrar que ainda jogamos muita água para a atmosfera na forma de vapores ou neblinas (vapores das máquinas secadoras das folhas de celulose ou de papel, fumaças das caldeiras, neblinas nas torres de refrigeração de águas e de efluentes, etc.). Somente as torres de refrigeração usadas para baixar a temperatura da água quente de processo ou a temperatura do efluente bruto jogam de 1,5 a 2 $m^3$/tsa de água para a atmosfera. Difícil aceitar que volumes tão grandes de água industrial e de efluente bruto acabem indo para a atmosfera, sendo respirados pelas pessoas nas vizinhanças dessas torres. Para mim, esse sistema de refrigeração é definitivamente inaceitável. Implica em perder muita água e em jogar água e efluente para a atmosfera. Muito melhor seria o uso de trocadores de calor fechados (placas e troca indireta) ou torres com condensadores para abater essa neblina.

Outra coisa importante é se distinguir bem os números quando falamos deles. Consumo de água é uma coisa, geração de efluentes é outra. Quase todos medem a geração de efluentes (mais fácil, um ponto só a medir e é legislado). Os consumos de cada setor e os pontos de perda de água nas fábricas são medidos por poucos. Também não é muito difícil de ser feito. Com pouco esforço se pode ter um bom balanço de entradas e saídas de todas as águas na fábrica. A partir dai, fica mais fácil monitorar e controlar...

Há muitos pontos evidentes e de razoável perda:

- Na evaporação superficial de enormes lagoas de aeração ou na lagoa de emergência;
- Na evaporação da neblina das torres de resfriamento;
- Na evaporação dos pisos e pátios;
- Na secagem da madeira e dos cavacos na floresta e no pátio (os cavacos de madeira, dependendo de sua umidade entram com cerca de 1 a 1,5 $m^3$/tsa de água no processo);
- Nos vapores e neblinas dos secadores, caldeiras, etc.;
- Nas lavagens de equipamentos;
- Na água que acompanha os resíduos sólidos descartados ou enviados para compostagem (muito pouca atenção se dá ao teor de umidade de resíduos sólidos. Para um resíduo com 20% de consistência, a cada tonelada seca desse resíduo teremos quatro toneladas de água que é perdida juntamente);
- Nas perdas de vapor e de purgadores;
- E muitos pontos mais...

Em resumo, há muitas perdas de água, por essa razão a diferença de cerca de 10 a 20% entre água captada e efluente devolvido ao corpo receptor. Essa percentagem pode ser maior ou menor, dependendo das tecnologias e da gestão da água na fábrica.

Outro grande problema é a falta de distinção entre as diversas águas. O setor se acostumou a usar água industrial, quase potável, para tudo: águas de selagem, águas de refrigeração, água de lavagem das toras, água de lavagem de pisos. Um desperdício, pois a maioria desses usos poderia ser feita com água recuperada ou mesmo com algum efluente.

Se analisarmos criteriosamente a qualidade das águas que circulam dentro da fábrica de celulose, vamos notar que cerca de 70 a 80% delas tomam contato com contaminantes e se sujam de uma maneira mais acentuada, mas entre 20 a 30% só se aquecem ou se contaminam muito pouco e acabam no efluente bruto. Porque não desenhar circuitos específicos para recuperar essas águas e se reusá-las novamente? Lembrem-se que as águas podem recircular mais de uma vez ao dia na fábrica. As unidades de resfriamento de águas quentes de processo, hoje comuns nas fábricas de celulose, resfriam entre 100 a 200 m³/tsa de água, pois essa água vai e volta diversas vezes à unidade de resfriamento ao longo do dia.

Outro problema usual nas fábricas é a perda de água por desbalanceamentos nas diferentes unidades: falta água em uma área e sobra muito em outra. Onde sobra acaba indo ao efluente. Uma possível solução seria se manter uma lagoa ou tanque de regulação de fluxos para águas limpas. Sou definitivamente a favor de uma grande lagoa para receber as águas boas já mencionadas, que ao invés de irem ao tratamento de efluentes, iriam para essa lagoa. Dai, poderiam abastecer a ETA - Estação de Tratamento de Água. Economizaríamos investimentos no final de tubo (na ETE) e aperfeiçoaríamos o início de tubo (na ETA). Fácil, econômico e mais sustentável.

Outra coisa histórica que prejudica o consumo de água é a forma de se veicular a polpa de uma área para outra na fábrica. Usa-se praticamente em todas as situações o bombeamento de polpa a baixa consistência (2,5 a 3,5%). Significa que a cada tonelada de polpa bombeada, bombeamos junto cerca de 30 m³ de água. Essa água, que acompanha a polpa que sai de uma área em direção a outra, leva, além de polpa, contaminantes como colóides, *pitch*, íons, radicais orgânicos, compostos coloridos, matéria orgânica dissolvida, finos, cargas minerais, compostos voláteis com cheiro (VOC's), compostos com alguma toxicidade (AOX), etc. Estamos então transferindo polpas e porcarias. Devemos mudar logo esse conceito. Espremendo a polpa em prensas lavadoras a 30%, retemos muita dessa água no próprio setor e transferimos mais polpa e menos porcarias para a área seguinte no processo. Ao invés de 30 m³/tsa, estaríamos transferindo 2,5 m³/tsa. Uma enorme diferença a favor do mundo da racionalidade. Felizmente, já estou vendo isso acontecer, timidamente em algumas fábricas de médio porte, usando esteiras transportadoras para transferência de polpa a mais alta consistência

entre setores. Entretanto, os grandes projetos ainda não estão incorporando esses conceitos.

Esteira de transporte de polpa – ao invés de bombeamento

O uso de água na fabricação de celulose e papel é ainda vital. Sem ela, é impossível se produzir com as tecnologias atuais. O que precisamos fazer e logo é aprender novos conceitos e reeducar pessoas, quebrando paradigmas antigos existentes. Há que se reengenheirar as fábricas novas e não copiar modelos antigos.

A seguir, apresento a vocês dez estratégias para sua reflexão e ação, quando acharem conveniente que assim seja:

- Identificar perfeitamente as qualidades das águas (as contaminadas, os tipos de contaminantes, as águas limpas e quentes, as águas com sólidos suspensos, etc., etc.);

- Segregar muito bem os diferentes tipos de águas (não misturar águas boas e limpas com águas contaminadas). Existem contaminantes sólidos (fibras, areia, terra, etc.) e contaminantes orgânicos e químicos dissolvidos (matéria orgânica, residuais químicos, etc.) – cada caso precisa ser identificado e avaliado.

- Ter sistemas de coleta, tratamento e armazenamento para esses tipos distintos de águas, conseguindo com isso uma estação final de tratamento de efluente mais eficiente, menor e de menor

custo. Hoje se envia todo efluente para uma ETE (Estação de Tratamento de Efluentes) com tratamentos primário (decantação ou flotação), secundário biológico e eventualmente terciário (clarifloculação, em alguns casos). Tudo passa por uma estação grande, pomposa, custosa e até certo ponto desnecessária. Por exemplo: por que enviar águas limpas e sem matéria orgânica para o tratamento biológico com lodo ativado se elas não possuem matéria orgânica (ou comida de microrganismos) para ser decomposta? Porque então não separar os efluentes mais fáceis de serem tratados ou aqueles que não necessitam ir para uma ETE e lhes dar uma solução próxima do local onde são gerados para serem reusados no processo? Acredito muito mais no uso de alguns tratamentos específicos setoriais, em menor tamanho e adequados aos efluentes sendo gerados nas áreas, complementarmente a uma estação de tratamento final para tratar o que sobrar. Dentre esses diversos e importantes potenciais para tratamentos setoriais podemos citar: trocadores indiretos de calor, condensadores, evaporadores, destiladores, incineradores, filtros, membranas tipo osmose reversa, "*wetlands*" construídos (leitos cultivados), "*demisters*", etc. Tenho visto com singular interesse algumas empresas pensando em adotar tratamentos terciários com membranas (osmose reversa ou ultrafiltração). Acho notável a tecnologia, mas tratar assim todo o enorme volume do efluente misturado da fábrica é ingenuidade, é gastar muito sem necessidade. Um tratamento desse tipo deveria ser aplicado apenas em efluentes segregados que requeiram esse tipo de tratamento. De qualquer forma, nas áreas onde se instalarem tratamentos de efluentes setoriais, as águas tratadas poderiam ser reusadas na própria fábrica ou na mesma área. Por exemplo, um "*wetland*" construído é muito indicado para tratar a água de toda a área de estocagem de toras e preparação de cavacos. Os efluentes dessa área possuem compostos naturais de casca, madeira, areias, argilas, etc. Um leito cultivado se complementaria muito bem a uma área de estocagem e preparação da madeira. A coleta das plantas do leito cultivado forneceria biomassa adicional para uma possível caldeira de biomassa da fábrica.

- Evitar concentrar íons, extrativos da madeira, finos, limo, colóides, etc., pela adequada gestão das águas e constante monitoramento;

- Reusar águas limpas residuais ou águas recuperadas em posições onde seja possível fazê-lo, substituindo água industrial virgem;

- Reciclar dentro da fábrica parte do efluente tratado. Tenho visto com frequência a expressão jubilosa de nossos técnicos dizendo que "a qualidade do efluente tratado é melhor do que a qualidade da água do rio". Se isso é assim mesmo, ainda que entendendo o problema da acumulação de cloretos, potássio, extrativos, etc., acredito que seja possível usar parte desse efluente em operações na fábrica ao invés de ser lançado todo ao rio. Ele poderia também ser em parte mesclado à água de alimentação da ETA - Estação de Tratamento de Águas, entrando como parte da água de alimentação na fábrica. Podemos também encontrar usos para efluentes não finais, como filtrados alcalinos do branqueamento para molhar cavacos, efluente do tratamento biológico para lavar toras de madeira, etc., etc.

- Reduzir o consumo de água nos pontos de consumo. Uma das formas de se conseguir isso é não colocar dutos de efluentes em áreas onde isso seja possível (caustificação, planta química, caldeira de recuperação, digestor, forno de cal). O operador será obrigado a reduzir consumos, pois não terá onde colocar um efluente que venha a gerar.

- Adequar ou projetar o seu sistema de coleta e controle de perdas ("*spills*") a uma filosofia conceitual de segregação, reuso e reciclagem.

- Fechar ao máximo o circuito na área da máquina de formação da folha. Se a polpa fosse enviada a 30% de consistência para essa área, não sobraria tanta água nesse setor. Esse tem sido um problema constante dessa área, geração de água ácida e muito limpa, que ou vai para o branqueamento ou para o efluente. O único ponto possível de se gerar um descarte de "efluente sujo" seria o dreno do depurador hidrociclônico. Mesmo assim, esse efluente que está a cerca de 1% de consistência poderia ser engrossado e a água e as fibras reaproveitadas. Vejam que uma fábrica normalmente descarta cerca de 0,1% de fibras pelo efluente dos "*cleaners*". Uma fábrica de 2.500 toneladas por dia,

joga por aí, cerca de 2,5 toneladas por dia de fibras e 250 metros cúbicos de água.

- Negociar clara e transparentemente com os órgãos de controle e legisladores de poluição para que os controles sejam feitos por carga (kg de poluente por dia) e não apenas por concentrações. A legislação dos parâmetros por concentração favorece o uso de maior quantidade de água nas fábricas e não incentiva o fechamento dos circuitos. Apenas em situações mais específicas, onde concentrações forem requeridas devido à fragilidade dos ecossistemas, é que isso poderia assim ser controlado.

Fechamento de circuitos de água é um termo genérico que está orientado a ações para reduzir o consumo de água e a geração de efluentes nas fábricas de celulose e papel. Há inúmeras formas de se fechar circuitos, depende muito da criatividade e das metodologias utilizadas pelos técnicos. Entretanto, fechar circuitos não pode ser confundido com transferir águas que sobram em uma área para outra área da fábrica. Isso até pode ser adequado em alguns casos, mas se não houver análise, disciplina e controle, há sempre o perigo dessa água transferida começar a sobrar em algum outro ponto da fábrica.

Fechar circuitos talvez possa ser relacionado com fechar torneiras, o que significa que em primeiro lugar devemos tentar reduzir o consumo nos pontos onde a água está sendo utilizada. Esse é o procedimento: identificar quanto de água usamos, qual a

qualidade dessa água que é requerida, quais as quantidades de águas desperdiçadas, quais as quantidades e qualidades dos efluentes gerados. Isso pode ser traduzido como um balanço de material de entradas e saídas de águas, DQOs (demanda química de oxigênio) e sólidos suspensos. Ficaríamos então com um conhecimento preciso do que está entrando e saindo de água e de seus principais contaminantes em cada setor da fábrica.

O segundo e muito importante questionamento seria: qual é realmente a qualidade da água que precisamos no setor em questão? Para lavar toras, precisamos de água limpa e tratada, ou poderia ser uma água recuperada, ou até mesmo um efluente? Qual a temperatura dessa água para lavar toras: fria, ambiente, quente? Existe alguma limitação a esse respeito? E assim para todas as situações.

Balanços de materiais e levantamentos de demanda de água podem ser facilmente realizados por qualquer técnico ou engenheiro químico em nossas fábricas, basta querer fazer. Existem inclusive softwares preciosos disponibilizados na web para isso.

O terceiro ponto seria identificar e caracterizar os desperdícios. Onde estamos usando mais água do que o necessário? Onde perdemos água que não deveria estar sendo perdida? Como evitar isso? O balanço mássico nos ajuda muito a identificar essas perdas que podem ser evitadas.

Tendo em mãos todos os balanços mássicos das diversas áreas da fábrica, agora sim temos um diagnóstico apropriado para continuar com nosso propósito de fechar circuitos. Por que digo isso? Porque tenho visto muitas experiências em nosso setor, de áreas tentando fechar seus circuitos sem muito conhecimento, sem sequer conhecer seus balanços de águas, seus fluxos e as qualidades dessas águas. O resultado é na maioria das vezes desanimador: pouco tempo depois a situação se reverte e as perdas até aumentam pela inadequada metodologia empregada. Logo, tentativa e erro não é a maneira correta de se fazer esse serviço de otimização.

Devidamente munidos das informações básicas necessárias, o próximo passo é usar de criatividade e de poder de negociação. Inovar é bom, mas convencer a quem será parte do problema e da solução é vital.

Amigos, coloquei para análise de vocês um número de pontos para profundas reflexões. Tenho me esforçado muito em minha carreira profissional para a melhoria ambiental do setor florestal e de produção de celulose e papel. Conseguimos melhorar muito, mas ainda há espaço para maiores e substanciais ganhos. Acredito que estamos muito próximos de se gerar algo como 10 a 15 m³/tsa de efluentes na fabricação de celulose kraft branqueada de eucalipto. Na fabricação de papel, porque não sonhar com 3 a 5 m³/tonelada? Hoje, os melhores valores que conheço para geração de efluentes em fábricas de celulose estão entre 17 a 23 m³/tsa. Baixar para 10 a 15 não é uma meta tão distante assim, concordam? Conseguido mais um passo, e depois outro mais, estaremos nos aproximando da fábrica de mínimo impacto ambiental, mesmo que ela ainda gere algum efluente e consuma água. Ficaremos - eu, vocês e a sociedade, todos orgulhosos e agradecidos. O meio ambiente também.

Sistemas eficientes de recuperação de perdas – uma necessidade nos dias atuais

Tenho tido oportunidades de conhecer magníficas estações de tratamento de efluentes em fábricas de celulose kraft branqueada de eucalipto. Entendo que elas refletem uma enorme preocupação dos investidores em controlar sua poluição e em estar dentro dos restritivos limites impostos pela legislação. Muito bom esse cuidado e essa preocupação por parte de nossos empresários e dirigentes de fábricas. Entretanto, sempre tenho um entretanto, não é mesmo? Isso tudo consiste em tecnologias de final-de-tubo, baseadas no conceito de que a poluição existe e por isso mesmo devemos tratá-la. Acontece, que essas estações de tratamento de efluentes que oferecem belíssimas fotos e muito orgulho de nossos técnicos, também têm seu impacto ambiental e ele não é pequeno. Elas consomem recursos naturais para serem construídas e operadas. Utilizam energia elétrica, água, produtos químicos, e geram resíduos em enormes quantidades, os principais dos quais são os lodos primário, secundário e terciário, além de emissões aéreas problemáticas, como os compostos orgânicos voláteis (VOC's).

A poluição hídrica acaba sendo transferida aos lodos - resíduos sólidos - a um grande custo ambiental e econômico. O lodo primário recebe os sólidos suspensos. Os lodos secundário e terciário recebem a matéria orgânica dissolvida. São fantásticos os pesos e os volumes de lodos gerados no dia-a-dia de uma fábrica. Como os lodos são difíceis de desaguar, seu peso seco é multiplicado por valores entre 3 a 6 vezes ao saírem úmidos. Mesmo que gerenciados, compostados, queimados, reciclados ou aterrados, eles representam impacto ambiental a ser evitado e minimizado. Muitas vezes, acabam virando passivos a serem monitorados para sempre.

Lodos & Lodos

Os investimentos que hoje estão sendo destinados a ETE's - Estações de Tratamento de Efluentes e a CRRS's - Centrais de Reciclagem de Resíduos Sólidos são enormes. Algumas empresas chegam ao exagero de comprar tratamentos com membranas (nanofiltração, ultrafiltração, osmose reversa) para todo o fluxo de efluentes, independentemente da qualidade das diferentes águas que vão compor esse efluente. Outras constroem extensos dutos, que caminham por terras de terceiros por dezenas de quilômetros para dispor o efluente ao mar, onde acreditam que o impacto será menor. Tudo isso representa alta demanda de capital e custos de depreciação e de operação elevados. Com isso, a competitividade diminui proporcionalmente, não restam dúvidas. Ao invés de se reclamar, talvez a solução esteja em mudar o modelo.

Sempre tenho dito e repetido insistentemente que a solução da poluição é para ser resolvida exatamente onde ela é gerada, onde nossa tecnologia ou nossos operadores falham ao lançá-la para ser tratada. Não adianta muito se ter grandes perdas químicas e de sólidos suspensos para a ETE e depois se tirar um efluente tratado limpíssimo, quase água pura, que muitos dirigentes teimam em dizer que "pode até mesmo ser bebido". O impacto ambiental continua grande assim, apesar do efluente tratado ter características excelentes.

O desperdício ambiental aqui ocorre de três formas:

- Pelo lançamento de "material bom" do processo ao efluente na forma de poluição;

- Pelas altas exigências ao tratamento de efluentes para tratar essas perdas;

- Pelas altas demandas em manejo, reciclagem, disposição e aterro dos lodos gerados.

Para mim, a solução ao problema do efluente em grande parte pode ser conseguida em função de respostas que dermos a uma frase muito simples: "o que eu devo fazer para reduzir as cargas em: material orgânico (DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio; DQO - Demanda Química de Oxigênio); SST - Sólidos Suspensos Totais; AOX (Compostos Halogenados Adsorvíveis), salinidade (condutividade); temperatura e fluxo do efluente bruto?" Por efluente bruto vamos chamar ao somatório de efluentes setoriais que é encaminhado para a ETE para ser tratado. Estamos falando de geração de efluente bruto e não tratado, ficou bem claro isso?

A meta final seria então gerar menos efluentes hídricos e ao mesmo tempo alcançar as exigências do órgão legislador em termos de concentrações (ppm, ppb, etc.) e de cargas específicas (kg/tsa) para os poluentes. É uma tarefa difícil, mas não impossível.

Tudo começa na forma de se projetar nossa fábrica. Em geral os técnicos escolhem as suas tecnologias, às vezes as mais charmosas do momento, outras vezes as de menores custos. Após montar a fábrica, calculam as cargas de poluentes setoriais e de águas e

projetam a ETE e o aterro de resíduos sólidos. Evidentemente, muitas das modernas tecnologias estão muito otimizadas, desenhadas para trabalhar com maior ecoeficiência, não tenho dúvidas disso. Entretanto, o que proponho é exatamente a mudança de foco: pré-definir qual o volume de efluente bruto que deveremos tratar (de efluente bruto – ficou claro?) e quais as cargas máximas de poluentes que deverão chegar à ETE. E com um nível adequado de desafio... Por exemplo, podemos definir que nossa fábrica terá uma geração específica de efluente bruto de 20 m³/tsa, uma geração de DQO no mesmo de 25 kg/tsa; de DBO de 8 kg/tsa e de Sólidos Suspensos Totais de 2 kg/tsa. Para ficar mais excitante, podemos pré-estabelecer que a temperatura máxima do efluente bruto ao chegar à ETE deverá ser de 40ºC e com isso, a ETE não terá torre de resfriamento de efluente. Se voltássemos a raciocinar em limites para efluentes tratados, como nos exige a lei, então colocaríamos nossos esforços de novo em construir enormes estações de tratar efluentes e não em solucionar o problema no processo industrial.

Para se conseguir restringir a saída de poluição e de fluxos de efluentes de cada área setorial, colocarei disponibilizados seis passos vitais, os quais lhes comentarei de forma bem simplificada (e até mesmo repetitiva, para ficar bem claro o conceito).

**Passo 01:** Selecionar tecnologias de processo de mínimo impacto ambiental, tais como:

- ✓ Deslignificação com oxigênio sem gerar efluentes;

- ✓ Estágio para hidrolisar quimicamente os ácidos hexenurônicos da polpa;

- ✓ Branqueamento "ECF Light", que reconhecidamente oferece efluentes mais claros, apesar de ser possível uma maior remoção de hemiceluloses que geram DQO não lignínico;

- ✓ Prensas lavadoras em toda a linha de fibras (mas que realmente resultem em polpas saindo com mais de 30% de consistência);

- ✓ Evaporação de altíssima eficiência e mínimo arraste de material aos condensados;

- ✓ Etc., etc.

**Passo 02:** Selecionar tecnologias de prevenção e que operem como barreiras às perdas de água, material orgânico dissolvido, fibras e compostos químicos, tais como:

- ✓ Eficiente sistema de prevenção de derrames, "*spills*", perdas;

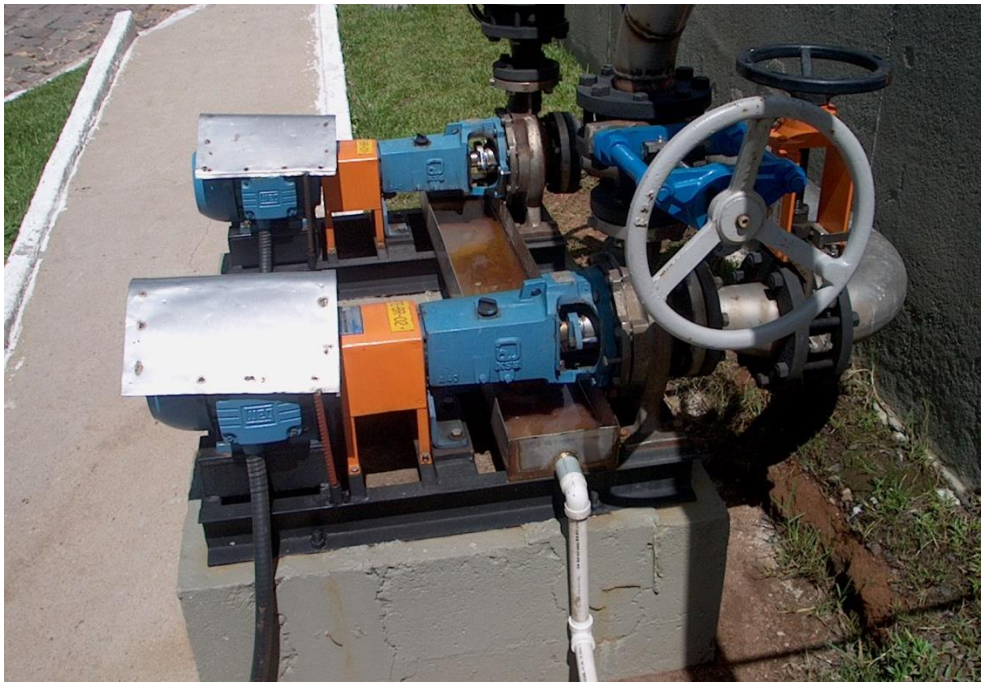
- ✓ Tanques universais em todas as áreas da fábrica para conter e retornar as perdas setoriais ao processo e não enviá-las ao tratamento de efluentes;

- ✓ Filtros de fibras para remover as fibras (sólidos suspensos) de filtrados tais como do branqueamento, máquina de secagem, licor preto, etc.;

- ✓ Filtro de fibras e de material descartado pelos "*centricleaners*" de massa branca, evitando com isso mandar esse material para o decantador primário. Esse material pode ser trabalhado em separado para recuperação de fibras em um sistema local, bem como a sua água recuperada;

- ✓ Lavagem em contracorrente em toda a linha de fibras, com mínimas aberturas de processo;

- ✓ Etc.; etc.



**Passo 03:** Selecionar tratamentos setoriais tipo "*kidney*" (tipo "rim purificador") transferindo parte da responsabilidade de reter as perdas ou de tratar essas perdas às áreas geradoras das mesmas. Podemos citar:

- ✓ Sistema de remoção de cloreto e potássio das cinzas da caldeira de recuperação do licor;

- ✓ Sistema de recuperação da água de lavagem das toras para remoção de terra, areia, gravetos, etc.;

- ✓ Sistema eficiente de destilação de condensados para recuperação de gases e compostos voláteis poluentes e combustíveis (exemplo: metanol);

- ✓ Trocadores de calor de contato indireto para recuperar o calor de filtrados do branqueamento e de condensados da evaporação;

- ✓ Sistema de membranas para efluentes setoriais contaminados, evitando se misturar os mesmos a efluentes menos contaminados e com isso inviabilizar a adoção dessa técnica por demandar muitas unidades de membrana;

- ✓ Etc.; etc.

**Passo 04:** Fechamento de circuitos e reuso de águas do processo, com medidas tais como:

- ✓ Segregar todas as águas limpas e já usadas e encaminhar as mesmas para nova oportunidade na ETA - Estação de Tratamento de Águas e não ETE - Efluentes. Dentre essas

águas destacam-se: águas de chuva, selagem, unidades hidráulicas, bombas de vácuo, condensados limpos, etc.

- ✓ Eliminar ou otimizar o uso e o tipo de torres de refrigeração que perdem demasiada água para a atmosfera, usando tecnologias de maior nível de recuperação de águas;

- ✓ Usar ao máximo o condensado limpo da evaporação na lavagem de polpa;

- ✓ Usar ao máximo possível o condensado semi-limpo para preparar licor branco na área da caustificação e para molhar os cavacos na pilha de cavacos (enviando-o como umidade de madeira ao digestor);

- ✓ Etc.; etc.

**Passo 05:** Adotar o lema "Prevenir perdas e segregar águas" - é para trabalhar na prevenção e não apenas no final-de-tubo.

**Passo 06:** Eliminar o problema na origem. Há diversas situações onde sugiro eliminar a alternativa de descartar efluentes, simplesmente proponho eliminar qualquer saída de água da área via efluentes: planta química, caustificação, digestor, lavagem de polpa não branqueada, caldeira de recuperação, etc. Sei que estou repetindo isso, mas é para ser fixado.

O tratamento de efluentes começa e deve ser praticado com intensidade no processo de fabricação de celulose, através prevenção, segregação e compromissos/especificações. As sofisticadas tecnologias de final-de-tubo são interessantes e necessárias, mas só depois de esgotarmos nossas alternativas no próprio processo. Por essa razão, quando as exigências legais para sua fábrica forem grandes, não pense de imediato em colocar um tratamento terciário com sulfato de alumínio ou policloreto de alumínio para flocular sua poluição hídrica e tirá-la como lodo. Esse impacto ambiental é também grande, pois: os compostos floculantes de alumínio apresentam ecotoxicidade, são demandantes de processos ambientalmente agressivos para sua produção e ao serem utilizados, geram enormes quantidades de lodos. Os tratamentos terciários de clarifloculação com sulfato de alumínio representam

cargas enormes de sulfato de alumínio (com 18 moléculas de água de constituição) base celulose (entre 12 a 25 kg secos/tsa). Significativa proporção dessa carga de sulfato de alumínio sairá na forma de flocos de lodo (cerca da metade dela). O restante sairá como sulfato de alumínio dissolvido, com algum efeito residual no corpo receptor. Ou seja, para se remover algo como 5 a 10 kg de DQO/tsa de celulose, acabam-se formando entre 15 a 22 kg de lodo terciário seco/tsa de celulose. Atentem bem para a importância desses números.

Do exposto, pode-se notar que tendemos a gastar muitos recursos naturais pensando que estamos minimizando impactos ambientais, como por exemplo, reduzindo em algo a cor e a DQO final do efluente tratado. Na verdade estaremos minimizando alguns efeitos e criando outros. Afinal, essa é a lei da Natureza, as coisas tendem a se movimentar em direções opostas, na busca do equilíbrio.

Hoje, com a modernização tecnológica e com compromissos da gestão ambiental das nossas fábricas, podemos ter valores excelentes de DBO, DQO, SST, AOX, condutividade, cor verdadeira e temperatura nos efluentes secundários. Basta garantirmos entrada na ETE de valores adequados no efluente bruto. Para sua referência, apresentamos a seguir alguns valores já praticados em fábricas modernas e ecoeficientes do setor de fabricação de celulose kraft branqueada de eucalipto. Observem a comparação entre os valores de cargas unitárias viáveis para efluente bruto, após tratamento biológico secundário e após terciário com clarifloculação com sulfato de alumínio.

Qualidade de efluentes em fábricas estado-da-arte de fabricação de celulose kraft branqueada:

| Unidades em kg/tsa | Efluente Bruto | Efluente Secundário | Efluente Terciário |
|---|---|---|---|
| DQO | 23 – 26 | 6 - 9 | 1,5 - 3 |
| DBO | 5 - 7 | 0,25 – 0,45 | 0,15 – 0,3 |
| AOX | 0,2 – 0,25 | 0,04 – 0,07 | 0,02 – 0,05 |
| SST | 1,5 - 2 | 0,4 – 0,6 | 0,3 – 0,4 |
| Cor Real | 30 - 45 | 10 - 15 | 2 - 4 |
| Condutividade (µS/cm) | 2.000 – 3.000 | 2.500 – 3.000 | 3.000 – 3.500 |

Sob o ponto de vista ambiental, um adequado processo de retenção de perdas e de prevenção interna no processo acaba por gerar um efluente bruto de baixo impacto, que tratado por um tratamento biológico secundário coloca-se como de muito boa qualidade e capacidade de ser recebido pela maioria dos corpos d'água. Se as autoridades preferirem um tratamento terciário complementar devido à fragilidade do ecossistema receptor em questão, sugiro considerar um sistema de estabilização em lagoas e "*wetlands*" (leitos cultivados ou áreas inundadas construídas). Para isso precisaremos de área física ampla, mas a maioria das fábricas de celulose as possui. Se for uma fábrica "*greenfield*" já poderá incluir isso no projeto. Nada melhor do que deixar a própria Natureza se incumbir de tornar o nosso bom efluente secundário em um líquido naturalmente equilibrado e rico em vida. Alternativas existem, quanto mais naturais elas forem e de menor impacto, melhor ainda. Entretanto, não descartar um tratamento terciário físico-químico ou de microfiltração. Há situações onde é a melhor opção - ou a única solução.

Como conclusão amigos, ao elaborarem uma avaliação de impacto ambiental de sua fábrica, aproveitem e façam uma para seu tratamento de efluentes também. Nada melhor do que usar a metodologia da ACV - Análise do Ciclo de Vida. A partir dela, surgirão muitas e criativas ideias para tornar seu processo de tratar efluentes e sua fábrica de geração dos mesmos mais ecoeficientes e com menores impactos ambientais. Estaremos então falando não apenas no impacto causado pelos fluxos e qualidades do efluente em questão, mas de todo o processo envolvido na geração, tratamento e disposição desse efluente e de seus resíduos sólidos.

Toda atividade industrial de porte gera impactos ambientais, isso é uma realidade inquestionável. Porém, quanto mais os conhecermos, mais poderemos reduzi-los em intensidade, magnitude, frequência, amplitude, extensão, risco, etc. Nossas fábricas serão melhores e nossos tratamentos de efluentes serão também de mínimo impacto.

## ♦ TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos se formam inclusive pela má gestão quanto aos insumos que entram nas fábricas

Os custos de implantação de unidades de combate à poluição e de estações de reciclagem de resíduos são onerosos e muitas vezes exageradamente desnecessários. Todas as ações que vierem para reduzir as cargas poluentes a tratar e os resíduos sólidos a dispor são muito bem-vindas, sob a ótica ambiental (e também empresarial).

Na maioria das vezes, o técnico da área ambiental se vê incapacitado de agir sobre as demais áreas da empresa. Sob a desculpa de que a fábrica não pode de forma alguma perder produção, o pessoal operacional muitas vezes não está tão atento às quantidades de cargas poluentes que geram para as estações de tratamento de efluentes e de tratamento e disposição de resíduos sólidos. Há sempre as desculpas de que a área não pode parar, de que as perdas de material orgânico e químico se devem a problemas causados pela equipe da manutenção, ou pelas exigências de se ter que atender demandas de produtos para os clientes, ou mesmo de se querer bater um recorde de produção. Esse rosário de explicações e justificativas só atesta a falta de compromisso para enfrentar esse problema ambiental de frente, com audácia, coragem e determinação.

Tenho visto muitas coisas boas no setor, mas também tenho visto coisas até mesmo horríveis na gestão de resíduos sólidos industriais. Hoje é cada vez mais comum as fábricas disporem de excelentes unidades de tratamento de efluentes e estações de resíduos, todas limpas, organizadas e de acordo com a legislação e os preceitos na norma IS0 14.001. As áreas de disposição dos resíduos utilizando bem planejados aterros industriais, com adequada gestão e monitoramento, também são comuns. Entretanto, isso não é a maioria. Em muitas empresas, o conceito de gestão de resíduos sólidos industriais é ainda absolutamente precário. Há situações em que a empresa diz aplicar resíduos em suas florestas como fertilizantes, mas o que se vê é o uso inadequado do solo para receber lixo industrial, sem cuidado algum. Felizmente, esses casos são a minoria.

Resíduos industriais ("*dregs*" e "*grits*"; cinzas de caldeira de biomassa) dispostos de forma inadequada em solo florestal

Muitas empresas terceirizam as operações de gestão, manuseio e disposição de seus resíduos sólidos. Usam algum aterro industrial autorizado pelo órgão ambiental, ou até mesmo um aterro de resíduos da municipalidade. Os custos em geral são altos e sempre há reclamos da gestão industrial de que eles encarecem os custos de produção e que devem ser diminuídos. Ao invés de se cuidar para reduzir a geração dos resíduos, prefere-se apertar firme na negociação com o terceiro que trata os resíduos para que ele baixe seus preços. Uma lógica inversa e perversa. A postura gerencial é, portanto, contemplativa e reclamativa. As fibras, as cargas minerais, os compostos químicos que se perdem são enormes e que faz esse gestor despreparado? Reclama que os custos de disposição de tudo de bom que ele joga fora são exagerados. Muita ingenuidade? Falta de entendimento da realidade das coisas? Talvez...

Deve ser bem entendido que existem nas empresas diversos tipos de resíduos sólidos. Há os típicos do processo produtivo kraft, gerados por ele, em algumas de suas fases: resíduos sólidos industriais do processo. Existem também os resíduos sólidos não processuais: bombonas de plástico, óleos e graxas, tambores, caixotes de madeira, arames, sucata metálica, restos de obra, lâmpadas fluorescentes, baterias, etc. Não me deterei sobre eles. Também vale para eles a meta de se resolver o problema na origem. Para esse tipo de resíduos existe muita literatura publicada, pois são comuns em todas as indústrias.

Os resíduos sólidos industriais do processo kraft são os seguintes:

**Resíduos sólidos orgânicos**:

- Cascas sujas;
- Serragem da classificação dos cavacos;
- Rejeitos e palitos incozidos pela polpação;
- Lodos secundários;

**Resíduos sólidos semi-orgânicos**:

- Lodos primários;
- Lodo terciário da clarifloculação com sulfato de alumínio ou policloreto de alumínio (PAC);
- Lodo do tratamento de água (lodo da ETA).

**Resíduos sólidos industriais inorgânicos ou minerais**:

- "*Dregs*";
- "*Grits*";
- Lama de cal;
- Cal queimada ou cal virgem;
- Cinzas da caldeira de recuperação do licor kraft;
- Cinzas da caldeira de biomassa;
- Sulfato ácido de sódio da geração do dióxido de cloro.

A maior ou menor geração de resíduos sólidos industriais de processo está associada a algumas causas principais que são as seguintes:

- Estado tecnológico disponível na fábrica (nível de modernização das máquinas);
- Idade da tecnologia;
- Uso da capacidade instalada da fábrica e gargalos operacionais de produção;
- Ritmo de produção (variação, instabilidades, paradas, etc.);
- Eficiência operacional;
- Cuidados da operação (atenção e qualificação dos operadores);
- Qualidade da manutenção das máquinas e sistemas;
- Compromissos e conceitos da equipe gerencial.

Quanto mais atrasada for a tecnologia empregada, menos ecoeficiente ela é. Logo, se cuidados extras não forem tomados, mais resíduos e mais poluição serão gerados. Uma caldeira que queima mal sua biomassa gera mais cinzas do que uma caldeira mais eficiente que consome melhor o carbono do combustível. Um mau lavador de "*dregs*" entrega o resíduo com muito maior teor de soda cáustica residual e com uma consistência muito mais baixa que um moderno sistema de lavagem desse material. Será então um "*dregs*" mais problemático e em maior peso úmido.

Algo interessante a mencionar a vocês é que em geral percebo por parte de alguns operadores e gestores até mesmo um comportamento que corresponde a uma espécie de desatenção ou mesmo de ódio aos resíduos, pois eles "complicam a vida" e "geram custos altos e indesejados". Exatamente por essas razões, existe muito desperdício de dinheiro na gestão de resíduos das fábricas. Em geral, o empresário não gosta de gastar com resíduo sólido, já que o resíduo não dá retorno ao capital investido, só "destroi valor". Acontece que essa destruição de valor pode ser minimizada. Com isso, a boa gestão dos resíduos aumenta a margem de contribuição unitária e aumenta os resultados líquidos da empresa. Ficou claro então que podemos ganhar dinheiro pelo gerenciamento dos resíduos. Ganhamos por perder menos, que é outra forma de ganhar.

Resíduos sólidos sempre significam custos, eles encarecem nossos custos de produção, quanto a isso não tenho dúvidas. Entretanto, reduzi-los melhora nossos resultados especialmente no menor desperdício de matérias-primas, menores custos com manuseio e disposição, menos trabalho envolvido, etc., etc. Sempre vale a pena reforçar o que é importante, portanto, não me considerem repetitivo. A ideia é essa mesma.

Apesar de todos esses valores envolvidos, muitos gestores de fábricas teimam em enxergar os custos dos resíduos sólidos apenas como os custos de seu manuseio, transporte e disposição. Ficam muitas vezes contentes quando conseguem vender um resíduo de seu processo por um valor, eu diria simbólico, de tão irrisório que é. Eu já lhes alertaria sobre o seguinte: se alguém quer comprar o seu resíduo é porque ele oferece vantagens, é um "lixo bom". Se não fosse, se você tivesse extraído tudo de bom dele, seu destino seria o aterro industrial. Logo, se você gerente de fábrica notar que existe uma disputa no mercado por seu lodo primário, ATENÇÃO, alguma coisa de errado está acontecendo em seu processo. É provável que você esteja jogando muita fibra boa fora e sequer percebeu. Mas seus clientes de resíduos, eles sim já notaram a sua ingenuidade e querem ganhar com ela.

Definitivamente, resíduos sólidos industriais são gerados por quaisquer tipos de atividades de fabricação. Costumam demandar gestão e tecnologias em dosagens maiores do que muitos oferecem

em suas fábricas. Toda tecnologia apresenta certo nível de perdas e de geração de resíduos. Algumas bem menos, outras mais. Acontece que mesmo a mais moderna e mais ecoeficiente tecnologia se mal operada vai perder muito mais e acabar virando eco-ineficiente. Cabe a nós gestores de fábricas entender muito bem isso e abraçar a gestão dos resíduos como se fosse algo tão importante como a gestão da própria fábrica. Os resíduos são sintomas das "doenças" de nossa fabricação. Revelam também as mazelas de nossos técnicos e as nossas ineficiências (tanto das máquinas, como das pessoas).

Produzir com perdas é como participar de um campeonato disposto a levar muitas bolas na própria rede. Eventualmente pode-se até mesmo ganhar o campeonato, mas a um nível de sacrifício muito maior. Ou porque os adversários são muito piores. Portanto, vencer vai depender de circunstâncias que não estão só em nossas mãos e controle.

Por muitos anos, as empresas acostumaram a encaminhar seus resíduos sólidos aos aterros industriais e sanitários, respeitando as exigências legais e as orientações emanadas dos órgãos de controle e fiscalização. Os objetivos eram os de evitar conflitos com a fiscalização, manter saudável a licença de operação da empresa e minimizar os riscos ambientais. Essa fase de apenas conformidade legal pode e deve ser melhorada. Podemos continuar cumprindo a lei e atendendo todas as exigências dos fiscalizadores, porém, podemos fazer isso tudo de forma muito melhor.

Com metas para redução ou eliminação de resíduos na origem, passamos a valorizar mais a prevenção ou redução. Porém, sem descartar a reciclagem para os resíduos impossíveis de serem eliminados após as otimizações para reduções. Com isso se reúnem os famosos R's ambientais (Reduzir, Reusar, Reaproveitar internamente, Reciclar externamente – e nessa ordem de prioridades).

Reduzir consiste em:

- Prevenir a geração;
- Otimizar a seleção e o consumo de matérias-primas;
- Racionalizar o uso dos insumos;
- Reduzir perdas e desperdícios, focando os pontos onde elas estão ocorrendo.

Reusar significa:

- Detectar onde estão ocorrendo as perdas e reintroduzi-las no processo de forma que sejam consumidas como deveriam sê-lo. Exemplo, uma perda de licor preto é devolvida ao processo, seguindo para a evaporação e caldeira de recuperação.

Reaproveitar (internamente) consiste em:

- Utilizar um material descartado em alguma outra operação.

Exemplo - uma água recuperada em uma área sendo utilizada por outra e para outra finalidade. Outros exemplos: varreduras de material orgânico sendo enviados para queima na caldeira de biomassa; recuperação de fibras perdidas no branqueamento e enviadas para a fabricação de um papel de segunda dentro da própria fábrica; recuperação dos restos de obras para aterros internos dentro da empresa, etc.

Reciclar (externamente) significa:

- Desenvolver subprodutos ou vendas a partir dos resíduos gerados de forma que possam ser comercializados externamente a clientes interessados, atendendo todos os requisitos legais para essas novas destinações.

Exemplos: composto agrícola produzido a partir de lodos; lama de cal vendida como corretivo de acidez do solo; resíduos da depuração sendo comercializado com fábrica de papel "*tissue*"; aplicação das cinzas das caldeiras de biomassa como fertilizante nos solos florestais; venda de lama de cal e cal queimada para fabricantes de argamassa; etc.

Esses procedimentos quando praticados nos garantirão:

- Muito menor geração de resíduos sólidos nos processos industriais;

- Redução nos gastos de matérias-primas, insumos e energia, com consequentes menores custos de fabricação;

- Aumento da vida útil dos aterros industriais de disposição final de resíduos sólidos;

- Redução das fragilidades potenciais de passivos ambientais;

- Maior garantia de atendimento às exigências legais;

- Redução de gastos com remediação de áreas degradadas;

- Respeito à cidadania dos indivíduos que trabalham com os lixos e das comunidades circunvizinhas;

- Garantia de menores impactos ambientais e sociais na área de influência do empreendimento;

- Diversificação na cadeira produtiva, gerando novos negócios a partir da comercialização dos resíduos;

- Maior respeito à Natureza e aos recursos naturais;

- Etc., etc.

Em tipos, esses resíduos não são muitos, mas em volumes e pesos, isso eu posso garantir que são significativos. Conforme o processo industrial, a geração pode variar de 50 a 850 kg de resíduos (peso úmido tal qual) por tonelada de celulose produzida. Isso significa, que ao mesmo tempo em que se produz nossa celulose de mercado, podemos ter uma "fábrica oculta" simultaneamente, produzindo resíduos sólidos. Tudo isso precisa ser muito bem avaliado, quantificado, otimizado e resolvido da melhor e mais correta maneira ambiental. Essa fábrica oculta demanda equipamentos pesados, áreas enormes de espaço físico, construções, estradas, pessoas, controles, monitoramento, fiscalizações, documentação, etc. Enfim, é uma atividade que ocorre paralela à atividade fim da empresa de celulose e papel. Em geral, a maioria dos gestores da fábrica não está atenta a ela, embora nossos clientes, investidores e acionistas possam considerar o fato de sua gestão como muito relevante. Muitos gestores técnicos só descobrem essa fábrica oculta quando se sentem absolutamente "atolados" de resíduos, não encontrando mais onde dispor os seus resíduos gerados nas suas operações industriais.

O charme da linha de fibras de qualquer fábrica praticamente aniquila a atenção sobre os resíduos. Tanto é fato, que na reunião diária de produção falam quase sempre (e muito), os gerentes de produção (linha de fibras e máquinas de produtos finais), de manutenção e das utilidades (caldeiras, águas e efluentes). Em geral, o setor de resíduos tem pouco espaço, ficando para falar algo ao final da reunião. Sempre comenta que as coisas correm bem, apenas tendo mais espaço quando algo anormal ou algum acidente ocorreu. Muitas vezes, as empresas se comportam em relação aos resíduos da mesma forma que muitas famílias em relação ao seguro de seus lares contra roubos. Só fazem o seguro depois de terem sido roubadas. Há empresas que só descobrem o problema dos resíduos depois que rompe uma barragem de um aterro e os resíduos contaminam grande extensão das áreas vizinhas ou algum rio da região.

A maioria dos resíduos sólidos industriais gerados no processo de fabricação de celulose é da Classe IIA – Não Perigosos - Não Inertes, logo não são considerados da classe dos perigosos. Entretanto, existem resíduos que são considerados perigosos (Classe I), pois são altamente cáusticos e podem oferecer problemas para a população circunvizinha. É o caso dos rejeitos do digestor (chorume muito alcalino, escuro e corrosivo), da cal virgem (alcalinidade elevada e corrosividade). Além disso, temos como perigosos os resíduos de óleos e graxas, baterias, lâmpadas fluorescentes, lixos radioativos, lixos hospitalares, embalagens com resíduos de produtos químicos, etc.

Como resíduos inertes praticamente só podemos citar as sucatas metálicas e de construção civil, restos de obras e o lixo seco da coleta seletiva na área administrativa.

É muito importante que no conceito de engenharia das fábricas que se eliminem as possibilidades de produtos químicos perigosos serem gerados e terem que ser removidos para fora da fábrica como resíduos. Isso agrega muito maior complexidade à gestão dos resíduos sólidos industriais.

Passaremos então a seguir a uma breve navegada por cada um dos principais resíduos sólidos gerados nos processos de produção de celulose kraft, sem nos atentar a detalhes sobre composições, tratamento e utilizações.

São eles:

- **Casca suja das toras de eucalipto**

A casca suja aparece em função de duas ocorrências principais: limpeza e varreduras do pátio de estocagem de toras e lavagem das toras descascadas. É um resíduo constituído de casca, folhas, galhos finos e muita areia/terra. Quanto mais suja ou mal descascada as toras de madeira, maior a sua geração. Quanto pior o pátio de toras em relação ao seu piso, manuseios e conservação, idem. São resíduos indesejáveis, pois seu nível de contaminação com terra é alto, a umidade também. Isso acaba desqualificando o material como combustível para a caldeira de biomassa, a não ser que se adotem medidas especiais de manuseio e separação. As formas mais usuais de se trabalhar esse resíduo são pela prevenção de geração e compostagem isoladamente ou em misturas com lodos orgânicos ou outros resíduos.

A geração é muitíssimo variável, bem como o teor de umidade e de outros contaminantes como areia, pedras, galhos, folhas, etc. Isso tudo depende de uma série de atores ao longo do processo e de seus cuidados: colheita da floresta, transporte florestal, tipo de pátio de estocagem de toras, lavagem das toras, etc., etc.

Os valores mais usuais variam entre 10 a 30 kg base úmida por tonelada seca ao ar de celulose. Trata-se de material extremamente úmido pela alta adição de água de lavagem para as toras. Sua umidade varia entre 60 a 80%. O teor de terra/areia chega em muitos casos a 25 a 50% base peso seco.

Casca suja do pátio de estocagem de toras

- **Serragem de madeira**

Trata-se de um resíduo pouco frequente, já que a maioria das empresas costuma queimá-la como combustível em suas caldeiras de biomassa. Entretanto, caso a empresa tenha geração de serragem como resíduo, ele é definitivamente um resíduo classe IIA – Não Inerte, pois a madeira costuma fermentar, libera chorume e existe o risco até de uma autocombustão espontânea.

Serragem de madeira

As quantidades geradas desse resíduo dependem muito da qualidade da madeira, dos picadores e do sistema de classificação de cavacos. Fábricas modernas, com sistemas eficientes de picagem e classificação e trabalhando com madeira clonal melhorada e mais uniforme geram no máximo 0,5 a 1% de serragem base madeira seca. Isso irá corresponder a 10 a 20 kg de serragem seca por tonelada de celulose, ou cerca do dobro em termos de serragem na umidade em que é gerada (cerca de 50%). Porém, ela dificilmente sai da fábrica, pois vira biocombustível para a caldeira de biomassa.

- **Rejeitos e palitos incozidos do digestor**

Trata-se de alguns dos piores resíduos da fabricação de celulose. Em geral, saem bastante úmidos, com residuais de licor preto livre que se libera para o solo, para o piso, para os veículos de transporte, para as ruas, etc. Deve-se de todas as maneiras evitar a sua saída da fábrica. É um dos resíduos mais típicos para ser reuso

de novo no processo, retornando ao digestor para recozimento. Outras alternativas são reaproveitamentos internos como produção de pasta semi-química ou queima na caldeira de biomassa.

Caso a fábrica opte por não reciclá-lo internamente, as gerações como resíduos sólidos são expressivas, entre 5 a 20 kg absolutamente secos por tonelada de celulose produzida. Isso em termos úmidos chega a triplicar.

Sistema hermético para recolhimento de rejeitos e palitos do digestor em função de seu potencial contaminante

Palitos da depuração da massa marrom

- **Lodos da ETE - Estação de Tratamento de Efluentes**

Lodo desaguado de ETE

As quantidades de lodos geradas são bastante variadas entre as diversas unidades produtoras de celulose de eucaliptos.

Essas taxas de geração variarão basicamente em função de:

- Perdas de fibras (lodo primário);
- Contaminações de areia e terra (lodo primário e lodo da desarenação);
- Perdas de matéria orgânica em efluentes setoriais (resultam em lodo secundário);
- Opção para tratamento terciário por clarifloculação com sulfato de alumínio ou policloreto de alumínio (lodo terciário);
- Qualidade da água bruta tratada na ETA – Estação de Tratamento de Águas e eventual envio do lodo da ETA para se misturar com o lodo da ETE.

Na maioria dos casos, a consistência desses lodos varia entre 15 a 35%, nas melhores situações esses valores mais altos são alcançados, mas não são usuais.

As quantidades geradas de lodos variam dentro das seguintes faixas:

Lodo primário: 0,8 a 6 kg absolutamente secos (kg a.s.) por tonelada de celulose seca ao ar (tsa)

Lodo secundário: 3,5 a 10 kg a.s. /tsa celulose

Lodo terciário: 10 a 20 kg a.s./tsa celulose

Em termos úmidos, essas quantidades variam em função do teor de umidade praticado no desaguamento/ prensagem ou centrifugação do lodo.

Deve ficar muito claro que a maioria das empresas não possui tratamento terciário, o qual só é solicitado em situações especiais com cursos d'água de baixos fluxos ou para áreas de turismo e lazer, etc. Quando temos lodo terciário, a geração de lodos é significativamente maior. Além disso, o efluente tratado com sulfato de alumínio tende a apresentar inclusive certa ecotoxicidade crônica devido ao residual desse químico de alumínio floculante. Por essas razões, o tratamento terciário vem sendo destinado apenas a fábricas em situações de localização ambiental delicada. Há estudos sendo realizados para utilização de outros floculantes químicos (PAC – policloreto de alumínio, compostos tanínicos, polímeros, etc.). Nas poucas fábricas que usam o tratamento terciário com floculação com sulfato de alumínio, uma parte significativa do peso seco do lodo é o material de sulfato de alumínio que se agrega ao lodo terciário.

- **Lodo da ETA - Estação de Tratamento de Água**

Até recentemente esse tipo de lodo costumava ser direcionado para mistura com os lodos primário e secundário da Estação de Tratamento de Efluentes. Entretanto, com o crescente conhecimento do papel ecotoxicológico do sulfato de alumínio, já é comum se retirar esse lodo em separado. Com isso, evita-se enviar sulfato de alumínio para a ETE, o que significaria de alguma maneira que o sulfato de alumínio poderia chegar até a colônia de microrganismos do tratamento secundário. Com isso, garante-se melhor qualidade em sanidade à cultura microbiológica do lodo ativado.

Esse lodo da ETA lembra muito um lodo de barro, de argila, sendo bem mais fácil de ser desaguado. Sua reciclagem externa também não é difícil, sendo procurado pelas empresas que fabricam tijolos e cerâmicas.

As quantidades geradas são pequenas, entre 0,5 a 0,7 kg absolutamente secos por tonelada seca ao ar de celulose. Em termos úmidos varia entre 1,5 a 2,5 kg (tal qual) por tsa celulose.

Lodo de ETA prensado

- **Cinzas minerais da caldeira de biomassa**

Excelente qualidade para cinza volante de caldeira com boa combustão da biomassa

A madeira e a casca dos eucaliptos que são utilizadas como biomassa energética possuem certo teor de minerais em sua composição. O teor de cinzas da madeira é bastante baixo (entre 0,3 a 0,5% base seu peso seco). Por outro lado, os teores de cinzas da casca das árvores dos eucaliptos já são bem mais altos (entre 3 a 8% base peso seco). Além desses minerais da constituição, a biomassa energética também possui contaminações de terra/areia e pedras. Isso acaba por elevar seu teor de cinzas de forma variável, muito em função dessas contaminações e das proporções de casca e madeira queimadas.

Quando casca e madeira são queimadas nas caldeiras de força alimentadas por biomassa energética, elas liberam o carbono, para a geração de energia. Cinzas e contaminantes minerais sobram como resíduos. Esses resíduos são denominados de cinzas. Parte dessas cinzas tende a acompanhar os gases de exaustão, pois são partículas muito finas. Essas cinzas leves ("*fly ashes*") são capturadas pelos lavadores de gases ou pelos precipitadores eletrostáticos (ou filtros). Outra parte das cinzas, contendo pedras, materiais vitrificados e mesmo pedaços de madeira ou casca não queimados, sai pela parte de baixo da caldeira, nas limpezas das fornalhas. Essas cinzas são denominadas cinzas pesadas, cinzas de fundo, ou "*bottom ashes*".

Em função da qualidade da biomassa (dimensões dos cavacos, umidade, contaminações, etc.), da tecnologia de queima das caldeiras e da retenção pelos filtros, podemos ter maiores ou menores gerações de cinzas. Quando a biomassa não é tão adequada (dimensões, umidade, etc.) ou a tecnologia de queima é precária, pode sobrar quantidade variável de carbono nas cinzas. Diz-se que a combustão foi incompleta. Em caldeiras eficientes, o teor de carbono residual é baixo, entre 0,3 a 3% base peso seco das cinzas. Já para caldeiras menos eficientes, esse teor de carbono pode chegar a valores acima de 10% e até mesmo a 30%. Isso porque a caldeira pode estar sobrecarregada, a umidade da biomassa muito alta, ou a distribuição dos ares de combustão na parte interna da caldeira não é adequada. Isso conduz a um desperdício de energia potencial que a biomassa possuía, mas que não foi extraída na combustão. Esse desperdício energético pode atingir valores de 0,5 a 3% do que estava disponível no combustível. As cinzas passarão a conter um carbono na forma de carvão, com alto poder calorífico, apesar do alto teor mineral. Obviamente, com maiores teores de carbono residual, aumenta a geração de cinzas. Logo, a combustão incompleta resulta

em maior geração de cinzas como resíduo sólido em nossas fábricas. Teremos mais material a manusear, dispor, reciclar ou aterrar. A primeira forma de se reduzir as quantidades de cinzas geradas é otimizando a queima na caldeira de força.

Frente à ampla diversidade que temos, também é bastante variável a geração específica de cinzas pelas caldeiras de biomassa. Em termos de cargas específicas, a geração de cinzas varia entre 10 a 30 kg de cinzas absolutamente secas/tsa de celulose produzida.

Cinza de caldeira biomassa com teor elevado de carbono residual, sendo aplicada em povoamentos florestais de eucaliptos

- **Cinzas da caldeira de recuperação do licor kraft**

Cinzas químicas demandam exigências especiais para aterro industrial

As empresas de celulose kraft possuem hoje circuitos bastante fechados na área de recuperação de licor. Esse fechamento acaba por enriquecer os sólidos secos minerais do sistema de recuperação em íons cloreto e potássio. Ambos são indesejáveis para o processo, pois mudam a qualidade das cinzas dentro da fornalha da caldeira, tornando-as mais incrustáveis e mais corrosivas.

Por essa causa, algumas fábricas de celulose kraft precisam realizar purgas dessas cinzas para manter dentro do tolerável os níveis de cloreto e potássio. Cloreto e potássio são íons abundantes na natureza e adentram às fábricas e a seus circuitos principalmente pela constituição da madeira e insumos comprados. Através das purgas, perdem-se sais de sulfato e carbonato de sódio, mas com isso, elimina-se uma parte do cloreto e do potássio, trazendo-os a níveis de convívio. Infelizmente, algumas empresas purgam essas cinzas quentes diretamente para efluente, pois elas se dissolvem facilmente em água. Muitas vezes, fazem isso eventual e ocasionalmente, gerando cargas inadequadas para o efluente, em sua salinidade. Quem sofre muito com isso é a colônia de microrganismos do sistema de tratamento biológico. Considero que o descarte de cinzas para os efluentes é um ato de pouco respeito às nossas águas, já que esses sais passam incólumes por toda a estação de tratamento de efluentes, servindo apenas para aumentar a salinidade dos efluentes finais.

Já existem em funcionamento, e com boas eficiências, alguns tratamentos tipo "*kidney*" para remoção de cloreto e potássio das cinzas coletadas pelos precipitadores eletrostáticos das caldeiras de recuperação kraft. Com isso, recupera-se muito do sulfato e carbonato de sódio e resulta como resíduo uma solução concentrada rica em cloreto e em potássio. Sabendo-se que KCl é um produto interessante para a agricultura (fonte fertilizante de potássio), estamos estudando esse tema para desenvolver uso futuro.

As quantidades de cinzas purgadas dependem muito dos teores de potássio e cloreto nas madeiras e insumos (exemplo: soda cáustica). Dependem também do grau de fechamento dos circuitos, tanto dos líquidos, como das cinzas recolhidas pelos precipitadores eletrostáticos. Caso a fábrica não disponha de sistema "*kidney*" de remoção de cloretos, as cinzas devem ser removidas na forma de resíduos sólidos e recicladas ou aterradas. A geração de cinzas por purga no sistema de cinzas da caldeira de recuperação varia entre 5 a 15 kg cinzas absolutamente secas /tsa de celulose.

## • "*Dregs*" e "*Grits*" da caustificação do ciclo de recuperação do licor kraft

"*Dregs*" e "*Grits*" misturados

Os "*dregs*" e "*grits*" são resíduos sólidos industriais gerados no ciclo de recuperação do licor de cozimento do processo kraft.

Os "*dregs*" constituem-se em material fino e escuro, que se sedimenta facilmente na clarificação do licor verde kraft. Na verdade, trata-se de pequenos resíduos resultantes da combustão incompleta do licor preto que ocorre na fornalha da caldeira de recuperação. Essa espécie de carvãozinho ativo, de tamanho diminuto, lembra muito um pó de café, só que é muito alcalino pela presença de compostos cáusticos adsorvidos e/ou presentes de forma livre em sua superfície. Mesmo bem lavado, os "*dregs*" ainda mantém um residual cáustico e um pH elevado.

Os "*grits*" são resíduos formados na preparação da cal hidratada, quando se forma o leite de cal. Esse nada mais é que o resultado da hidratação da cal virgem (óxido de cálcio), formando-se uma solução de cal hidratada (hidróxido de cálcio). Como a cal virgem produzida no forno de cal não é absolutamente pura e tampouco é totalmente reativa, sobram resíduos de outros compostos vitrificados, areia, carbonato de cálcio não reativo, etc. Esses resíduos que não se dissolvem são removidos como "*grits*". É comum a presença de carbonato de cálcio nos "*grits*", pois a calcinação da lama de cal nunca é completa no forno de cal. Também nos "*grits*" se

agregam impurezas da cal ou do carbonato de cálcio comprados para "*make-up*" de cálcio no ciclo do cálcio. Para reduzir a quantidade de "*grits*" e melhorar a qualidade da cal virgem do forno e a filtrabilidade da lama de cal, muitos fabricantes de celulose kraft estão comprando cal virgem (CaO) da mais alta qualidade no mercado, como fonte de reposição de cálcio no processo. Consideram que mesmo com o preço mais caro da cal virgem de mercado, os ganhos em produtividade e eficiência térmica (lama de cal mais seca na entrada do forno) são plenamente recompensados.

A maioria das fábricas remove "*dregs*" e "*grits*" de forma misturada. Apesar de gerados em locais distintos na área de caustificação e preparo do licor, os "*dregs*" e "*grits*" são ambos muito alcalinos e demandam por lavagem vigorosa e de muita qualidade para recuperar os compostos de sódio e cálcio. A mistura de ambos e envio para um filtro lavador eficiente tem sido a forma de se conseguir isso sem se ter a necessidade de dois sistemas de lavagem. Após a lavagem em filtros a vácuo ou sistemas de prensa, o teor de umidade da mistura desses resíduos varia entre 40 a 55%.

A geração para cada tipo de resíduo tem sido relatada como:

"*Dregs*": 6 a 15 kg absolutamente secos/tsa celulose

"*Grits*": 0,9 a 2,5 kg absolutamente secos/tsa celulose

Em termos úmidos, a geração conjugada de "*dregs*" e "*grits*" varia entre 15 a 40 kg/tsa de celulose. Essa ampla faixa é função da qualidade da cal, das condições de combustão na caldeira, do dimensionamento do sistema de caustificação, da eficiência da lavagem e desaguamento, etc.

- **Lama de cal do ciclo de recuperação do licor kraft**

Lama de cal estocada para reciclagem interna ou externa

A lama de cal é um resíduo úmido que surge esporadicamente nas fábricas de celulose kraft. Sua geração ocorre nos momentos em que o forno de cal apresenta algum tipo de problema de manutenção ou operação (redução de carga ou parada). Como as fábricas não possuem o costume de parar a produção por causa do forno, elas passam a fazer a caustificação do licor a partir de cal virgem comprada no mercado até que ocorra a solução do problema de manutenção do forno de cal. Com isso, o ciclo de recuperação fica interrompido nesse ponto. Há entrada de cal virgem comprada, mas ocorre ao mesmo tempo uma sobra de lama de cal, já que o forno não tem condições de queimá-la e calciná-la. Quanto mais tempo o forno se mantiver parado e por mais tempo a situação persistir, maior será a geração do resíduo. Para paradas longas do forno de cal, as fábricas muitas vezes se veem em apuros, pois em geral não estão preparadas para manusear e estocar tanto resíduo.

O consumo de cal virgem por tonelada de celulose é bastante elevado (170 a 210 kg CaO/tsa de celulose). Como estequeometricamente falando a cada tonelada de cal virgem são necessárias no mínimo 1,79 toneladas de $CaCO_3$ pode-se notar que a cada tonelada de cal virgem comprada que for consumida nessas ocasiões, sobrará quase o dobro de lama de cal base seca. Essa

situação é ainda piorada porque a cal virgem é produzida ou comprada a quase 100% secos, enquanto a lama de cal tem consistência que varia entre 60 a 80%. Logo, paradas do forno de cal são desastrosas ou um enorme pesadelo para quem gerencia resíduos sólidos em fábricas de celulose kraft. O ideal seria que esse resíduo pudesse ser de novo reincorporado ao sistema após o retorno de operação do forno de cal. Quando a fábrica possui condições adequadas para estocar a lama de cal, ou quando as quantidades são compatíveis à capacidade de absorção pelo processo, isso tem acontecido. Já há situações que as quantidades são tão significativas, que a única solução do gestor da fábrica é descartar a lama como resíduo sólido.

Como a geração desse resíduo ocorre de forma intempestiva e desconcertante, as quantidades geradas são absolutamente imprevisíveis. Por isso mesmo, existem enormes variações entre os dados das fábricas de celulose kraft. Há fábricas que passam muito tempo sem gerar lama de cal como resíduo. Em outras, trata-se de situação usual e crítica. As quantidades geradas dependem da idade e estado do forno de cal e sistema de lavagem e desaguamento da lama.

Em situações mais características, quando as fábricas optam por purgar e por remover alguma lama de cal para purificação do sistema, ou quando sofrem algum contratempo operacional no forno, as quantidades médias geradas são variadas conforme a seguir:

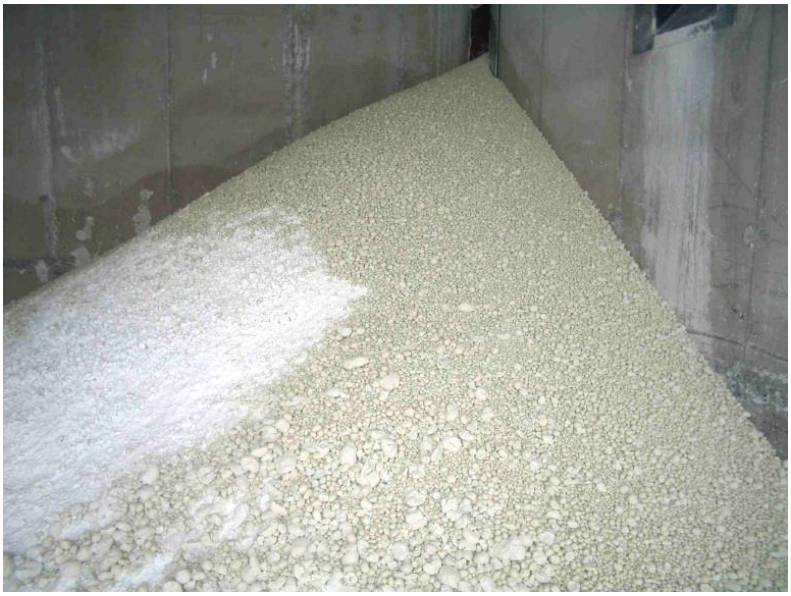
Lama de cal base 100% seca: 2 a 30 kg/tsa celulose

Lama de cal base 70% seca: 2,5 a 40 kg/tsa celulose

- **Cal virgem da caustificação do ciclo de recuperação do licor kraft**

A cal virgem ou cal queimada é um resíduo perigoso classe I gerado pelo processo. Essa classificação é função de sua corrosividade, alto pH e capacidade de se hidratar e contaminar solos, águas. Pode até mesmo causar danos às pessoas, pois é um composto ativo e reativo. Sua geração é eventual nas fábricas de

celulose. Ela só ocorre em situações de problemas do forno de cal, quando o forno, por exemplo, tem suas incrustações internas removidas. Há situações de escape de pelotes de cal virgem dos satélites do forno, ou perdas desse composto nas operações. Existem ainda situações onde a cal fica com sua qualidade muito ruim (vitrificação, baixa reatividade, etc.) e os operadores decidem por purgar uma parte dela para melhorar o processo com a adição de cal virgem comprada de boa qualidade. Entretanto, a boa gestão dos resíduos sólidos reza o seguinte: cal virgem não é de forma alguma para ser tratada como resíduo sólido. Ela precisa ser vendida como produto químico especial, ou então deve sempre retornar ao processo em uma operação de reutilização interna (no próprio forno ou para acertos de pH no tratamento de efluentes).



Cal virgem ou cal queimada: material que não deve existir como resíduo sólido

De maneira muito geral, pode-se dizer que as fábricas têm capacidade de gerar cerca de 0,5 a 1,0 kg de cal virgem como material descartável/tsa de celulose. Entretanto, elas não devem retirar isso para fora da fábrica como resíduo, talvez como subproduto vendável e legalizado para emissão de notas fiscais de produtos e não de resíduos. Podem também, como sabemos, reaproveitar a mesma na própria fábrica.

- **Sulfato ácido de sódio da planta química de geração do dióxido de cloro**

Na geração do dióxido de cloro, oxidante utilizado no branqueamento da celulose, tem-se como resíduo, para a maioria dos métodos de produção desse composto, um material conhecido como sulfato ácido de sódio. Na verdade, trata-se de um composto misto entre sulfato de sódio e ácido sulfúrico, também denominado de sesquissulfato de sódio ou $Na3H(SO_4)_2$ .

A geração de sesquissulfato de sódio não é pequena nas modernas fábricas de celulose. Apesar de ele ter destinação internamente dentro das próprias fábricas de celulose kraft como fonte de sódio e de enxofre ao processo, às vezes ele pode sobrar no processo. Isso porque sua geração pode ser acima das necessidades como "make-up" no sistema de recuperação do licor kraft.

Conforme o sesquissulfato ácido de sódio é gerado como um resíduo na planta química, ele é dissolvido em água quente e encaminhado para ser misturado ao licor preto que está em processo de recuperação. Dentro da caldeira, na combustão do licor preto, tanto seu sódio, como seu enxofre são incorporados ao licor na forma de sulfeto de sódio. Com isso, garantem a elevação ou manutenção da sulfidez do licor branco.

Ocorre que quando a geração ultrapassa as necessidades do "make-up", a sulfidez do licor começa a se elevar para valores acima de 40%, e com isso, aumentam os riscos de emissões de odor pela fábrica de celulose. Os compostos reduzidos de enxofre são temidos, pois, quando gerados acima de certos limites, trazem problemas ambientais às fábricas. Dessa forma, há situações onde se deve descontinuar por um tempo a adição do sesquissulfato para o sistema de recuperação do licor. Com isso, ele tende a sobrar como resíduo. Por ser altamente ácido, trata-se de um resíduo classe I, perigoso e corrosivo. A alta acidez do sesquissulfato torna-o problemático como resíduo do processo. Essa acidez também não é desejável para o sistema de recuperação do licor, que é alcalino. Quando o sesquissulfato ácido é misturado ao licor preto, sempre ocorre uma reação de consumo de soda cáustica, abaixamento de pH e liberação de gases de mau odor. Por essa razão, os sistemas mais modernos de geração de dióxido de cloro já possuem uma maneira de cristalizar

o sulfato de sódio ($Na_2SO_4$) e de remover por lavagem a solução ácida fraca ($H_2SO_4$). Essa solução de ácido sulfúrico pode ser reusada na própria planta química ou então ser utilizada para acertos de pH ou no estágio ácido do branqueamento da celulose.

A geração de sesquissulfato ácido de sódio, como $Na3H(SO_4)_2$ corresponde estequeometricamente a cerca de 1,05 toneladas de sesquissulfato por tonelada de dióxido de cloro produzido. Já quando se decompõe o sesquissulfato e se extraem cristais de $Na_2SO_4$, a geração de sulfato de sódio se reduz a praticamente um terço do que era gerado como sesquissulfato. Teremos então a geração de 0,35 toneladas de $Na_2SO_4$ por tonelada de $ClO_2$ e de 0,72 toneladas de ácido sulfúrico ($H_2SO_4$) por tonelada de $ClO_2$. Definitivamente, gerações mais fáceis de administrar e mais ecoeficientes para a fábrica. Teremos menos enxofre indo para o sistema de recuperação kraft e sobrará um ácido sulfúrico como insumo para a área do branqueamento.

$$4\ Na3H(SO_4)_2 \ \text{----------}\Rightarrow\ 2\ Na_2SO_4 + 6\ H_2SO_4$$

Existem ainda algumas tecnologias de produção de dióxido de cloro que necessitam de catalisadores a base de molibdênio, vanádio, platina ou manganês. Por se tratar de íons metálicos considerados perigosos, nas situações onde isso ocorre, os cuidados com esse resíduo devem ser inclusive muito maiores.

==========

# PROCESSOS TECNOLÓGICOS INDUSTRIAIS
## CONTROLE DAS EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

Desde a invenção do processo kraft, quando pela primeira vez compostos de enxofre foram introduzidos junto à soda cáustica para a digestão da madeira, é que a indústria de celulose alcalina passou a ter que gerenciar os problemas referentes à emissão de forte e desagradável odor. As tecnologias de produção de celulose e de recuperação do licor preto mantiveram-se relativamente pouco eficientes para evitar a geração e liberação de odor até praticamente os anos 70's. Entretanto, o odor, mais comumente referido como fedor pela população, não era o único dos problemas de emissões atmosféricas dessa indústria. As perdas de partículas químicas como cinzas da caldeira de recuperação e cinzas volantes e fuligem da combustão incompleta das caldeiras de força também sempre foram relevantes. Os primitivos lavadores de gases e os ciclones para remoção de partículas tinham baixas eficiências e as fumaças eram densas, feias, mal cheirosas e escuras.

Fábricas de quê? De fumaças?

A solução que a indústria de celulose kraft encontrou para minimizar os problemas de relacionamento com as comunidades foi se esconder longe dos centros urbanos, instalando suas fábricas em locais distantes. Eram apenas cercadas pelas vilas de seus funcionários e de outras pessoas interessadas naquele tipo de industrialização. Algo que fez muito mal ao setor, pois sem pressões, a evolução ambiental foi retardada em muitos casos.

Em algumas fábricas, ocorriam, e ainda ocorrem até os dias de hoje, grandes perdas de vapores pelas chaminés, purgadores, alívios de caldeiras, etc. Com isso, o aspecto estético das fábricas não fica nada bom. Além de fumaças escuras e de mau odor, também se podem notar fumaças brancas por toda parte. Fica-se até com a impressão de se estar em uma fábrica de fumaças e não de celulose kraft.

Apesar de termos tido evoluções notáveis nas tecnologias kraft e nas formas de se minimizar a poluição aérea nos anos mais recentes, a presença de fumaças ainda é muito grande. Elas foram inclusive magnificadas pelas enormes torres de refrigeração de água e de efluentes, que despejam grandes quantidades de neblinas de água e efluentes para o ar. Ou seja, apesar das conquistas positivas em relação à emissão de compostos de odor e de particulados, o aspecto das nossas fábricas ainda deixa muito a desejar e os sintomas de estarem poluindo o ar ficam evidentes aos leigos e mesmo aos não leigos. O cidadão comum entende, como deve ser mesmo, que qualquer fumaça é sinal de poluição do ar, independentemente de ser apenas vapor d'água, como muitos dirigentes costumam se referir às suas fumaças. Tenho até mesmo visto inúmeros técnicos e dirigentes de fábricas argumentarem que as

fumaças de suas caldeiras de recuperação mostram a cor branca pelo excesso de vapor que apresentam. Até reforçam que são fumaças inofensivas à saúde. Entretanto, a grande verdade é a seguinte: modernas caldeiras de recuperação, quando bem operadas e engenheiradas, queimando licores a cerca de 75% ou mais de sólidos secos, complementadas por eficientes precipitadores eletrostáticos, emitem fumaças que são praticamente imperceptíveis para a maioria das pessoas e para a maior parte do tempo em que operam. Só mesmo em manhãs frias e de ar atmosférico muito úmido é que a fumaça se torna bem visível.

Portanto amigos, há duas frases que muitas vezes são referidas por técnicos e gestores de fábricas de celulose, que eu recomendo que não mais as pronunciem a terceiros, nem mesmo entre vocês, para não as ensinarem aos mais jovens. Elas soam enganadoras para a maioria das partes interessadas, cada vez mais atentas aos temas ambientais e de proteção ambiental.

São elas as seguintes:

"As fumaças de nossas caldeiras são brancas pois são de puro vapor d'água"

"O odor de nossa fábrica tem cheiro de dinheiro"

Esse tempo em que a poluição era sinal de progresso definitivamente já acabou. O mundo clama por sustentabilidade e por água, ar e solos limpos. Ar limpo pode ser entendido apenas como um conceito, uma meta, já que qualquer atividade humana tende a alterar a composição do ar natural com monóxido e dióxido de carbono, poeiras, fuligem, etc. Também a própria Natureza suja o ar limpo através de seus raios, incêndios florestais, poeira levantada pelos ventos, etc. Entretanto, o objetivo de se ter um ar limpo para se respirar é vital para a maioria dos cidadãos, cada vez mais desconfortáveis com os problemas de poluição das grandes cidades. Hoje, as chamadas partes interessadas da sociedade estão muito conscientes dos danos da poluição aérea.

Não há mais como tentar convencer a população de que o cheiro de ovo podre causa apenas e tão somente um *ligeiro desconforto* e que não é prejudicial à saúde. Um mal-estar, uma dor

de cabeça, uma ansiedade ou um desconforto já são precursores de estresses à saúde; sendo que esses levam a outras doenças mais graves. Enfim, a busca por soluções sustentáveis e de alta qualidade ambiental torna-se cada vez mais vital para as fábricas de celulose kraft.

A percepção de odor forte pela população é em geral rapidamente associada à imagem de fábricas sujas, desleixadas, desperdiçadoras de recursos e com péssima gestão, sem compromissos com a saúde e bem-estar de funcionários, vizinhos e fauna/flora. Essa foi a imagem, e até hoje continua a ser um desafio para se mudar essa percepção, que grande parte da sociedade possui em relação ao setor de fabricação de celulose e papel.

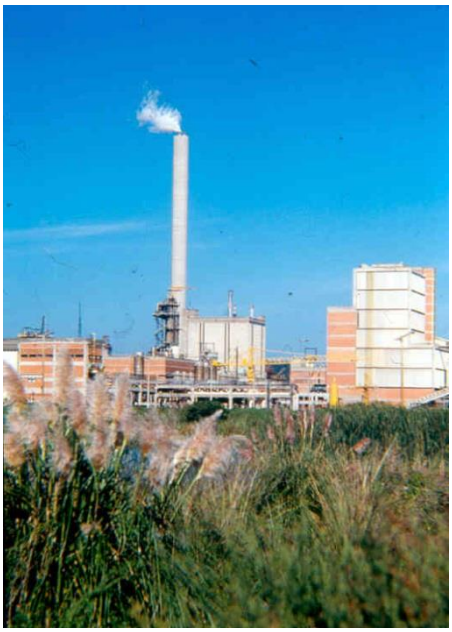
Além de tudo mais, as pessoas não reclamam mais só do odor, mas de seus problemas respiratórios, do material particulado que se acumula sobre seus veículos e móveis, do estrago da pintura de suas casas, da corrosão de seus eletrodomésticos, etc., etc. Fazem seus reclamos com justificadas razões, não é mesmo?

Sempre acreditei que uma fábrica de celulose kraft atingirá seu ponto de ótimo em relação à poluição aérea quando:

- Não mostrar fumaças visíveis;
- Não apresentar odor - mesmo que fosse um odor agradável, ele não deveria existir;
- Não emitir compostos tóxicos perigosos e que possam causar danos às pessoas e ao meio ambiente;
- Não apresentar ruídos.

Sonho com o dia em que os cidadãos, que pela primeira vez encontrarem uma fábrica ativa de celulose kraft, perguntarem à pessoa ao lado se por acaso a fábrica está operando ou se está parada? Seria nossa glória, uma conquista dos técnicos e das pessoas criativas, determinadas e inovadoras que engenheiram e operam as nossas fábricas. Porém, falta ainda um longo caminho para que nós

consigamos esse feito, mas vontade e capacidade inovativa não faltarão para isso.



Fábricas de baixo impacto se apresentam visualmente como tal – bonitas, produtivas e ecoeficientes

A poluição aérea tem custos elevados para as empresas e afetam o humor e a qualidade de vida das pessoas que convivem com ela. Temos, portanto, que controlar essa poluição em sua origem, nas causas que favorecem a liberação dos poluentes aéreos.

Com isso, estaremos:

- Minimizando perdas de poluentes aéreos que nada mais são do que matérias-primas das fábricas, como as cinzas da caldeira de recuperação kraft, os compostos de enxofre que produzem a sulfidez do licor, etc. As fábricas irão depois gastar dinheiro para repor essas perdas.

- Reduzindo a agressividade do ambiente em termos de corrosão de equipamentos, pinturas de edifícios, etc.;

- Melhorando a saúde e o bem-estar da população da área de influência da fábrica;

- Melhorando a qualidade de vida dos funcionários que trabalham no local da empresa;

- Atendendo com tranquilidade à legislação ambiental aplicável, minimizando passivos ambientais e reduzindo os riscos de multas, paralizações da operação, etc.;

- Valorizando a imagem e a marca da empresa.

Não há mais como uma fábrica de celulose se esconder e se instalar em locais ermos e longe de todos. As demandas por pessoas para sua rede de negócios trará populações crescentes para rodear essas fábricas e essas pessoas são demandantes por qualidade de vida, exigindo ar com qualidade para ser respirado. Portanto, não existe mais espaço para as fábricas que poluem livremente o ar, em qualquer tipo de setor industrial. Pressões da mídia, reclamos de pessoas e ONG's e restrições ambientais dos órgãos de controle sempre existirão e serão cada vez mais severas e punitivas. O mundo mudou e essa mudança será para melhor. As fábricas de celulose kraft também estão mudando e felizmente para muito melhor, também.

Uma coisa é absolutamente certa: uma fábrica de celulose kraft ainda é uma fonte importante de emissão de gases de enxofre, carbono, cloro, nitrogênio, etc. Também emite partículas, fuligem, gases orgânicos voláteis, neblina de água que aglomera as partículas sólidas e retém odor, etc., etc. Estamos ainda distantes da fábrica de meus sonhos, mas evoluímos muito em relação às tecnologias passadas que perduraram até meados dos anos 70's.

Entretanto, o Brasil é um país de dimensões continentais onde a diversidade tecnológica também é grande. Apesar da maior parte dos milhares de toneladas de celulose kraft estar sendo fabricada em instalações modernas e estado-da-arte, com tecnologias pós anos 90's, ainda existem fábricas antigas e obsoletas produzindo celulose para sobreviverem até conseguirem resultados financeiros para sua modernização. Isso ocorre em fábricas de baixa produção, que lutam no dia-a-dia para competir com as grandes e eficientes fábricas mais modernas, de última geração tecnológica.

Por essa razão, existem hoje no Brasil três gerações de fábricas de celulose kraft:

- Fábricas com tecnologias dos anos 60's a 70's;
- Fábricas com tecnologias dos anos 80's;
- Fábricas no estado da arte tecnológico (do final dos anos 90's e do início do atual milênio).

São três momentos tecnológicos distintos e que possuem impactos diferenciados nas emissões aéreas, principalmente no que se refere às fontes estacionárias de queima de combustíveis e de licor preto. Imaginem que ainda temos no País fábricas que possuem forno recuperador de licor preto do tipo "*Broby smelter*", ou até mesmo evaporadores de contato direto para engrossar o licor preto até cerca de 55% de sólidos. Também temos caldeiras de biomassa com tecnologias ultrapassadas de grelhas basculantes e com remoção de particulados usando tão somente ciclones ou lavadores de gases. Enfim, existem fábricas que operam com severas restrições ambientais e operacionais, que tentam minimizar suas emissões aéreas, mas que possuem resultados pobres em função das tecnologias primitivas que possuem. Existem alternativas tecnológicas em mudanças de processos, tais como o uso de antraquinona em cozimento soda como agente catalítico, com baixíssima adição de sulfeto (sulfidez no licor de polpação tão baixa como 3 a 5%), etc. Muitas dessas fábricas antigas estão descapitalizadas, possuem custos elevados e baixa eficiência operacional. Nesses casos, o pior dos mundos é uma constante. Os órgãos de controle ambiental tentam "ajustar a conduta" das mesmas dando prazos para melhorias ambientais que se convertem em difíceis compromissos a obedecer. Muitas delas só não são definitivamente fechadas em função dos aspectos sociais embutidos (geração de empregos em pequenas localidades totalmente dependentes dessas empresas).

As fábricas estado-da-arte tecnológico possuem equipamentos e sistemas de ponta para proteção ambiental; sendo que isso já vem conceitualmente introduzido nos conceitos e engenharia desses equipamentos, como caldeiras, forno de cal, etc. As novas e modernas fábricas de celulose kraft de eucalipto, que iniciaram operações no século XXI, são capazes de operar praticamente sem odor e com mínimas emissões de particulados. Apenas para vocês terem uma ideia dessas diferenças eu mencionaria o seguinte:

- As tecnologias primitivas de recuperação do licor preto kraft levam a valores de emissões de compostos reduzidos de enxofre na ordem de 100 ppm ou maiores que isso, enquanto as modernas caldeiras de recuperação do tipo "*odorless*" (sem odor) possuem emissões abaixo de 0,5 ppm.

- As caldeiras de recuperação kraft dos anos 80's tinham emissões de particulados entre 200 a 500 mg/Nm³, enquanto as mais modernas dos dias de hoje conseguem operar a maior parte do tempo com material particulado abaixo de 30 mg/Nm³.

- Os modernos sistemas de evaporação do licor preto kraft permitem atingir entre 75 a 80% de teor de sólidos secos, enquanto os sistemas mais antigos tinham dificuldades para extrair licores concentrados a 55-60%.

Hoje, as modernas fábricas de celulose kraft emitem não mais que 0,2 kg de enxofre reduzido total por tonelada seca ao ar de polpa (kg/adt polpa); pode-se dizer que cerca de 10 a 50 vezes menores que há 20-30 anos atrás.

Graças a esses baixos valores de emissões de compostos de odor kraft (ETR = Enxofre Total Reduzido; ou TRS = "*Total Reduced Sulfur*"), é possível se diluir os gases emitidos pelas chaminés no ar atmosférico até concentrações que ficam abaixo dos níveis de percepção de odor das pessoas. Também ficam abaixo dos teores considerados problemáticos para a saúde e bem-estar das populações. Utilizam-se chaminés altas (acima de 120 metros de altura), com altas velocidades de lançamento dos gases para facilitar a dispersão da pluma de fumaça. Somente em alguns poucos casos eventuais é que podem alcançar níveis de poluição mais críticos, causando desconforto e insatisfação nas pessoas. Tanto isso é verdade, que as fábricas mais ecoeficientes criam "redes de percepção de odor" envolvendo cidadãos voluntários das comunidades. Eles têm o objetivo de sentir o cheiro do ar e de comunicar à empresa a ocorrência de emissões com odor kraft característico, bem como a intensidade e localização onde notaram isso. Algumas empresas já introduziram também comentários sobre emissão não só de odor, mas de material particulado também. Em geral, essas ocorrências são ocasionais e são poucos os casos

relatados como relevantes. Imaginem no passado não muito distante: o telefone da empresa nunca ficaria desocupado e esses cidadãos não poderiam fazer outra coisa mais a não ser ficar informando o mau cheiro à empresa.

Fumaças e neblinas

Em função da diversidade de idades tecnológicas, os termos de ajuste de conduta e os limites de legislação impostos levam em conta esses detalhes de tecnologias para permitirem que as empresas antigas tenham mais facilidades para trabalhar no alcance de novas situações com menores cargas de emissões aéreas poluentes. Dessa forma, os agentes de controle ambiental estabelecem padrões diferenciados de restrições para fábricas mais antigas em relação às de últimas tecnologias de ponta. Algo justo e adequado, que não deve ser entendido como uma licença para se poluir, mas como um prazo maior para se adequar. Os termos de ajuste de conduta devem ser incentivadores e promotores de melhorias ambientais e não apenas formas restritivas da lei para multar e proibir as fábricas de operar.

Por outro lado, não basta apenas se dispor de tecnologias de última geração. Isso ajuda muito para mínimos impactos ambientais, mas não é uma garantia de que a fábrica trabalhará sem cheiro e sem emissão de outros poluentes perigosos. As emissões em níveis baixos são resultantes de uma série de fatores, onde a tecnologia disponível é apenas um deles, apesar de sua enorme importância.

Os principais fatores a governar as emissões aéreas de uma fábrica de celulose kraft são os seguintes:

- Idade tecnológica dos equipamentos emissores de poluição aérea;

- Liderança dos executivos em relação à operação ambiental das fábricas;

- Responsabilidade, qualificação e comprometimento dos operadores;

- Conhecimento do processo e das principais variáveis que impactam sobre as emissões aéreas;

- Controle adequado das variáveis operacionais críticas (automação, credibilidade das medições, monitoramento contínuo, etc.);

- Capacidade produtiva dos equipamentos e efetivo uso de sua capacidade sustentável de produção. Equipamentos trabalhando sobrecarregados ou muito abaixo de sua capacidade são mais poluentes.

- Operação estável, contínua e homogênea (paradas e interrupções de produção são fontes de emissões aéreas).

- Qualidade da manutenção dedicada às fontes de emissão de poluição aérea;

- Especificações para os combustíveis;

- Especificações para as emissões menores, feitas internamente na fábrica, ainda que não sejam legisladas;

- Excelência na eficiência térmica: quanto maiores as exigências de eletricidade e de vapor, maiores serão as pressões sobre os equipamentos de combustão (caldeiras, fornos), os quais responderão a essa sobrecarga com maior poluição. Quando uma empresa reduz sua demanda energética através programas de ecoeficiência energética, as caldeiras e o forno de

cal trabalharão aliviados, sem sobrecarga, e com isso, são reduzidas as emissões de poluentes importantes como TRS, SOx, NOx, CO, $CO_2$, material particulado, etc.

- Etc.; etc.

As fábricas estado-da-arte kraft são muito eficientes no uso e no balanceamento da energia necessária para suas operações. Entretanto, existe um conceito antigo a arraigado entre gestores e operadores, que é fabricar sempre a máximos ritmos de produção, acima inclusive da capacidade nominal e sustentável de alguns equipamentos. Isso causa desbalanceamentos de fluxos, consumos e performances. Esses desbalanceamentos também afetam os consumos específicos de insumos, entre os quais matérias-primas e energia (calor e eletricidade). As fábricas em desbalanceamento mássico e energético são pratos cheios para a poluição aérea, oferecendo como resultado, maiores níveis de poluentes em toda a gama gerada deles na fábrica, conforme o equipamento com esse tipo de problema.

Já no caso de fábricas de tecnologias mais antigas, se elas obedecerem às diversas condições operacionais para minimização de emissões poderão ter boas performances, adequadas e enquadradas dentro dos limites legais.

As fábricas de celulose kraft eram, em passado recente, facilmente identificadas pelos cidadãos em função do odor característico de coisas podres que possuíam. Controlar a emissão de odor sempre foi um dos principais desafios das fábricas de celulose kraft; entretanto, esse não é o único problema de emissões atmosféricas. Essas emissões possuem hoje um significado bem além do simples cheiro: novos poluentes foram descobertos e inseridos em um novo contexto, passando a exigir atenção, controle e mitigação.

Quimicamente falando, os odores de fábricas kraft são de dois tipos:

- <u>Compostos reduzidos</u>: metano ($CH_4$), amônia ($NH_3$), gás ou ácido sulfídrico ou ainda sulfeto de hidrogênio ($H_2S$), MM - metil mercaptana ($CH_3SH$), DMS - dimetil sulfeto ($CH_3SCH_3$) e DMDS - dimetil dissulfeto ($CH_3SSCH_3$). São compostos com cheiro

desagradável de coisas podres, de esgoto cloacal, ou de couve-flor ou brócolis sendo cozidos ou estragados.

- Compostos oxidados: monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono ($CO_2$), óxidos de enxofre (SOx) e óxidos de nitrogênio (NOx). Em geral, são compostos de carbono, nitrogênio e enxofre que sofreram combustão e se converteram em óxidos. Apresentam cheiro ácido persistente, penetrante, desconfortável e causam tosse. Às vezes, o cheiro é de mofo.

Os compostos de odor estão associados aos processos de polpação kraft, evaporação e combustão para recuperação do licor preto (caldeira de recuperação), para calcinação da lama de cal (forno de cal), para geração de energia térmica (caldeira de força), etc. Sua formação está muito associada aos processos de queima de algum combustível que contenha nitrogênio, carbono, enxofre, cloro, etc. São importantes nesse processo, além da qualidade do combustível, as características de desenho, concepção, operação, manutenção e eficiência do equipamento de combustão.

A qualidade do combustível é crítica para maiores ou menores níveis de emissões de alguns poluentes. Além da sua composição, importam: seu teor de umidade, seu poder calorífico, a eficiência de sua queima, a regularidade em constituição, etc. Como todo processo de combustão depende do teor do oxigênio comburente, a quantidade (em falta ou em excesso) do ar de combustão é capaz de modificar a quantidade e a composição dos gases residuais de exaustão, aumentando ou reduzindo as proporções de gases oxidados ou reduzidos nos poluentes aéreos.

Os sistemas de combustão são enormes equipamentos, queimam grandes quantidades de combustíveis todos os dias e lançam fantásticos fluxos de gases pelas suas chaminés. Em geral, os gases de exaustão da combustão constituem uma mistura de gases contendo nitrogênio, oxigênio, vapor d'água, compostos reduzidos e compostos oxidados, além de material particulado (cinzas ou fuligem).

Caldeira de recuperação kraft – visão dos eficientes precipitadores eletrostáticos

Além da própria constituição química, os gases poluentes costumam ser classificados conforme o seu odor característico, pelo olfato das pessoas. Uma classificação empírica tem sido proposta, como a seguir:

- Cheiro sulfúrico (ovos podres, repolho, cabelo queimado): gás sulfídrico e mercaptanas;

- Cheiro doce (floral, resínico, hortelã): limoneno, pineno, cânfora, cimeno, guaiacol, etc.;

- Cheiro químico: soda, cloro, acetaldeído, formaldeído, álcool, solventes;

- Cheiro azedo (vinagre, leite azedo): ácido acético, DMS, DMDS;

- Cheiro podre (margarina ou manteiga estragada, fezes de gato): propeno, gás sulfídrico, DMS, DMDS, fábrica de celulose kraft;

- Cheiro de terra (vegetação estragada, bosque queimado, madeira apodrecendo): terpineol, etc.

Acontece que além dos equipamentos de combustão, existem outras fontes de odor importantes nas fábricas de celulose. Muitas fontes são ditas fugitivas, onde o odor se libera de licores, efluentes,

filtrados, massa de celulose, lodos da estação de tratamento de efluentes, aterros industriais. Esses gases contaminam o ar atmosférico nas proximidades de onde são liberados. Têm raio de ação de apenas algumas poucas centenas de metros.

Em função disso, temos odores tanto nas proximidades da fábrica como a algumas dezenas de quilômetros dela (em função do deslocamento da pluma de gases dos equipamentos de combustão). Algumas vezes, a fumaça é densa e a pluma tem dificuldades de se dispersar no ar atmosférico. Quando ela cai ao solo, impregna o ar com seus poluentes, uma situação típica em condições atmosféricas de inversões térmicas.

A percepção do odor é então muito afetada pelas condições climáticas, sendo mais acentuada em dias de chuva, de nevoeiro, ou de inversão térmica. Como esses tipos de dia acontecem com frequência em qualquer tipo de localização, a empresa precisa estar atenta a eles, tanto quanto nas suas operações. Não se aceita mais causar desconforto às populações vizinhas e tampouco ficam satisfeitos os próprios empregados da fábrica ao respirarem gases poluídos. Já foi o tempo em que os empregados aceitavam condições inadequadas de trabalho. Hoje demandam equipamentos de proteção (com justa razão), reclamam na justiça trabalhista por insalubridade e periculosidade e exigem pagamentos ou indenizações por terem trabalhado em condições inapropriadas à sua saúde.

Felizmente, ou infelizmente, o odor kraft é percebido pelo olfato humano a baixos níveis de concentração. O gás sulfídrico pode ser percebido em concentrações de 0,4 a 2 ppb (partes por bilhão), enquanto as mercaptanas de 1 a 5. Para os que habitam o mundo do menos, isso é um problema, pois baixas emissões já são percebidas pela população. Já para os que querem produzir e trabalhar em um mundo melhor, esse poder olfativo do ser humano é muito bom, pois permite se identificar as condições geradoras de odor e otimizar as operações da fábrica.

Através de um processo bem desenhado de modelagem da dispersão dos gases das chaminés, pode-se ter a aproximada concentração de um dado poluente em diferentes distâncias da fábrica. Assim, toda e qualquer vez que a rede de percepção de odor informar sobre a ocorrência de odor, pode-se rastrear o mesmo, entender sua origem, sua dispersão e buscar as condições operacionais para que isso tenha ocorrido. Evidentemente, temos

causas climáticas e causas operacionais para serem esclarecidas, mas os nossos técnicos já sabem muito bem como separar essas causas pelas suas raízes. Essa metodologia simples, associada ao painel de controle das fontes estacionárias importantes da fábrica, permitem otimizar as operações, entender as razões do cheiro e reduzir as ocorrências de percepção de odor pela população vizinha às fábricas. Para esse tipo de estudo é preciso se ter dados de altura da chaminé de lançamento, as concentrações dos gases no ponto de emissão, as velocidades dos gases e ventos, a topografia local, as barreiras ao deslocamento da pluma (perfil predial e árvores), o turbilhonamento, as condições meteorológicas vigentes, etc., etc. Além dos voluntários da rede de percepção de odor, é importante se terem estações de monitoramento da qualidade do ar ambiental, localizadas em pontos estratégicos e medindo: material particulado, SOx, NOx, TRS, fuligem, etc. Além disso, o sistema necessita de constantes aferições, adequando-o a mudanças de tecnologias e de operações da fábrica. Auditorias são também recomendadas para tornar o sistema mais eficaz e eficiente.

Com isso tudo, torna-se possível ao operador, que cuida das operações de sua unidade produtiva, conhecer as curvas de iso-concentrações de poluentes a diversas distâncias do ponto de lançamento. Ele pode assim, prevenir problemas e aperfeiçoar a operação, evitando assim as situações atingirem níveis de conflito com a comunidade. A relação benefício/custo é altamente favorável. Cabe também desenvolver os operadores para que consigam aperfeiçoar as operações fabris, criando procedimentos para mínimos impactos ambientais. Todo esse sistema tem a finalidade de melhoria contínua e não deve servir para justificar erros operacionais, mostrando belas curvas para oferecerem desculpas a suas falhas.

Com qualificação, responsabilidade e tecnologias poderemos caminhar para as fábricas sem percepção alguma de odor, uma realidade cada vez mais próxima do setor. É bem possível que isso será alcançado para concentrações de poluentes bem menores do que hoje são legisladas. Nosso setor, que busca a sustentabilidade em suas operações, deve estar consciente de que em muitos momentos vai operar em valores muito abaixo dos legislados ("*beyond compliance*"). Isso é bom, pois vai mostrar que o setor tem metas de qualidade ambiental muito mais restritivas do que a própria lei estiver exigindo. Sustentabilidade inclui a responsabilidade de causar mínimo desconforto às populações ao

redor da fábrica. Também isso, e não apenas atender à legislação em níveis de concentração de poluentes nas chaminés emissoras.

As principais fontes de emissão de poluentes atmosféricos de uma fábrica de celulose kraft são as seguintes:

- Caldeira de recuperação do licor;
- Caldeiras de força;
- Forno de cal;
- Tanque de dissolução do "*smelt*";
- Sistema de evaporação e condensados;
- Digestor;
- Lavagem e depuração da polpa;
- Branqueamento da celulose;
- Planta química de geração de dióxido de cloro;
- Tanques de licores preto e verde;
- Apagadores de cal e caustificadores;
- Estação de tratamento de efluentes;
- Aterro industrial;
- Pátio de madeira e de biomassa combustível;
- Torres de refrigeração de água e de efluentes;
- Etc.

Já os principais poluentes emitidos para a atmosfera são os seguintes, com respectivas concentrações (em partes por milhão, base volumétrica) aproximadas em fábricas em operação:

- TRS ou compostos reduzidos de enxofre: entre 0,1 a 5 ppmv nas principais fontes de emissão;

- SOx: entre 15 a 300 ppmv nas caldeiras de combustão;

- NOx: entre 15 a 100 ppmv em caldeiras de combustão;

- CO: entre 50 a 300 ppmv em caldeiras de combustão;

- Umidade (água limpa ou suja na forma de neblinas): entre 10 a 20% do total de água captada, ou seja, 3 a 6 $m^3$/adt;

- Material particulado: em geral expresso em miligramas de partículas por metro cúbico em condições normais de temperatura e pressão, com valores que variam conforme a fonte entre 20 a 500.

Em geral, as concentrações são ajustadas a níveis pré-fixados de oxigênio residual (ou 3%, ou 5%, ou 8%). Isso para evitar diluições propositadas feitas para abaixamento dessas concentrações através da injeção de excesso de ar atmosférico como ar terciário, ou até mesmo na própria saída dos gases nas chaminés.

Por essas razões e pelas dificuldades em se legislar apenas as concentrações em ppm, os órgãos de controle também determinam as cargas máximas específicas (kg poluente/adt polpa) ou o permitido a ser lançado ao ar por dia de operação (em kg poluente/dia).

Existem ainda outras maneiras de se expressar as emissões poluentes - podem ser em concentração ou carga a um teor fixo de oxigênio residual, ou ainda base gás seco (isento de umidade) ou úmido (na umidade tal qual).

Também os poluentes costumam ser englobados em equivalentes de um tipo de gás:

- O NOx engloba o NO e o $NO_2$ e é referido em base de $NO_2$;
- O SOx engloba $SO_2$ e $SO_3$ e é referido como $SO_2$;
- O TRS engloba diversos gases, como $H_2S$, MM, DMS, DMDS e é expresso como enxofre ou como $H_2S$.

As relações costumam ser apresentadas em base volume/volume (ppmv), em peso por volume (mg poluente/$Nm^3$), ou em outras bases, a critério da empresa ou da entidade controladora e licenciadora. Para equalização ainda melhor, os fluxos de gases são convertidos para CNTP (Condições Normais de Temperatura e Pressão).

Outro importante grupo de poluentes aéreos constitui o que se denomina de GNC – Gases Não Condensáveis. Eles são liberados na digestão da madeira e na evaporação do licor preto. Incluem compostos tóxicos, explosivos e de alto risco ao manuseio, como o

metanol e a terebintina. Também são ricos em gases de mau odor, como gás sulfídrico e mercaptanas.

Outros poluentes importantes são os compostos clorados, dentre os quais temos os liberados no setor de branqueamento da celulose e na planta química de geração de dióxido de cloro. Além disso, em quantidades minimíssimas, mas igualmente importantes, estão os compostos referidos como dioxinas e furanos, que se formam nos processos de combustão.

Outros poluentes menores são os compostos que se volatilizam das lagoas da ETE – Estação de Tratamento de Efluentes, dos resíduos nos aterros industriais, das pilhas de cavacos de madeira e de casca combustível, etc. São denominados de COV's – Compostos Orgânicos Voláteis; em inglês, a sigla é VOC's – "*Volatile Organic Compounds*".

Emissões volumosas e importantes são os gases de efeito estufa (GEE ou GHG – "*Green House Gases*"). Dentre eles, destacam-se: metano, gás carbônico, ozônio, hidrofluorcarbonetos, etc. O gás carbônico é emitido em todos os processos de combustão e também devido à decomposição do carbonato de cálcio da lama de cal. Quando o combustível é de origem renovável, como o licor preto ou a biomassa energética, os balanços de emissões de gases de efeito estufa não serão prejudicados.

Enfim amigos, emissões atmosféricas são parte da vida de qualquer fábrica de celulose kraft e sobre elas se devem colocar não apenas atenção, mas tecnologias, responsabilidades e respeito às comunidades, inclusive aos próprios trabalhadores da fábrica.

==========

# PROCESSOS TECNOLÓGICOS INDUSTRIAIS
## PRINCIPAIS INSUMOS E MATERIAIS REQUERIDOS NAS OPERAÇÕES INDUSTRIAIS

As fábricas de celulose kraft são grandes usuárias de insumos, desde a madeira – sua principal matéria-prima - até inúmeros produtos químicos, diversos combustíveis e itens de substituição e manutenção rotineira.

A madeira tem participação vital nesse tipo de indústria em função das enormes quantidades que precisam ser gerenciadas, estocadas e manuseadas; tem por isso mesmo um efeito muito significativo nos custos de produção. Para se fabricar uma tonelada de celulose kraft branqueada de eucalipto se fazem necessários entre 3 a 4 metros cúbicos sólidos de madeira sem casca, conforme o tipo de madeira, a tecnologia disponível para conversão dessa madeira em celulose e as perdas de materiais fibrosos nas diversas fases do processo. Historicamente, a participação da madeira no custo variável de produção das fábricas brasileiras de celulose de mercado tem sido mantida entre 40% a 45%. Acontece que, apesar de importante item na formação dos custos, a madeira tem dupla função para esse tipo de processo: ela fornece as fibras celulósicas para a polpa de mercado e tem quase 50% de seu peso seco dissolvido para se converter no principal biocombustível industrial dessas plantas industriais - o licor preto kraft. Poucas fábricas valorizam

monetariamente esse valor energético do licor preto oriundo da madeira em suas planilhas de custos: quase sempre o valor integral da madeira acaba sendo descarregado como custo da celulose. A energia, que oferece, termina por ser um presente generoso para o processo fabril. Lembrem-se então que as modernas fábricas de celulose de mercado conseguem ser quase autossuficientes em vapor e eletricidade tendo apenas o licor preto como fonte energética. Fica, portanto, essa lembrança para aqueles que costumam reclamar do preço da madeira.

Além da madeira, existe uma infinidade de insumos que precisam ser cuidadosamente gerenciados por aqueles que fabricam celulose de mercado. Isso para se garantir estoques baixos, custos apropriados e garantia de suprir as demandas nos momentos corretos. Para aperfeiçoar essa cadeia de suprimento, muitas empresas incentivam a que fornecedores de seus produtos montem unidades de manufatura em arranjos produtivos nas circunvizinhanças da planta de celulose. Da fábrica de celulose, essas plantas industriais "em anexo" recebem energia, água e facilidades para tratamento de resíduos. Como vantagens inquestionáveis para as fábricas de celulose, retribuem com minimização de gastos em transporte, estocagem, investimentos em instalações, etc. Uma sábia política que o setor de celulose e papel vem adotando já há algumas décadas, em especial para o

suprimento de gases industriais (oxigênio, nitrogênio, ozônio) e de produtos químicos para o branqueamento da celulose (clorato de sódio, dióxido de cloro, soda cáustica, etc.).

Para se ter uma ideia das quantidades movimentadas de insumos para atendimento de uma fábrica moderna que fabrique um milhão de toneladas de celulose de mercado ao ano, pode-se estimar que a quantidade de madeira atinja, só para a madeira de processo (a que é usada para fabricar celulose), uma quantidade de aproximadamente 3,7 milhões de metros cúbicos sólidos de toras sem casca. Considerando que os modernos caminhões que transportam essa madeira possam levar cerca de 50 $m^3$, isso significa que se deve suprir aproximadamente 75.000 cargas de madeira ao ano (aproximadamente 210 por dia). Além disso, pode existir a utilização de biomassa energética para abastecer uma possível caldeira de força, o que aumentaria ainda mais essa entrada de caminhões com materiais florestais.

Além das entradas, as fábricas precisam se preocupar também com as saídas e essas não são somente de produtos celulósicos prontos para atendimento das demandas dos clientes, mas também de resíduos sólidos, sucatas e lixos diversos, ainda que sejam destinados para venda ou compostagem. Esses resíduos também poderiam merecer, por parte das empresas, uma gestão mais eficiente em termos de cadeia de suprimentos, pelo menos ao mesmo nível que se dá para produtos vendáveis e insumos de produção.

Como resultado disso tudo, a gestão da cadeia de suprimentos precisa ser exemplarmente executada para prevenir acúmulo de veículos, atrasos irreparáveis, reclamações de partes interessadas, aumento de custos e constantes pesadelos operacionais. Além disso, uma incompetente gestão desses itens pode sobrecarregar estoques de produtos prontos e de insumos de processo, aumentar indesejavelmente as necessidades de capital de giro e os custos financeiros devido às altas taxas de juros praticadas no País. Isso na situação do se ter mais do que se necessita; mas pode ainda ocorrer a situação do se dispor de menos, quando faltam insumos e produtos para entregar aos clientes.

Nenhuma empresa quer hoje ter que manter uma "fábrica reserva" de itens de manutenção para troca quando necessário for. Hoje, também não se tem como objetivo a construção de enormes galpões ou pátios de estocagem de qualquer que seja o material. Todos conhecem a perversidade dos estoques e suas consequências aos negócios.

Muitas empresas procuram usar tecnologias sofisticadas de gestão da cadeia de suprimento, existindo diversos procedimentos e sistemas disponíveis no mercado para se realizar isso. A maioria deles se baseia na identificação de indicadores vitais e no eficiente planejamento das operações de compras, vendas e logística. Em geral, o processo gerencial deve ser apoiado em estratégias seguras no planejamento das compras e vendas e com avaliações de riscos, barreiras e oportunidades.

São considerados itens críticos nessa gestão:

- Constante atualização dos dados (indicadores vitais);
- Planejamento eficiente das necessidades;
- Planejamento da produção e dos suprimentos requeridos;
- Planejamento das vendas;
- Domínio da competência para comprar e vender;
- Avaliações constantes do comportamento dos mercados;
- Ferramentas adequadas de gestão e automação (GPS, SIG, TI, telecomunicações, etc.);
- Qualificação e motivação do pessoal;
- Integração das equipes de materiais, vendas, produção e controladoria.

Definitivamente, não se trata de uma tarefa fácil, pois os gestores estão sempre a enfrentar situações inesperadas de

paralisações de estradas, portos, escassez de produtos, dificuldades burocráticas nas importações e licenciamentos, etc.

De qualquer maneira, os objetivos dessa gestão estão sempre focados em custos (custos de produção, níveis de estoques, custos de logística, etc.) e em desempenho (disponibilidades dos produtos, continuidade operacional da fábrica, adequação dos insumos, etc.).

Ao conhecerem as exigências de uma complexa fábrica de celulose de mercado de eucalipto, será fácil entender o porquê de tanta atenção para a sua cadeia de suprimentos. Vejam na tabela a seguir do que estamos falando em valores aproximados para uma fábrica de produção de um milhão de toneladas de celulose ao ano:

| **Item da cadeia de suprimento** | **Função** | **Quantidade por ano** | **Unidade** |
|---|---|---|---|
| Celulose de mercado | Venda produto pronto | 1.000.000 | Toneladas secas ao ar |
| Madeira para processo | Insumo principal | 3.600.000 | m³ sólidos |
| Biomassa energética | Biocombustível | 150.000 | Toneladas secas |
| Gás natural | Forno de cal | 30.000 | Nm³ |
| Óleo combustível | Forno de cal, caldeiras | 35.000 | Toneladas |
| Água | Processo industrial | 25.000.000 | m³ |
| Soda cáustica | Branqueamento e reposição perdas de sódio | 30.000 | Toneladas base 100% |
| Oxigênio | Branqueamento e tratamento de efluentes | 15.000 a 25.000 | Toneladas |
| Dióxido de cloro | Branqueamento da celulose | 15.000 | Toneladas |
| Enxofre | Reposição perdas | 3.500 | Toneladas |
| Antraquinona | Auxiliar de polpação | 250 | Toneladas |
| Dióxido de enxofre | Lavagem ácida polpa | 800 | Toneladas |
| Cal | Reposição perdas de cálcio | 9.000 | Toneladas |
| Ácido sulfúrico | Branqueamento e planta química | 20.000 | Toneladas |

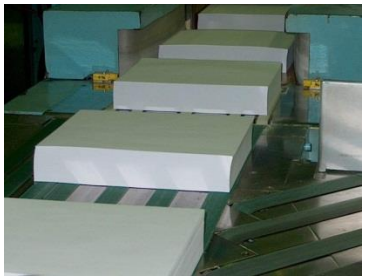
| Item da cadeia de suprimento | Função | Quantidade por ano | Unidade |
|---|---|---|---|
| Sulfato de alumínio | Tratamento de água | 700 | Toneladas |
| Peróxido de hidrogênio | Branqueamento | 3.000 | Toneladas |
| Óleo diesel | Usos variados (limpeza) | 250 | m³ |
| Ácido fosfórico | Tratamento de efluentes | 30 | Toneladas |
| Ureia | Tratamento de efluentes | 550 | Toneladas |
| Polímeros | Tratamento de efluentes | 100 | Toneladas |
| Nitrogênio | Gás de arraste em processo eletrolítico | 400.000 | Nm³ |
| Arames | Embalagem de fardos celulose | 2.200 | Toneladas |
| Telas e feltros | Vestimentas das máquinas de formar folhas | Função das tecnologias empregadas | ..... |

São ainda considerados insumos, mas de menor importância, os seguintes itens usuais na fabricação de celulose branqueada: antiespumantes, anti-incrustantes, auxiliares de drenagem, dispersantes, sequestrantes, inibidores de corrosão, microbicidas, etc. Em geral são fornecidos em tambores metálicos ou bombonas plásticas. São armazenados no próprio local de uso, ou no depósito geral, sendo consumidos em quantidades não muito expressivas ao longo do ano.

Além desses insumos, existem centenas de itens de manutenção e reparos como: gaxetas, selos, válvulas, parafusos, porcas, flanges, chapas de aço, material para soldar, colas, borrachas, tintas, etc., etc., etc.

==========

# ITENS VITAIS A SEREM OTIMIZADOS NA REDE PRODUTIVA DA CELULOSE E DO PAPEL DE EUCALIPTO - "DA FLORESTA AO PAPEL" –



Quando falamos de se ter um processo tecnológico industrial de fabricação de celulose que contemple toda a rede de valor, desde a floresta plantada de eucalipto até o cliente da celulose que fabrica papel, quais seriam então os itens vitais a serem criteriosamente cuidados pelo produtor de celulose?

Eu particularmente selecionaria os seguintes:

1. Espécie de *Eucalyptus;*

2. Clone (intra ou interespecífico) sendo propagado;

3. Idade de colheita da floresta;

4. Práticas silviculturais e de manejo florestal;

5. Defeitos principais apresentados pelas madeiras;

6. Deformações e finos presentes nas fibras celulósicas;

7. Suprimento de madeira à fábrica de celulose - ("*mix*" de madeiras);

8. Suprimento de polpas (fibras celulósicas) à fábrica de papel – ("*mix*" de polpas);

9. Tipo de fábrica de papel (integrada ou não integrada);

10. Condições do processamento industrial de fabricação de celulose;

11. Condições do processamento industrial de fabricação de papel.

Sobre esses pontos, sugiro que vocês os incluam em seus programas de melhoramento e otimização industrial e florestal. Devem também procurar entender as suas variações e interdependências. Dessa forma, e para isso realizar, as áreas de avaliações tecnológicas devem estar adequadas em recursos humanos e em equipamentos de ensaios. Caso isso não ocorra, teremos inúmeras chances de operar abaixo de condições ideais em seus processos e com suas matérias-primas. Isso aumentará desperdícios, ineficiências, inefetividades e custos.

A seguir, alguns considerandos sobre esses onze itens principais:

1. Espécie de *Eucalyptus*

A decisão sobre qual espécie de *Eucalyptus* utilizar em nossas plantações pode agregar ou desagregar competitividade a toda a rede em questão. Muitas vezes, a decisão sobre a espécie obedece a critérios meramente silviculturais ou de adaptabilidade a uma determinada região (clima, solos, pragas, doenças, etc.). São esquecidas algumas características típicas de cada espécie em suas madeiras e celuloses resultantes, tais como: teor de lignina, relação S/G na lignina, densidade básica da madeira, frequência e dimensões dos elementos de vaso, teor de hemiceluloses, consumo específico da madeira por tonelada de polpa, teor e tipo de extrativos, população fibrosa das fibras celulósicas, etc. Poderemos ter excelentes e adaptadas espécies, maravilhosas florestas e árvores, mas uma celulose pouco atrativa para os clientes de papel. Talvez não seja um fracasso no mercado, mas terá que lutar bravamente para conquistar

e manter clientes. Em situações como essa, onde uma espécie não muito adequada tecnologicamente é definida para a floresta e não há como voltar atrás, melhor então focar muito bem o que vamos construir como fábrica de celulose para tentar minorar os impactos da qualidade da madeira.

Existem diversos exemplos sobre espécies de *Eucalyptus* com características bem diferenciadas nas madeiras e polpas e que podem interferir tanto nos processos de fabricação de celulose como de papel.

Vejam alguns casos:

*Eucalyptus grandis, Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus nitens*: são espécies que em geral nas plantações florestais produzem madeiras de mais baixa densidade básica (0,40 a 0,48 g/cm³). Sem um adequado melhoramento genético, acabarão demandando altos volumes de madeira como consumo específico para produção de uma tonelada de celulose. As polpas produzidas terão altas populações fibrosas, o que pode prejudicar a drenabilidade e desaguamento da massa nas fábricas de papel. Porém, isso favorece opacidade e ligação entre fibras.

*Eucalyptus deglupta*: espécie que mostra baixa densidade básica nas madeiras de plantações e com elevada proporção de elementos de vaso de dimensões maiores.

*Eucalyptus urophylla*: espécie com madeira rica em lignina total (praticamente 30% do peso), baixa relação S/G na lignina, alta adaptação a condições climáticas, especialmente tropicais. Ideal para usos energéticos e hibridações em programas de melhoramento florestal.

*Eucalyptus globulus*: espécie com elevado teor de hemiceluloses e baixo de lignina nas suas madeiras, além de alta relação S/G. Por sua mais alta densidade básica nas madeiras e fácil deslignificação é uma matéria-prima muito apreciada pelos fabricantes de celulose. Os fabricantes de papel também apreciam suas polpas pela fácil drenabilidade e boas resistências da folha a níveis baixos de refinação.

*E. paniculata, E.cloeziana, Corymbia citriodora*: espécies reconhecidas pela alta densidade da madeira, por essa razão exigindo condições especiais na área de preparo de cavacos.

*Eucalyptus dunnii* e *E.maidenii*: espécies de bom crescimento em regiões meridionais e com madeiras de média densidade e baixos teores de lignina.

*Eucalyptus benthamii:* espécie bastante tolerante ao frio e às geadas, mas ainda carecendo de maiores conhecimentos acerca de suas aplicações tecnológicas, sejam para celulose, papel, painéis e madeira serrada.

Como visto acima, cada espécie tem características florestais e tecnológicas próprias para suas madeiras. Elas precisam ser conhecidas para as requeridas otimizações. Pelas técnicas de hibridação e cruzamentos controlados, e depois clonagem dos indivíduos superiores selecionados, as espécies podem transferir genes para esses híbridos. Isso permite excelentes combinações nas características das florestas, madeiras, celuloses e papéis. Isso se afina com a antiga sabedoria chinesa: "cada opção pode ser uma ameaça ou gerar uma oportunidade".

Frente ao grande número de espécies de *Eucalyptus* e de *Corymbia*, são fantásticas as opções para otimizações na rede da floresta ao papel. Além disso, existem ainda ecotipos, variedades, subespécies, uso de transgênicos, etc. Enfim, há um enorme cenário de oportunidades a nossa frente.

Evidentemente, ao se variar as espécies, estaremos com enormes chances de variar a qualidade da madeira e as condições operacionais das fábricas de celulose e de papel. O que precisamos é domar isso tudo a nosso favor: reduzir a variabilidade, aumentar a uniformidade, conseguir as vantagens que cada espécie oferece e aperfeiçoar as necessidades fisiológicas vitais dos fabricantes (qualidades, produtividades e custos).

Já vimos que são diversas as características vitais para se definir as qualidades das madeiras para a fabricação de celulose de mercado. Cada uma dessas características e a combinação entre elas podem ser mais adequadas para um determinado processo de fabricação ou a um tipo de papel. Uma característica sozinha dificilmente é suficiente para definir a qualidade de uma matéria-prima. Por isso, a necessidade de se conhecer bem cada uma e as interações entre elas.

Em relação às espécies de *Eucalyptus*, sabe-se muito bem que:

- Cada espécie possui um potencial florestal e de produção de celulose para papel, às vezes oculto e que precisa ser encontrado.
- Cada espécie também possui limitações importantes em algumas das características vitais. Por exemplo, dificilmente encontraremos madeiras de *Eucalyptus urophylla* com teores de lignina total por volta de 20%. Ou então, madeiras de *E.grandis* com densidades básicas de 0,60 g/cm³ aos 7 anos de idade, ou então clones de *E.grandis* resistentes ao cancro (doenças agressivas em condições de clima quente).
- Cada espécie pode apresentar alguma característica vital relevante e que pode ser incorporada em programas de melhoramento florestal. Novos e contínuos ganhos podem ser obtidos e introduzidos com segurança a partir de outras espécies, desde que se conheça bem a herdabilidade e a variabilidade dessas características.

A maioria das espécies de *Eucalyptus* possuem fibras curtas, estreitas e rígidas, as suas madeiras são facilmente deslignificadas e convertidas a celulose, os papéis costumam ganhar por isso algumas propriedades que são vitais ao uso (porosidade, volume específico aparente, absorção a água, etc.). Entretanto, isso pode acontecer com maior ou menor intensidade. Por isso, a necessidade de se conhecer bem cada material.

As diferenças entre as espécies permite o alargamento da base genética para os eucaliptos. Estamos distantes de estar utilizando todo esse potencial florestal e madeireiro que a Natureza nos oferta. Como complemento a essa fantástica base genética, temos tecnologias que permitem aproveitar as melhores características, pois muitas delas possuem comprovada herdabilidade e são propagadas nas árvores clonadas.

Curiosamente sempre surge a pergunta "qual a melhor espécie de eucalipto para produção de celulose e papel?" Alguns mais afoitos respondem rápido que é a espécie que usam ou o seu clone favorito. A resposta não deve ser imediata, ela depende de inúmeros fatores locais, dos processos industriais e dos produtos e usuários finais. Não temos dúvidas que algumas espécies são de sucesso e podem ainda oferecer híbridos ainda melhores. Dentre elas, destacam-se:

*E.globulus, E.grandis, E.nitens, E.saligna, E.dunnii, E.camaldulensis, E.viminalis, E.urophylla, E.maidenii, E.regnans,* etc. Os híbridos interespecíficos melhor sucedidos estão no Brasil: *E.urograndis, E.urosaligna, E.urograndobulus, E.urocamaldulensis,* etc. Atentem que esses nomes de híbridos são nomes fantasias, o correto seria se dizer *E.urophylla x E.grandis e* mesmo assim, a ordem dos nomes depende de qual foi a árvore mãe (doadora dos óvulos - em primeiro lugar) e qual foi a árvore pai (doadora dos pólens – em segundo lugar). Um híbrido obtido por cruzamento controlado usando pólen de *E.urophylla* e óvulos de *E.grandis* deveria então ser denominado *E.grandis x E.urophylla*.

Lembrar ainda que ao se obter a heterose ou vigor híbrido pela hibridação (para crescimento em volume principalmente), também se aumenta a variabilidade das expressões fenotípicas, quando as plantas são propagadas por plantio das sementes híbridas. Por essa razão, as plantações de mudas de sementes de híbridos são feitas para buscar os melhores indivíduos, que após testes clonais, possam representar materiais genéticos para novos clones a serem propagados vegetativamente (clonagem). É esse estágio tecnológico que o setor de florestas plantadas de eucaliptos domina e usa muito bem. Existe enorme esforço na geração de híbridos clonais, alguns até mesmo intraespecíficos (dentro de uma mesma espécie).

Entretanto, nem toda hibridação conduz a heterose positiva ou a melhorias de qualidade. Podem ocorrer, inclusive, valores de algumas qualidades em níveis piores do que os valores da geração paterna. Isso se deve a anormalidades genéticas nos cruzamentos.

De qualquer forma, o importante é que os limites de variabilidade apresentados por muitas espécies fazem com que os melhoristas florestais busquem valores extremos para certas características em outras espécies. Após localizá-los, eles buscam introduzir os mesmos nas espécies tradicionais. Dentro desse contexto, a hibridação interespecífica e a clonagem têm colaborado para fazer o que a Natureza sozinha teria muitas dificuldades de realizar. Naturalmente, uma espécie pode ter poucas chances de cruzar e hibridar com outra (por localização geográfica, dificilmente *E.urophylla* e *E.grandis* teriam se cruzado naturalmente). Os cruzamentos controlados apenas permitem fazer de forma natural o que a Natureza conseguiria, mas que poderia levar séculos, ou talvez nunca acontecer.

Um caso de sucesso na hibridação foi o obtido com o cruzamento das espécies *E.grandis* e *E.urophylla*. Essa combinação sempre se destacou por oferecer indivíduos superiores em crescimento (heterose positiva) e por apresentarem resistências ou tolerâncias a doenças graves dos eucaliptos em regiões tropicais ou subtropicais. Por essa razão, constitui-se hoje no material dominante sendo plantado no Brasil, servindo de alicerce para a grande maioria das empresas florestais no País. Entretanto, essa "mesmice" me traz um certo grau de desconforto, pelo excessivo estreitamento e achatamento da base genética e da oferta de novos indivíduos com características vitais extremas e favoráveis.

Muitas fábricas são construídas em determinadas regiões ou crescem demasiadamente rápido e não conseguem obter nesse local a madeira de seus sonhos nas quantidades necessárias. Elas são obrigadas a buscar parte de seu suprimento no mercado. Nesse caso, acabam tendo que conviver com espécies sendo plantadas por terceiros, que não eram exatamente as que desejavam para seus processos. Outras fábricas são implantadas em regiões onde as espécies tradicionais não são perfeitamente adaptadas devido a situações tais como: déficit hídrico, frio e geadas, solo muito pobre, pragas ou doenças, etc. Também são obrigadas a buscar outras espécies ou genes que lhes permitam adaptar suas florestas a essas condições não comuns. Portanto, sempre teremos esse tipo de turbulência em relação a espécies e materiais genéticos sendo utilizados pelos plantadores de florestas. Algo que não devemos estranhar, então!

É fácil de entender que situações como essas afetam a qualidade da madeira e suas performances nas fábricas de celulose e papel. Fácil então entender porque não existe uma polpa universal de eucalipto. Fácil também entender porque as polpas de distintos fabricantes são diferentes em seus desempenhos papeleiros.

## 2. Clone (intra ou interespecífico) sendo propagado

Muitas surpresas têm acontecido no desempenho florestal e industrial de materiais genéticos aparentemente similares. Mesmo se trabalhando com clones obtidos por cruzamentos de duas mesmas espécies (*E.urograndis*, por exemplo), os comportamentos celulósico-

papeleiros e florestais podem ser bastante diferenciados entre clones. Quando uma determinada fábrica de celulose adequa o seu processo à madeira de um determinado clone, ela tende a estranhar no momento em que se troca o clone no fornecimento de suas madeiras. As condições operacionais precisam ser realinhadas e ajustadas, e às vezes, isso traz dificuldades e contrariedades. O mais usual é que surjam reclamações toda vez que a madeira de um novo clone entra no processo. Ele (o clone) acaba "recebendo a culpa" pelas perdas de produção ou por novos gargalos que surgem. Isso, até que as novas receitas e poções mágicas sejam restabelecidas e criadas. Deve-se por isso, ter um muito adequado serviço analítico de pré-avaliação da qualidade da madeira de cada clone, antes mesmo dele ser propagado e de ser consumido comercialmente. Então, esses procedimentos devem ocorrer tanto no momento da seleção do clone, como também um pouco antes de seu uso comercial (pela colheita e envio da madeira à fábrica). Com isso, as fábricas terão informações relevantes para o que deve ser ajustado em seu processo, tais como para compensar: maior densidade básica da madeira, maior teor de lignina, menor teor de hemiceluloses, etc. Se isso é muito válido para o fabricante de celulose, deveria ser igualmente válido para os papeleiros, no momento em que irão receber polpa de um clone ou material genético diferente. Observem então que as decisões tomadas na área florestal impactam toda a rede produtiva do papel.

Precisamos então conhecer bem quais as demandas principais de nossos clientes de madeiras (fábrica de celulose) e de fibras celulósicas (fábrica de papel). Quais são seus objetivos de produção? Quais as suas propriedades vitais requeridas em seus produtos para valorizá-los? Quais seus gargalos operacionais e que impedem o melhor desempenho das suas matérias-primas? Ficou claro isso?

## 03. Idade de colheita da floresta

A idade das árvores no momento da colheita é uma das formas mais eficientes de se diferenciar qualidade de madeiras e polpas. Praticamente inúmeras características vitais das madeiras e fibras são afetadas pela idade, pelo envelhecimento das árvores. A árvore, sendo um ser vivo, cresce e passa por períodos de juvenilidade até atingir a idade adulta e de maturidade. As florestas comerciais de eucaliptos, especialmente no Brasil, estão sendo colhidas em idades

cada vez mais jovens (6 anos, mais recentemente). Nessa fase, o lenho é ainda juvenil, a madeira não atingiu o melhor desenvolvimento de importantes características vitais tais como: comprimento da fibra, fração parede das fibras, densidade básica da madeira, teor de lignina, etc. Nessas situações, as fibras se colapsam e se hidratam mais facilmente. Elas são (cada uma) menos pesadas por serem mais curtas e terem menos parede celular. Isso vai impactar a população fibrosa, a colapsabilidade das fibras e o desempenho papeleiro. Pode-se compensar isso pela seleção de clones que atinjam melhores resultados nessas propriedades em idades mais jovens - é uma alternativa viável e sendo utilizada.

Outra maneira de se melhorar algumas propriedades da polpa celulósica é alongando a rotação (tempo entre o plantio e a colheita) das florestas. Com árvores mais velhas estaremos favorecendo mais fácil drenabilidade e desaguamento, melhores volume específico aparente, porosidade, maciez, absorção de água, etc. nas folhas de papel. Por outro lado, como existem sempre pontos a favor e pontos contra, estaremos prejudicando as resistências que dependem da ligação entre fibras, a opacidade e a formação do papel. Também existirá uma provável perda de rendimento na polpação kraft devido ao maior teor de extrativos da madeira de árvores mais velhas.

Uma coisa é absolutamente certa: os técnicos florestais e as empresas gostariam de ver suas florestas crescendo a ritmos alucinantes e podendo colher as florestas o mais cedo possível. Antecipar receitas é o sonho dos empresários e gestores. Produtividade florestal, com sustentabilidade, é também o sonho dos engenheiros florestais. Muito bom isso para os fluxos de caixa e para as ofertas de madeira. Mas não tão bom para certas demandas de qualidade para madeiras e fibras. Se continuarmos a trabalhar nessa linha de raciocínio, logo estaremos colhendo florestas infantis, com menos de 4 ou 5 anos para se fabricar celulose. Com certeza, os impactos nas qualidades das madeiras e fibras serão grandes. E nos solos florestais, no meio ambiente e na biodiversidade também. Também me assustam muito os plantios adensados de eucalipto para uso bioenergético, com colheitas aos 2 a 3 anos, onde os impactos ambientais são muito significativos.

O melhoramento genético, a hibridação e a clonagem poderão buscar minimizar o impacto de idades mais jovens (5 a 6 anos) na

qualidade da madeira, trabalhando com genótipos que conduzam a árvores de madeiras mais densas.

Eu já vejo a idade da árvore como oportunidade florestal, ambiental e tecnológica. Postergar a colheita das florestas plantadas para 8 a 10 anos no Brasil pode ajudar a melhorar diversas propriedades vitais das madeiras, celuloses e papel. Isso tanto nas qualidades dos produtos, como desempenhos operacionais. Não estou falando em árvores seniores, muito velhas, apenas em idades em que suas madeiras estarão no ponto ótimo de suas características celulósico-papeleiras. Estamos então nos referindo a otimizar a qualidade tecnológica das madeiras e fibras e ao mesmo tempo os indicadores de produtividade e de custos. Dentre eles, os seguintes: produtividade em toneladas de celulose seca ao ar por hectare.ano; custos de implantação florestal; custo de colheita e custos de produção da madeira. Ao mesmo tempo, avaliar as qualidades das madeiras, das polpas e dos correspondentes papéis.

Devemos fugir da utilização de árvores sobre-maduras, pois suas madeiras podem ser muito mais ricas em extrativos e sais minerais, podem ter alta densidade básica da madeira e baixa permeabilidade à água, dificultando a penetração do licor de cozimento. As condições de picagem, cozimento e branqueamento podem ser definitivamente prejudicadas. Portanto, estamos apenas falando em *"fugir dos 5 (muito jovens) e dos 15 (muito velhas)".* Ao fazer isso, podemos contemplar ainda de forma muito qualitativa a área florestal.

Existem muitos poucos trabalhos de pesquisa mostrando o que acontece com a qualidade da madeira dos eucaliptos para faixas de idade intermediárias, entre 7 a 12 anos, para as condições brasileiras. Em relação às madeiras de segundo e terceiro ciclos, então nem se fale, quase nada existe. Se existir algo, desconheço.

Uma coisa posso lhes garantir: "a idade ótima para a produção de celulose deve depender da espécie, do local onde ela está sendo plantada, do processo produtivo e seus gargalos e da qualidade desejada no produto final".

Com um bom tempero econômico e tecnológico poderemos entender melhor e decidir sobre qual a idade ideal, contemplando a

rede e não apenas a área florestal. Muitas vezes, os próprios gestores da área florestal se esquecem de que para se colher mais tarde, devem evitar competição entre as árvores em idades jovens. Isso se consegue aumentando o espaçamento entre árvores. São muito bem conhecidos os fantásticos resultados que a empresa Veracel Celulose consegue com suas florestas clonais de *E.urograndis*, plantadas em espaçamentos 4x3 metros, dando 12 metros quadrados por planta. Gasta-se muito menos no plantio (menos preparo de solo, menos mudas, etc.) e se obtêm excelentes volumes em idades de colheita mais tardias (500 a 550 m³/ha para colheitas aos 10 anos de idade).

Preocupa-me ainda a ênfase exagerada em reduzir a idade de colheita. Pode parecer fabuloso em termos de antecipação de receitas, mas é muito perigoso para a celulose, para o papel e para o meio ambiente.

## 04. Práticas silviculturais e de manejo florestal

A árvore, como ser vivo, responde muito bem aos tratos silviculturais ao longo de seu desenvolvimento. Práticas como fertilização, irrigação, controle da luminosidade e espaço útil por planta, combate ou prevenção contra pragas e doenças, combate à mato-competição, etc., refletem-se em mais vigoroso crescimento e maior produtividade florestal. A árvore, crescendo mais saudável, dá origem a madeira mais uniforme e em maior volume. Embora existam referências de que todas as práticas aceleradoras de crescimento possam causar perda de densidade básica da madeira, esse fato pode ser contrabalançado pela escolha de genótipos para clonagem que mostrem adequada densidade básica na madeira ao mesmo tempo em que adequados níveis de crescimento florestal. Lembrar ainda que densidade básica não é o único fator a ser monitorado e otimizado.

Povoamentos florestais bem cuidados podem render excelentes incrementos volumétricos, ou em peso, em uniformidade, em custos e em qualidade tecnológica da madeira.

Não existem muitos trabalhos na literatura mostrando as influências dos tratos silviculturais sobre a qualidade da madeira e da celulose dos eucaliptos. Mas isso não atrapalha os processos de

melhoramento florestal, pois ao se monitorar a densidade básica, consegue-se estimar outras propriedades com as quais ela se correlaciona.

Já o tipo de manejo florestal (talhadia por corte raso em idade jovem ou manejo por alto fuste com desbastes intermediários) pode afetar bastante as qualidades das madeiras. O primeiro gera um único produto, quando muito, dois: madeira para celulose e árvores e toras finas para energia. Já o manejo por alto fuste gera sortimentos diferenciados e com madeiras obtidas em idades diferentes. Algo a complicar um pouco mais a gestão da qualidade da madeira. Cabe aos gestores e aos técnicos fazerem as escolhas adequadas para otimizar as demandas das diferentes partes interessadas pelas diferentes qualidades de madeira.

## 05. Defeitos principais apresentados pelas madeiras abastecidas à fábrica

Muitas vezes, o usuário da madeira está distante dela, de sua origem e de seu uso. Essa distância pode ser geográfica ou pela completa falta de presença do gestor para olhar e dialogar com essa madeira. Muitos técnicos não acompanham com cuidado a vida das árvores e a forma como os corpos das mesmas são formados nas florestas. Nas fábricas, o mesmo problema ocorre, as toras são armazenadas e poucos tomam um pouco de tempo para ir vê-las e "conversar" com elas para conhecer seus problemas.

Toras abandonadas na floresta – Madeira deteriorada para a fábrica

Muitos defeitos surgem dessa ausência dos gestores, outros surgem pelo descaso com as próprias madeiras. São os seguintes os tipos principais de defeitos nas madeiras:

- Madeira de árvores que sofreram ação do fogo (incêndios florestais);

- Madeiras defeituosas devido à incidência de doenças ou pragas (ferrugem, cancro, insetos perfuradores, cupins, etc.);

- Madeira apodrecida devido a longos períodos de estocagem inadequada. Infelizmente esse é um defeito muito comum nas fábricas e nas madeiras estocadas na floresta.

- Madeira de tração causada por ventos fortes, por declividade elevada no local onde foi plantada a floresta, etc.

- Madeira com exsudação de resina devido a feridas de diversos tipos;

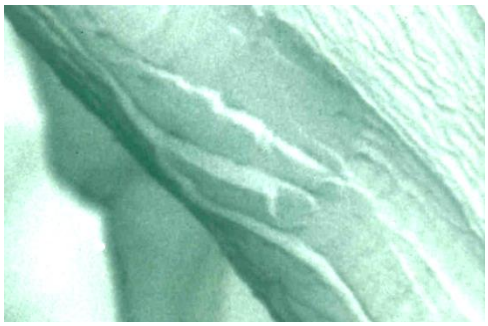
- Madeira da inserção de galhos grossos (também conhecidas por nós); etc., etc.

As madeiras defeituosas mostram desempenho irregular e em geral pior na fabricação de celulose e papel. As mais usuais alterações que ocorrem no processo são: dificuldades de cozimento e branqueamento devido ao aumento dos teores de extrativos ou de lignina; perdas de rendimentos; perdas de resistência da folha de papel; dificuldades de drenagem na máquina de papel devido à alta proporção de madeira de tração, etc., etc.

O técnico, que é responsável pelo controle de qualidade da madeira, se não estiver atento ao estado das madeiras que entram na fábrica, poderá ser surpreendido pela baixa qualidade, maior variabilidade e piora generalizada dos indicadores de qualidade da celulose e por consequência, do papel. Isso além dos prejuízos nas operações e custos.

## 06. Deformações e finos presentes nas fibras celulósicas

Fibras enroladas



Microfissuras parede celular

Devemos colocar muita atenção nas deformações e defeitos das fibras. Esse é um tópico que passou a ganhar mais destaque quando se introduziram prensas lavadoras e desaguadoras nas fábricas de celulose e papel. Fibras enroladas, encurvadas, com paredes fissuradas, etc. possuem comportamentos diferenciados na fabricação do papel. Essas deformações pouco têm a ver com a qualidade das fibras nas árvores, exceto em casos de madeiras de tração ou de árvores doentes (cancro, por exemplo). A quase totalidade das deformações se origina no processo de conversão de celulose e no processo de fabricação de papel. As intensas movimentações a que as fibras são submetidas são responsáveis por isso, a prensagem e o esmagamento de fibras também. A secagem rápida, a refinação, as misturas de químicos, etc. são também fontes de deformações nas fibras. Existem equipamentos bem confiáveis para essas medições.

As deformações impactam nas qualidades da fibra individual e nas propriedades do papel. Muitas vezes, o técnico desconhece acerca das deformações e tende a associar o desempenho papeleiro de suas fibras com a qualidade da madeira. Isso pode ser muito maligno, principalmente em decisões que venham a ser tomadas nos processo de otimização. Estaremos atribuindo à madeira uma causa que não vem dela.

Também a presença de finos, que se acumulam nas fábricas de papel, impacta nas propriedades do papel produzido. Também aqui se precisam separar as variações que se devem a distúrbios ou

causas processuais das variações que se devem às madeiras ou fibras celulósicas.

07. Suprimento de madeira à fábrica de celulose - ("*mix*" de madeiras)

O produtor de celulose quase sempre tem a necessidade de misturar madeiras de espécies, clones ou madeiras de características diferentes para abastecer sua fábrica. Isso pode acontecer com madeiras distintas de *Eucalyptus*, mas pode inclusive acontecer com madeiras de outros gêneros (*Pinus, Acacia, Mimosa*, etc.).

Portanto, para a pergunta "é possível se misturar espécies diferentes para se fabricar celulose?", a resposta é Sim. O próprio setor de celulose e papel se apoia em uma ampla variedade de matérias-primas fibrosas. São poucas as situações de espécie única ou clone único.

No Brasil, o setor de produção de celulose de eucalipto vem fazendo há anos a gestão do processo através do controle do "*mix*" de madeira para tentar homogeneizar seus suprimentos. Como falta madeira uniforme para muitas fábricas, a solução tem sido controlar

as entradas para uniformizar o processo e as saídas. Para a produção de celulose de mercado, as fábricas esbarram em especificações cada vez mais rigorosas. Por isso, e para evitar surpresas, deve-se procurar misturar madeiras que se conheçam muito bem e que não sejam muito diferentes em qualidade. Por exemplo, madeiras de baixa densidade básica (*E.grandis, E.saligna*) não devem ser misturadas em um único digestor com madeiras de muito alta densidade *(E.paniculata, E.tereticornis, Corymbia citriodora*). Se isso for feito, as dificuldades aparecerão e variarão se essas proporções de madeiras variarem. Apesar de que muitas vezes as qualidades das celuloses sejam até interessantes, as dificuldades aparecerão no cozimento, branqueamento, secagem, etc.

A preservação da qualidade mais uniforme e da estabilidade dos processos industriais costuma ser alcançada na dosagem de um "*mix*" mais constante de madeira ao digestor. As madeiras de qualidades muito distintas devem ser armazenadas e convertidas em cavacos separadamente. Já a mistura deve ser controlada (ou pelo controle dos pesos ou de volumes de cavacos).

A meta é uniformizar a desuniformidade no que diz respeito às diferenças de clones, espécies, idades, tempos pós-corte, ciclos de corte, madeiras de terceiros e condições das madeiras (deterioração, doenças, etc.). Essa gestão é muito difícil de ser feita em fábricas grandes, pois são enormes as quantidades de toras e cavacos a demandar logísticas diferentes. Em resumo, a chance de se ter variabilidade alta, mesmo com o controle das dosagens no "*mix*", é grande.

Hoje, com as técnicas de GPS, telecomunicações, informática, internet, etc., torna-se possível se programar melhor as colheitas, os transportes, as chegadas e as estocagens de madeiras de tipos diferentes.

Sugere-se ainda, para minimizar as surpresas indesejáveis e os conflitos, que cada tipo distinto de madeira seja muito bem conhecido por pré-avaliações laboratoriais. Conhecendo as peculiaridades de cada madeira, as chances de sucesso das misturas aumentam. Inclusive, os próprios laboratórios podem definir as proporções mais interessantes a serem feitas nessas receitas.

A ciência e o negócio florestal são de extremo dinamismo. Ao mesmo tempo em que se aperfeiçoam as técnicas para minimizar os

efeitos das misturas, surgem novas demandas para outros tipos de misturas. É o caso das exigências de proporções de madeiras certificadas para se poder ganhar a certificação do produto na cadeia de custódia.

Silos de cavacos para controle adequado do "*mix*" de madeira
(Celulose Riograndense – CMPC - Unidade Guaíba)

Os setores de estocagem de toras e preparação de cavacos devem-se especializar e se modernizarem para lidar com isso tudo. Picadores, pilhas de cavacos, pilhas de toras, silos, peneiras classificadoras devem ser adequados e ajustados para cada tipo de madeira que entra na mistura. A situação ideal é se terem linhas de picagem separadas e ajustadas para tipos muito distintos de madeiras. Reforça-se mais uma vez a necessidade de bom e saudável diálogo entre as partes envolvidas e interessadas. Nisso se colocam as áreas florestal, tecnológica e de fabricação de celulose e papel.

Curiosamente, cada empresa busca uma solução própria para seu "*mix*" de madeira. Ela é função das disponibilidades locais e das restrições da fábrica. Por essa razão, os discursos sobre vantagens e desvantagens dos "mixes" parecem antagônicos e conflituosos de uma fábrica para outra. Isso deixa os leigos surpresos, especialmente os fornecedores de madeira, que ficam sem entender o que os clientes da madeira querem. Em tempo, às vezes os fazedores dos "*mixes*" também estão completamente perdidos: sua única meta é

dar madeira ao digestor para a fábrica não parar por falta de cavacos. O resto e suas consequências parecem não ser problema para eles.

As variações de proporções de madeiras nos "*mixes*" causam sempre alterações na performance operacional da fábrica e nas qualidades dos produtos. Os distúrbios iniciais devem ser monitorados e entendidos para permitir a otimização do novo "*mix*", ou seja, para que toda nova "formulação mágica" possa funcionar bem.

É muito comum que uma fábrica mude de clone em sua receita de madeira. Alguma nova madeira entra no processo e pode vir a causar complicações. As primeiras consequências são desequilíbrios operacionais, como já falamos antes. É comum que surjam reclamações sobre esse novo clone e sua madeira. Com pouco tempo, após os ajustes nas condições processuais, a fábrica ganha continuidade operacional e os operadores que reclamaram passam até mesmo a elogiar a nova madeira.

Em outro capítulo desse livro digital, mencionei que ao ser usada pela primeira vez a madeira de *E.globulus* em teste industrial na empresa Riocell onde trabalhei, os resultados foram desanimadores. A causa foi logo descoberta: não havia sido feito nenhum ajuste nos picadores para operar com essa madeira mais densa do que a de *E.saligna* que estava em uso antes. Os cavacos saíram muito espessos e o cozimento e outras operações subsequentes ficaram prejudicadas. Corrigido o problema na nova campanha com essa madeira e os ganhos foram notados e reconhecidos.

## 08. Suprimento de polpas (fibras celulósicas) à fábrica de papel – ("*mix*" de polpas)

Todo papeleiro que se preze tem como missão e dever desenvolver "receitas" que devem funcionar bem para a performance de suas máquinas e para a qualidade de seus produtos. Muitas vezes, essas receitas ficam "fechadas a sete chaves" e só alguns poucos têm acesso a essa tal de "fórmula padrão". Na elaboração dessa fórmula são ponderados diversos fatores, tais como: tipo e dosagem de

reagentes químicos (cola, amido, resinas, cargas minerais, etc.), grau de refinação da polpa, qualidade e proporção de refugo reprocessado e de fibras recicladas, e tipos de polpas de fibras virgens.

Nos Estados Unidos, Europa e Ásia, a mistura de polpas é fato comum nas fábricas de papel. As fibras de eucalipto têm a missão de "resolver problemas" causados pelas fibras longas. Elas ajudam na melhoria da formação, opacidade, porosidade, lisura, etc. Por outro lado, as fibras longas aumentam substancialmente as resistências das folhas, tanto quando úmidas ou secas, especialmente a resistência ao rasgo e dobramento. Um bom casamento de fibras muito diferentes.

No Brasil, a fabricação de papel branco de impressão costuma ser quase sempre baseado em 100% de fibras curtas e virgens de eucalipto. Poucas são as fábricas que usam misturas de fibras, quando muito incluem fibras brancas recicladas, quase nada mais. Já para papéis sanitários e papéis de embalagem, as misturas são mais comuns. Há fábricas de papel embalagem que fazem essa mistura nos digestores, misturando cavacos de madeiras de *Pinus* e de eucaliptos. Com isso, reduzem os custos de produção e aumentam rendimentos em relação ao uso só de madeiras de coníferas.

A grande verdade é que o setor papeleiro no Brasil, principalmente o que fabrica papéis "*off-set*" para uso "*cut-size*" e para papéis base para revestimento, todos têm preferência para uso de 100% de fibras de eucalipto. Esse dogma se deve principalmente ao custo e disponibilidade de fibra longa branqueada no país. Opostamente, no resto do mundo papeleiro, a mistura de polpas é uma rotina. Seria esse dogma brasileiro uma questão de princípios, custos, preciosismo ou promocional para as fibras curtas dos eucaliptos? Possivelmente a resposta seja também uma mistura dessas diversas causas.

O "*mix*" de polpas é muito comum na fabricação de papéis especiais, cartões, cartolinas, papéis multicamadas, papéis para cigarros, etc.

Mais recentemente, e algumas vezes por força de legislações, as misturas de fibras têm sido aceleradas por novas demandas, por exemplo:

- Necessidade de se ter no "*mix*" de fibras celulósicas certa percentagem mínima de fibras de madeira certificada;

- Necessidade de se ter que provar a origem das matérias-primas na cadeia de custódia;

- Necessidade do "*mix*" conter uma proporção mínima de fibras recicladas de papel pós-consumo;

- Necessidade de se ter valores limites de AOX (compostos halogenados totais) nos efluentes das fábricas de papel;

- Necessidade de correções de "coarseness" da massa para boa performance na seção úmida da máquina de papel;

- Etc.

As condições mudam, as variáveis mudam, os sistemas se tornam mais complexos. Para gerenciar isso tudo, o fabricante de papel precisa de ferramentas e controles cada vez mais sofisticados. Aqueles que não descobrirem isso e se fossilizarem terão dias tristes na condição de fóssil. Portanto, atenção e rapidez se quiserem continuar nos mercados.

## 09. Tipo de fábrica de papel (integrada ou não integrada)

O comportamento de polpas nunca-secas de uma mesma origem é completamente diferente se essa mesma polpa receber uma secagem até 80% ou mais de consistência. Maior o grau de secagem, maiores as diferenças. Fábricas de celulose de mercado que também fabricam papel conhecem muito bem isso. É o caso da Portucel em Portugal, Celulose Riograndense em Guaíba, Suzano Unidade Mucuri, etc.

A razão para isso é muito simples. A polpa, ao secar, sofre um fenômeno físico-químico conhecido por "histerese". As moléculas de celulose e hemiceluloses, que estavam inchadas e separadas pela água na parede celular, se aproximam tanto com a retirada das

moléculas de água, que passam a atrair uma às outras - elas não mais cedem espaço a novas entradas de moléculas de água. Na reidratação dessa polpa, a absorção e retenção de água são significativamente diminuídas. Isso definitivamente afeta a produção de papel, pois impacta em: inchamento das fibras, ligação entre fibras, facilidade de refinação, drenabilidade, desaguamento, secagem, colapsabilidade, propriedades físico-mecânicas e óticas do papel, etc. Portanto, ao se conhecer bem essas diferenças, pode-se até mesmo usar essas diferenças para aperfeiçoar o "*mix*" de fibras.

## 10. Condições do processamento industrial de fabricação de celulose

Muitas condições do processo de produção de celulose impactam a qualidade do produto celulose e do produto papel. Apenas vou lhes relatar algumas mais significativas, para que coloquem seu foco sobre elas.

São as seguintes, as que recomendam atenção:

- Percentagem de casca contida nos cavacos de madeira;
- Percentagem de cavacos "*off-size*" (de tamanhos inadequados);
- Pré-impregnação dos cavacos previamente ao cozimento kraft;
- Tipo de cozimento (baixa temperatura máxima, alta carga alcalina e longo tempo de cozimento? Ou condições opostas?)
- Sequência, tipos de oxidantes e consumo de químicos no branqueamento;
- Eficiência de lavagem das polpas;
- Tipo de desaguamento da polpa e consistências de trabalho;

- Etapa de remoção de ácidos hexenurônicos da polpa não branqueada;

- Desaguamento, prensagem e secagem da polpa;

- Misturadores dinâmicos, despastilhadores para remoção de grumos, etc.

- Etc., etc., etc.

Essas condições processuais afetam a uniformidade, a qualidade e o desempenho das polpas. Elas podem afetar diversas características vitais das polpas celulósicas, tais como:

- Resistência da fibra individual;

- Teor de finos;

- Capacidade de ligação entre fibras;

- Cargas aniônicas nas fibras;

- Teor e tipo de hemiceluloses;

- Teor e tipo de extrativos;

- Hidrofilicidade e retenção de água;

- Teor de lignina residual nas paredes das fibras;

- Histerese;

- Colapsabilidade das fibras;

- Deformações das fibras;

- Etc., etc.

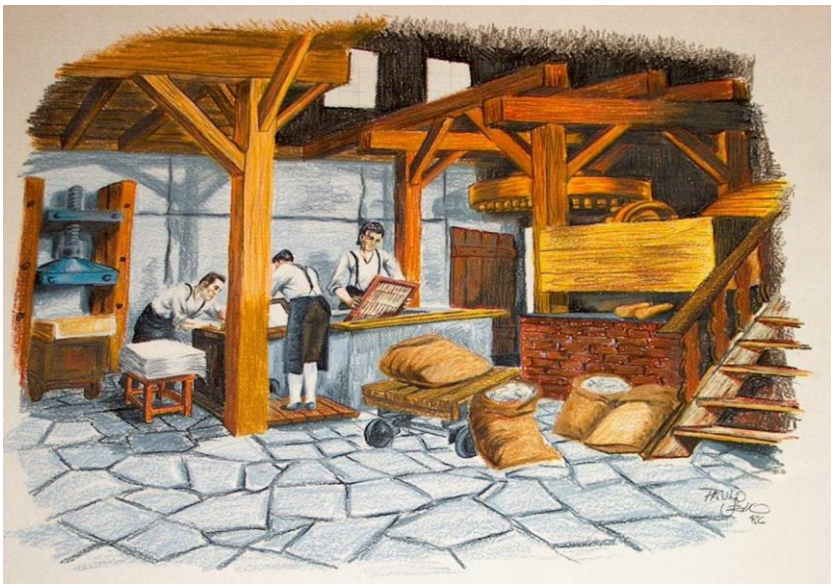
Como todo processo de produção de celulose se realiza em fase aquosa, todos os fatores e condições que afetarem a hidrofilicidade das fibras, seu inchamento e as resistências das fibras individuais, afetam a performance papeleira dessa celulose. Por exemplo, as presenças de extrativos e de fragmentos hidrófobos de lignina ajudam a reduzir a força de adesão e retenção de água pela polpa. O processo papel vai sentir essa diferença. Já os ácidos hexenurônicos, as hemiceluloses e as moléculas de holocelulose degradadas são potencialmente mais ricos em cargas iônicas e afetam positivamente a hidrofilicidade. São coisas muitas vezes esquecidas, até mesmo difíceis de serem medidas. Enquanto isso, o laboratório de controle de qualidade fica perdido realizando um número extra de refinos e testes mecânicos nas folhinhas, sem entender as razões do que está acontecendo.

O curioso mesmo nesse processo todo de interações entre propriedades e condições operacionais, é que se podem encontrar relações estatísticas até certo ponto curiosas. Por exemplo, é perfeitamente possível se encontrar uma correlação forte entre a viscosidade do licor preto no setor de recuperação (a certa concentração de sólidos) e a resistência à tração da polpa. Isso porque o licor preto contém lignina, hemiceluloses, extrativos retirados da madeira e os compostos químicos usados no cozimento. Se esses componentes da madeira foram removidos para o licor preto, eles não estarão mais na madeira. Vão afetar então as características do licor preto e vão afetar as características papeleiras da polpa. Algumas frações de moléculas de hemiceluloses do licor preto deixaram de estar presentes na polpa, por isso, a polpa contendo menos hemiceluloses vai-se comportar de forma diferente. Curioso então o que a estatística revela!

Enfim, tudo que pode modificar as características vitais das fibras, vai afetar o desempenho da polpa na máquina de papel e as propriedades do papel, entendido isso?

Só não podemos nos perder tentando controlar tudo, temos que separar as coisas importantes das demais. Caso não façam isso, podem acabar encontrando gente tentando controlar a qualidade do papel pelo controle da qualidade do licor preto da fábrica de celulose kraft. Ou do número kappa da massa após o digestor, coisa não tão infrequente.

## 11. Condições do processamento industrial de fabricação de papel



Inúmeras variáveis vitais estão envolvidas na fabricação do papel, qualquer que seja o seu tipo. Conforme elas sejam conhecidas, medidas, gerenciadas e otimizadas, melhor o desempenho do processo e das polpas celulósicas sendo utilizadas. Por isso, o técnico que utiliza ou que vende polpas de eucalipto, precisa conhecer essas variáveis muito bem e as suas interações com as características vitais das fibras.

A mistura de fibras e a receita mágica desenvolvida pelo papeleiro são muito importantes nos desempenhos da fábrica de papel. Quaisquer mudanças nas duas já interferirá de imediato na performance e qualidades ao longo da máquina de papel. Se essas mudanças são fatos que estão ao nível do desconhecimento, ou se elas forem executadas sem planejamento de ações, o papeleiro passará a ter muitas surpresas inexplicáveis. A responsabilidade muitas vezes é atribuída à qualidade da celulose, afinal ela é o mais abundante componente na composição do papel.

Sempre que um determinado tipo de polpa é trocado por outro (mudança de marca comercial de polpa de eucalipto, por exemplo), temos que fazer os devidos ajustes, antes de se julgar e comparar a nova com a polpa anterior. É comum que um papeleiro compre uma nova marca de celulose de eucalipto no mercado. São diversas as

razões para essa nova aquisição: curiosidade sobre a marca, informações de terceiros, redução de custos, busca de alguma vantagem inerente à polpa, etc. Se ele acreditar que vai substituir a polpa anterior pela nova e a máquina de papel não vai sentir a mudança, ele é papeleiro de primeira viagem. Qualquer alteração desse vulto tende a desestabilizar o processo de fabricação. Mesmo que elas sejam vantajosas (por exemplo: melhor drenabilidade e desaguamento), elas podem trazer outros reflexos na fabricação (pior resistência à tração, marca de feltro acentuada, etc.). Essas mudanças ocorrerão até que novos ajustes no vácuo, nas prensas, na calandra, etc. tenham sido processadas. Isso pode tomar algum tempo, alguns dias, às vezes semanas. Por essa razão, mini-testes de novas polpas comerciais, de algumas horas apenas, são fatalmente condenações ao fracasso. Por essas considerações sobre mudanças de tipo de polpa no processo de fabricar papel, qualquer teste é sugerido ser feito através a substituição gradual (pouco a pouco) e com um prazo de avaliação bem maior do que se tem conduzido em muitas fábricas de papel.

As grandes causadoras de variações nas performances das polpas e na qualidade dos papéis são as seguintes:

- Refinação da celulose: refino em separado ou da mistura de fibras, grau de refino aplicado, tipo de discos, consistência de refino, etc.;

- Tipos e condições das vestimentas de máquina: abertura de telas e feltros, limpeza, etc.;

- Prensagem da folha úmida: prensa sapata, pressão linear aplicada no "*nip*" da prensa, etc.;

- Curva de secagem nos secadores;

- Interação da polpa com os aditivos aplicados ("*debonder*", amido catiônico, resinas de resistência a úmido, etc.);

- Quantidade e qualidade do refugo sendo reincorporado à massa;

- Etc., etc.

A massa de refugo é grande comprometedora da performance papeleira de qualquer fibra. Quando trocamos uma polpa por outra, a tendência em um primeiro momento é de gerar mais refugo (seco ou úmido). Se não tivermos o procedimento padrão de dosar sempre a mesma quantidade de refugo na massa, essa maior geração voltando ao processo só vai piorar ainda mais o processo de estabilização da máquina. Em fábricas de papel, mesmo em condições normais, é grande a variação nas quantidades geradas de refugos (entre 5 a 25%, em geral). Há ainda diversos tipos de refugos: refugo da conversão, refugo úmido gerado em quebras, bobinas e resmas desclassificadas, etc. Se não controlarmos o "*mix*" de refugo, a sua qualidade e a sua dosagem, teremos efeitos variáveis nas qualidades e performances papeleiras da massa. E os incautos acreditarão que o problema é causado pela celulose de fibras virgens, já que nunca tiveram a visão de fazer a gestão do refugo.

Essas condições operacionais vitais mencionadas afetam diretamente algumas das características papeleiras mais importantes das fibras celulósicas, tais como:

- Comprimento (por corte) e colapso das fibras;
- Fibrilação e desfibrilamento (afeta a área superficial de fibras e fibrilas, carga aniônica, ligação entre fibras, etc.);
- Resistência da fibra individual;
- Resistência da folha úmida;
- Hidrofilicidade e IRA- Índice de Retenção de Água;
- População fibrosa;
- Deformações das fibras;
- Teor de finos;
- Etc.

O IRA – Índice de Retenção de Água é uma característica fácil de ser medida e acompanhada. Ele se relaciona a inúmeras características das polpas celulósicas. Por exemplo, uma celulose de mercado vendida na forma de folhas secas apresenta IRA entre 90 a 120; uma celulose nunca-seca tem esse valor variando entre 150 a 190, uma massa refinada pode ter valores de IRA entre 180 a 280, dependendo do tipo de celulose e do grau de refino. Portanto, como as amplitudes são grandes, o IRA pode ser utilizado como um muito fácil indicador para controle operacional.

A carga aniônica, expressa pelo teor de grupos carboxila, é também um bom indicador para as fábricas de papel, pois se relaciona às fibras e aditivos. Ela é bastante utilizada para controle da química da parte úmida. Como não depende só das polpas celulósicas, fica difícil usá-la nas receitas de massa para controle apenas das polpas.

Mais uma vez amigos, tentem entender o que está acontecendo com suas madeiras/fibras/polpas/processos e a variabilidade disso. Quando me refiro à variabilidade, lembrem-se, não estou dizendo apenas para olhar a variabilidade dos valores médios, mas também de valores pontuais. Mais um exemplo para esclarecer de vez: se fizermos 10 medições de consistência da folha úmida para cada posição ao longo do perfil transversal da máquina, com certeza teremos valores médios muito parecidos. Entretanto, os valores pontuais ao longo do perfil e para as diversas amostragens, deverão variar muito mais. É nisso que devemos colocar nossa atenção.

Ou então: quando medimos o comprimento médio das fibras do eucalipto em uma determinada massa refinada, possivelmente teremos valores próximos a 0,65 mm. Isso indica muito menos do que as distribuições dos comprimentos de fibra em faixas pré-definidas de comprimentos, naqueles valores que nos interessar controlar.

Existem mais do que suficientes equipamentos hoje disponibilizados pelos fornecedores de automação para se controlar muitas das características vitais de maneira contínua e online. Sei que isso tem um custo alto, mas o benefício alto pode mais do que justificar. Entretanto, é preciso saber entender e interpretar os dados para ações gerenciais e técnicas mais qualificadas. Não basta apenas

ter números e equipamentos medidores, eles devem ser os propulsores de ações.

==========

## AS FUTURAS FÁBRICAS DE CELULOSE KRAFT

Olhar o futuro não é algo simples, fácil ou com garantias de sucesso. Em geral, quando tentamos prever algo no futuro, costumamos fazê-lo com base em indicadores de eventos presentes. É claro, porém, que podem surgir coisas surpreendentes e inovadoras, radicais mesmo, capazes de jogar por terra todas as curvas de tendências que nossos técnicos tão bem constroem com seus sofisticados sistemas de softwares. Por outro lado, o momento exige que estejamos atentos ao futuro, pois muitos dizem que o futuro começa agora e que as tecnologias que dominarão em alguns anos mais já estão ocorrendo de forma modesta em algum lugar do planeta. Se isso é verdade, temos também que entender e conhecer bem o presente, suas restrições e oportunidades, antes de nos aventurarmos a ter visões espalhafatosas de um futuro que sequer entendemos.

O setor de fabricação de celulose e papel é um dos maiores e mais desenvolvidos da economia mundial. Isso porque o papel tem sido um bem de consumo de altíssima penetração na sociedade moderna, desde grosseiras e pesadas embalagens até delicados

lenços de papéis sanitários, isso sem nos esquecermos de todos os papéis utilizados como depósitos de palavras impressas (jornais, livros, revistas, etc.). Há muitos debates e previsões tecnológicas muito dispersas acerca de como poderão ser as fábricas de celulose e papel em algumas décadas mais. Não podemos esquecer que essa indústria é apaixonada pelas tecnologias básicas que dispõe (processo kraft e máquina de papel tipo Fourdrinier) e gasta quase toda sua energia em aperfeiçoar as mesmas. Esse aperfeiçoamento está associado às melhorias de eficiências, melhores usos de insumos, continuidade operacional e economia de escala. Há um foco relativamente cabresteado nas ações de desenvolvimento tecnológico desse tipo de indústria que praticamente exige que os pesquisadores se ocupem em otimizações e aperfeiçoamentos graduais e façam pouco em inovações desruptivas ou radicais.

O sonho para o futuro parece ser mais ou menos o mesmo: dispor-se de fábricas enormes, com produções dinossáuricas e com baixíssimos custos de produção, altíssimas eficiências, mínimas paradas e reduzidas necessidades de investimento por unidade de produção anual. É claro, se isso tudo vier acompanhado de qualidade ambiental, sustentabilidade do negócio, responsabilidade empresarial com as temas sociais, adequada imagem institucional e bom posicionamento no mercado de ações - então a sopa de letrinhas estará completa e a felicidade reinará. Resta então a pergunta: até quando? Ou então, por quanto tempo mais? Os sonhos eram os mesmos para as empresas do hemisfério norte e muitas das carruagens emperraram e outras pararam de vez. Houve uma mudança estratégica e o foco dos negócios parece que poderá ser outro. Mudanças são esperadas, mas em que sentido? Será que serão bem-sucedidas e vitoriosas? Quais terão as melhores chances de sucesso?

Todas as vezes que pensamos em olhar o futuro não deixamos escapar a tentação de dar uma espiadela no passado, mesmo que seja um passado recente. Em um horizonte de tempo não muito longo, de apenas um século, podemos notar que a indústria de celulose sofreu modificações notáveis. Na primeira metade do século XX, o foco estava na produção de pastas mecânicas clássicas para fabricação de papel jornal; na produção de polpas sulfato (ou kraft) não branqueadas para fabricação de papéis de embalagens e na fabricação de polpas sulfito branqueadas para papéis mais nobres e finos. A maioria das fábricas sulfito operava o

processo sulfito ácido de cálcio e a matéria-prima fibrosa era constituída de madeiras de coníferas. Até mesmo no Brasil esse modelo vingou com fábricas importantes como Melhoramentos, Cambará, Irani, Klabin, valendo-se do processo sulfito em sua produção no início de suas operações. As fábricas sulfito da época, e com as tecnologias que possuíam, não conseguiam recuperar a lixívia residual do cozimento. Tiveram que ser criativas e buscar alternativas para não terem toda essa lixívia despejada como poluição industrial. Com isso, seus resíduos eram (e até hoje o são em fábricas sulfito das empresas Borregaard, Domsjo e Lenzing) convertidos em produtos como lignossulfonatos, álcoois, ácido acético, fermentos, etc. Eram e são modelos muito parecidos com o que hoje os pesquisadores denominam pomposa e orgulhosamente de biorrefinarias, como se o conceito tivesse sido inventado agora e não há mais de um século.

Entretanto, a partir dos anos 60's, com o aumento das pressões ambientais e com o advento de tecnologias mais eficientes para se branquear a celulose sulfato, esse processo passou gradualmente a canibalizar o processo sulfito. As fábricas sulfito foram aos poucos desaparecendo ou sendo modificadas ("modernizadas") para fábricas sulfato. Até o próprio nome sulfato foi substituído por kraft, que, por significar resistente, tem maior apelo mercadológico.

A grande verdade é que o processo kraft ou sulfato tem sido insuperável e virtuoso, já que possui inúmeras vantagens técnicas e econômicas: excelente qualidade de seus produtos celulósicos; alto fechamento de circuitos; possibilidade de recuperar os reagentes químicos e as calorias do licor residual de cozimento; flexibilidade quanto às matérias-primas fibrosas; eficiência energética; custos de produção; etc. Com todas essas vantagens, os técnicos e empresários só tinham como obrigação tornar as fábricas mais eficientes e produtivas. Ao mesmo tempo em que se aperfeiçoavam as variáveis operacionais e as tecnologias de produção, aproveitava-se para aumentar a escala das fábricas.

Fábricas maiores e modernas, com maior escala de produção, são extremamente bem aceitas, pois oferecem três vantagens significativas:

• Redução do custo unitário de investimentos para a construção de uma nova fábrica (US$/tsa de celulose.ano);

• Redução do custo unitário de produção pela maior eficiência no uso de insumos como eletricidade, vapor, água, reagentes químicos, etc.;

• Redução das perdas de insumos, os quais melhoram a eficiência e reduzem a poluição das fábricas.

Com vantagens tão atrativas, não há investidor que resista. As fábricas de celulose kraft, que nos anos 50's produziam no máximo 200 a 300 tsa/dia, passaram a produzir cada vez mais: 500 tsa/dia nos anos 60's; 750 tsa/dia nos anos 70's; 1.000 a 1.250 nos 80's; 1.300 a 1.600 nos 90's; 2.000 a 2.500 nos 2.000's, e agora, as mais recentes fábricas já nascem produzindo 3.000 a 4.500 tsa/dia.

O crescimento só não foi mais rápido e maior pelas limitações da engenharia para crescer escala nas caldeiras de recuperação e nos fornos de cal. Hoje, já temos caldeiras queimando 4.000 a 7.000 toneladas de sólidos secos por dia (TSS/dia), quando há poucas décadas atrás uma caldeira era considerada muito grande quando queimasse 1.500 a 2.000 TSS/dia.

Acredita-se que se esse modelo persistir, no ano 2.020 deverá existir novas fábricas tipo "*greenfield*" produzindo cerca de 6.000 tsa de celulose por dia e caldeiras queimando aproximadamente 9.000 TSS/dia.

O sistema de recuperação, com base no conceito da caldeira desenvolvida ainda no final dos anos 1930's por G.H. Tomlinson, também foi modernizado e aperfeiçoado. Apesar de a caldeira ser de uma tecnologia madura e difícil de ser engenheirada quanto a grandes escalas de produção, ela também conseguiu vencer os obstáculos e os gargalos quanto à dimensão da fornalha, aos entupimentos e à aspersão do licor. A grande ameaça atual tem sido o acúmulo de elementos não processuais (K, Ca, Mg, Cl, Fe, Mn, etc.) que precisam ser removidos em sistemas conhecidos como "*kidneys*" ou "rins purificadores". Esse problema se deve ao fato dos circuitos terem sido fechados e as portas de escape desses contaminantes que

vêm com a madeira e outros insumos não estarem mais acontecendo como anteriormente.

De qualquer forma, o que antes era limitação séria, hoje não é mais. Os sistemas de recuperação do licor preto têm conseguido acompanhar o crescimento em escala das linhas de fibra ("fiberlines"). Hoje, já temos caldeiras queimando mais de 6.000 TSS/dia, bem como fornos de cal gigantescos, com mais de 150 metros de comprimento e cinco de diâmetro.

As fábricas maiores representam menores custos específicos de investimento porque exigem menores quantidades de materiais (aço, equipamentos, etc.) por tonelada de celulose produzida. Além disso, o crescimento em escala tem sido acompanhado por simplificações e integrações processuais na busca de maiores eficiências e continuidade operacional.

Nos anos 80's, a construção de uma nova fábrica de celulose kraft branqueada implicava em investimentos de 1.600 a 2.000 US$/tsa.ano. Uma fábrica que produzisse 500.000 tsa/ano demandaria um investimento de capital de 800 milhões a um bilhão de dólares. Hoje, o custo unitário de investimento para fábricas kraft estado-da-arte de celulose branqueada varia entre 1.100 a 1.200 US$/tsa.ano. Ou seja, com o mesmo investimento dos anos 80's que se usava para construir uma fábrica de 500.000 tsa.ano, podem-se construir hoje fábricas entre 800 a 900 mil toneladas por ano. Uma vantagem irresistível que acelera a busca pelas fábricas gigantes, sem dúvidas mais competitivas.

Entretanto, essas maxi-fábricas têm suas fraquezas e seus calcanhares de Aquiles. Elas são muito sensíveis aos distúrbios de processo e operação estável é vital. Isso quer dizer que interrupções de produção são mortais. Tudo deve operar como um excelente relógio suíço ou japonês.

As fábricas gigantes também concentram em um mesmo local as necessidades de insumos (especialmente de madeira) e a eliminação de seus poluentes. Mesmo que os consumos específicos de madeira por tonelada de celulose e as emissões unitárias de poluentes sejam mais baixos do que das demais fábricas, o gigantismo de suas produções acaba concentrando maiores quantidades de poluentes para serem lançados em um mesmo

ambiente e a necessidade de muito mais madeira a ser produzida na região onde estão localizadas. Por essa razão, algumas empresas de celulose preferem considerar a possibilidade de se ter duas fábricas grandes ao invés de uma fábrica gigantesca. Outras, para não perderem muito com paradas de uma linha gigante de produção, dividem a produção em um mesmo sítio entre duas ou mais linhas de fibras e de sistemas de recuperação de licor. O objeto é sempre otimizar a logística, reduzir paradas e aumentar resultados. Algumas empresas preferem diversificar a produção, mantendo uma linha para fibras longas e outra para fibras curtas, no mesmo sítio industrial.

O suprimento de madeira talvez seja o principal fator limitador para essas escalas gigantescas. Se não o é no Brasil, com certeza é a causa em países que precisam de muito maiores extensões de terra para suprir as demandas de madeira da fábrica. Mesmo no caso brasileiro, que possui excepcionais produtividades florestais com os eucaliptos, a necessidade em área efetivamente plantada para uma fábrica de celulose branqueada de 1,5 milhões de toneladas.ano é algo como 150.000 hectares de florestas. No Chile, essa área seria de 250.000 hectares, na Península Ibérica seriam 450.000 ha e nos países escandinavos seriam quase um milhão de hectares. Difícil imaginar que países com pequenas extensões territoriais possam se aventurar em construir maxi-fábricas de celulose, pois com certeza irão desagradar seus habitantes, mais preocupados em produção de alimentos nas suas terras nacionais.

Além disso, existem pressões e desafios intrínsecos e próprios do setor de todos os tipos para a produção de celulose branqueada, sendo alguns deles os seguintes:

- Maximização da eficiência operacional (estabilidade, produtividade e continuidade operacional);
- Maximização da eficiência energética;
- Melhoria na qualidade dos produtos em relação às exigências dos mercados-alvos;
- Otimização dos custos de investimentos;
- Otimização dos custos de manutenção;

- Redução, e mais redução ainda, dos custos operacionais e de produção;

- Redução dos impactos ambientais (fechamento de circuitos, redução de consumo de insumos, redução de poluentes, etc.);

- Automação crescente para uniformização dos processos e para redução do trabalho humano aplicado na fabricação;

- Otimização da logística de suprimento de madeira e da entrega dos produtos fabricados;

- Qualificação do pessoal técnico e operacional;

- etc.

Essas pressões e as novas formas de gestão em busca de ecoeficiência e sustentabilidade têm resultado em melhorias significativas nos processos produtivos, tais como:

- Aumento no rendimento da polpação e do branqueamento;

- Redução no consumo específico de madeira;

- Redução no consumo específico de vapor e de eletricidade;

- Melhoria na qualidade da celulose;

- Redução nos consumos específicos de insumos gerais (água, reagentes químicos, etc.);

- Redução nas perdas e desperdícios de processo (fibras, filtrados, licores, odores, particulados, etc.), resultando disso menores cargas poluentes;

- etc.

Entretanto, as maxi-fábricas em seu estado-da-arte também têm sido definidas como dinossáuricas, conforme o guru da administração Tom Peters, que acredita que empresas e fábricas de alta performance enfiam a cabeça no chão satisfeitas exatamente com os desempenhos que suas modernas tecnologias oportunizam no

dia presente. Eu até acreditava que quem enfiava a cabeça no chão eram as avestruzes, mas quem somos nós para contestar gurus de administração. Tom Peters também tem mencionado que, com as mudanças nos ambientes de negócios, só existiriam dois tipos de empreendedores: os rápidos e os mortos. E ele argumenta que o gigantismo enrijece a flexibilidade para ser rápido, no que está plenamente certo.

Apesar dessas considerações de Tom Peters, as maxi-fábricas brasileiras de celulose têm-se mostrado muitíssimo eficientes, efetivas, ecoeficientes, seguras, simples e de menores demandas em manutenções. Talvez ainda não tenhamos chegado aos limites de escala produtiva que possam perturbar a gestão das empresas, ou então, somos muito eficientes para dirigir as mesmas.

Independente dessas reflexões, já existe um consenso dentro do próprio setor de que o processo kraft, da forma como está, pode ser considerado no ápice de sua maturidade tecnológica. A economia de escala e a simples otimização dos processos fabris podem, a partir de agora, não serem tão efetivas para alavancar competitividade, como vinham fazendo até o presente. Acredita-se que esse modelo pode se tornar cada vez mais perigoso e arriscado. Com isso em mente, os produtores de celulose do hemisfério norte, que não conseguem acompanhar esse modelo por falta de área a plantar e de produtividade florestal, estão buscando modelos alternativos para as suas fábricas de celulose. Buscam modelos de multiprodutos e não mais de produto único e comoditizado, isso através das já mencionadas biorrefinarias integradas.

A sobra de eletricidade passou a oferecer um novo mercado às fábricas de celulose kraft: venda de energia elétrica para o sistema público ou para outras fábricas instaladas em ilhas ou arranjos industriais ("clusters"), tendo a fábrica de celulose como empresa-âncora. Esse tem sido o modelo vigente, com possibilidades enormes de expansão. Notem que uma fábrica de celulose kraft branqueada de eucalipto que produza um milhão de toneladas por ano, quando optar por ainda ter uma caldeira auxiliar de biomassa (casca das toras e cavacos de madeira refugados), consegue gerar um excedente de 500.000 a 750.000 MWh/ano. Isso corresponde a uma potência excedente para venda de 60 a 90 MW.

Caso tentemos desenhar um futuro com base no modelo de crescimento de escala e venda de energia elétrica conforme tem acontecido no presente, podemos atingir o ano 2020 com novas e gigantescas fábricas com as seguintes características:

- Produção anual de celulose kraft branqueada de mais de 2 milhões de toneladas em uma única localização, com uma ou duas linhas de fibra (6.000 tsa polpa/dia) e uma mega-caldeira de recuperação (aproximadamente 9.000 TSS/dia);

- Fábricas operando também como termoelétricas e com potências disponíveis para venda de 100 a 150 MW;

- Fábricas cada vez mais simples e com reduzidos consumos de água (cerca de 15 $m^3$/tsa) e de outros insumos;

- Intensa utilização de "*kidneys*" para purificação dos fluxos internos;

- Abastecimento energético com 100% de energia renovável (licor preto e biomassa);

- Processos pressurizados, com mais altas consistências, como se estivéssemos falando de uma sequência de tubos com altas pressões e temperaturas;

- Fábricas eficientes, com altas disponibilidades, baixas demandas por fácil manutenção, seguras, automatizadas, com circuitos muito fechados, baixos custos de produção, etc.

Em países com amplas extensões de terras disponíveis para plantações florestais, as maxi-fábricas nascerão em locais cercados por florestas plantadas e estarão ligadas a seus clientes por sistemas modais bastante eficientes na logística (ferrovias, hidrovias, aeroportos e portos marítimos).

Entretanto, esse modelo pode estar sendo alterado substancialmente em função de novas forças motrizes que passaram a atuar mais recentemente, em especial no hemisfério norte. Essas forças alavancadoras de mudanças tecnológicas são as seguintes:

- "*Roadmap*" tecnológico da Agenda 2020 nos Estados Unidos da América;

• Intensas pesquisas desenvolvidas pelo interesse de empresas e governos acerca de biorrefinarias integradas para o setor de celulose e papel;

• Nano-soluções tecnológicas;

• Reciclagem do papel;

• Custos e preços decrescentes dos produtos celulósico-papeleiros tradicionais;

• Oferta mais escassa de madeira em função da competição pelos setores energéticos;

• Valorização da madeira sem que os preços do papel aumentem nas mesmas proporções;

• Novas demandas de mercado (em tipos e quantidades de produtos);

• Exigências por Análise do Ciclo de Vida nas caracterizações dos produtos;

• Oportunidades florescentes na área de bioenergia;

• Oportunidades crescentes e interessantes nos mercados para nanocelulose;

• Oportunidades tecnológicas mais versáteis e flexíveis, com altos níveis de integração entre processos.

Essas forças motrizes têm capacidade e intensidade para mudar significativamente a feição das futuras fábricas de celulose kraft e em diferentes e variados modelos (tanto usando as rotas bioquímicas, como as termoquímicas). Ao invés de maxi-fábricas produzindo um a três produtos (celulose de mercado, papel e eletricidade), poderemos ter fábricas integradas produzindo principalmente os produtos acima e ainda biocombustíveis líquidos e gasosos, gases para síntese química e produtos químicos de alto valor agregado. Uma biorrefinaria integrada, na forma como hoje vem sendo estudada, poderia produzir celulose para fabricação de papel, lignina, etanol, dimetil éter, furfural, nano-cristais de celulose, biodiesel, gás de síntese, polímeros, bioóleo, etc., etc.

A simples e já viável remoção de parte da lignina do licor preto kraft consegue trocar a eletricidade excedente gerada hoje por outros produtos de possíveis maiores valores, como é o caso da lignina para fabricação de fibras de carbono, carvão ativado de alta performance, etc., etc. Também oferece a oportunidade da fábrica poder aumentar a produção da sua linha de fibras sem ter gargalos na recuperação do licor preto, algo muito bem-vindo para os técnicos e gestores de nosso setor.

Enfim, as alternativas são inúmeras e estão sendo abertas até de forma surpreendente. É claro que nem todas se viabilizarão técnica e economicamente, porém que o conceito de se produzir celulose vai mudar, disso não tenho dúvidas – e já está mudando, até mesmo no Brasil, em algumas das próximas maxi-fábricas que vão ser instaladas.

Nosso amigo Peter Axegård tem apresentado em muitos lugares do mundo sua excelente palestra, à qual ele denominou de "*The future pulp mill: a biorefinery*?". Com ela, Peter tem tentado mostrar a radiografia da indústria que ele está a conceber com seus pares de pesquisadores na empresa inovadora sueca Innventia. Resta apenas saber se as biorrefinarias vão fragmentar apenas a biomassa para se fabricarem multiprodutos, ou se vão inclusive explodir o conceito de maxi-fábricas, convertendo-as em mini-fábricas de novo.

Caso a caldeira de recuperação kraft possa ser "descartada" do processo, em função, por exemplo, da gaseificação do licor preto, então as mudanças no setor poderão ser dramáticas – e todos poderão ser afetados por elas. Sem necessidade de caldeiras, as linhas de fibras poderão ser adaptadas às condições de cada local e as fábricas poderão ser mais simples e menores. Inclusive, com a produção de multiprodutos, a localização das fábricas deverá ser repensada – mais importante será estar próximo aos inúmeros e variados clientes do que a uma extensa e distante área florestal.

Em paralelo a isso, o crescimento do setor de papel cada vez mais se apoia em mini-fábricas utilizando fibras recicladas. Essas estão sendo obtidas em quantidades maiores (sistemas de coleta seletiva nas municipalidades) e em qualidades cada vez mais próximas às das fibras virgens. Elas serão cada vez mais baratas, disponíveis e fáceis de serem processadas. As tecnologias com reciclagem do papel reduzirão, como já está acontecendo, as

necessidades específicas de fibras virgens por tonelada de papel fabricado. É uma verdade inquestionável. Portanto, as fábricas de celulose de mercado também deverão encontrar outros mercados, saindo assim do atual conceito de negócio que hoje se baseia em enormes tonelagens vendidas para grandes clientes a preços de "commodities".

Os desafios estão lançados. As rotas são inúmeras e diversas, mas em todos os casos, o sucesso dependerá da efetividade das tecnologias. Com tecnologias adequadas não apenas podemos trilhar o caminho do aumento de escala de produção e de ecoeficiência nas operações, como também a rota da fragmentação e conversão da biomassa florestal em multiprodutos, inclusive celulose e papel.

Por isso, os compromissos da indústria com a pesquisa fundamental e com o desenvolvimento de tecnologias aplicadas tornam-se cada vez mais críticos. Será que nossos dirigentes já notaram isso? Ou ainda estão acreditando que os ganhos em escala de produção lhes darão vida eterna? Lembram-se das já mencionadas palavras do guru Tom Peters? A escala de produção e a ecoeficiência com certeza aumentam a competitividade, mas até quando? E contra o que estaremos competindo no futuro?

O engano de muitos executivos é acreditar que os competidores no futuro estarão no próprio setor de fabricação onde atuam. Porém a prática tem mostrado que as coisas cada vez mais obedecem outras regras. Onde estarão os nossos competidores no futuro? E os nossos clientes, quem serão? É certo que as coisas mudarão.

Como não nos é possível prever um futuro tão turbulento por falta de bolas de cristal, temos que ir monitorando o caminho e inovando rápido. Se não acompanharmos o avanço do conhecimento, se não tivermos estratégias competitivas amplas e sem fronteiras, se não formos rápidos e competentes, poderemos estar obsoletando nossos enormes investimentos em curto espaço de tempo. Tomara que isso não aconteça com meus muitos amigos do setor de celulose e papel, mas o que fazer se acontecer? Sempre existirão riscos nos negócios - fazem parte disso, exatamente por serem negócios onde se pode ganhar ou perder.

==========

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Modernas linhas de fibra – uma das fontes de sucesso nesse atraente negócio de base florestal

O desempenho operacional e os resultados financeiros de uma fábrica de celulose kraft branqueada de eucalipto estão associados a

eficiências técnicas na produção e no uso de recursos escassos (insumos, energia, trabalho, etc.) na fabricação. Em geral, são relações numéricas que indicam a eficiência no uso de uma máquina, de um insumo, de uma matéria-prima, do trabalho de pessoas, etc..

Dentre esses itens vitais para qualquer fabricante de celulose de mercado, destacam-se aqueles que impactam diretamente na produtividade, na eficiência das operações e no consumo de insumos, tais como:

- Idade, escala e nível tecnológico das máquinas;
- Eficiência no uso das máquinas (conhecida como continuidade operacional);
- Eficiência no uso dos insumos e da energia;
- Capacitação técnica dos operadores e gestores;
- Nível de automação e controles instrumentais em linha;
- Práticas organizacionais (melhores práticas);
- Adoção de programas de qualidade e produtividade com estímulo às melhorias contínuas;
- Eficiência no processo de tomada de decisões;
- Rastreabilidade dos processos; etc.

Em geral, os gestores sabem muito bem onde focar, mas sempre há algo escondido debaixo do tapete a ser descoberto. Por isso, um dos principais pontos que sempre se pode melhorar nas empresas é o fortalecimento da interpretação dos indicadores para alavancar melhorias e não para gerar justificativas. Outro ponto crucial é a necessidade de ser rápido nas decisões e ações, pois sabemos muito bem que as fábricas não podem parar e que todo centavo economizado por tonelada de produto tem enormes reflexos ao longo do tempo.

Apenas para dar um exemplo simples sobre isso, vamos entender o que significa uma hora parada em perda de receitas para uma fábrica de celulose de mercado que produza 2.400 toneladas por dia de celulose vendável. Isso significa 100 toneladas por hora. Se a fábrica ficar uma hora parada deixará no mínimo de produzir 100 toneladas, mas há outras perdas também que sequer vamos calcular aqui. Se o preço líquido de venda desse produto for de 800 US$/tonelada e o custo variável de produção for 300 US$/tonelada, teremos uma margem de contribuição unitária de 500 US$. Logo, a receita bruta perdida por uma hora parada seria exatamente o que se deixou de receber como margem bruta horária, já que não gastamos os 300 dólares de custo variável unitário, mas também deixamos de resultar 500. Para 100 toneladas na hora o valor perdido na receita atingiria 100 x 500 = 50.000 dólares. Fácil entender então porque as fábricas não podem parar, não é mesmo?

Por essas razões enunciadas, muitas fábricas se estruturam para detalhadas avaliações da continuidade operacional, procurando entender as causas das perdas de produção e das paradas operacionais. Muitas vezes essas causas estão relacionadas às máquinas e suas manutenções, mas essas não são as únicas razões. Talvez seja mais fácil se reclamar das máquinas, materiais, matérias-primas e manutenção, mas não se enganem, há muitas outras razões.

Perdas de produção e descontinuidade operacional ocorrem em todas as áreas fabris. Como nossas fábricas são na verdade redes de operações, uma área parada pode afetar outras ou até mesmo a fábrica toda. A correta identificação dos problemas operacionais, mecânicos, elétricos, instrumentais, dentre outros, pode ajudar a melhorar a eficiência operacional e dessa forma os indicadores de produtividade.

Não há necessidade de ser um engenheiro de otimizações de produção para entender que a menor produtividade impactará fortemente os custos unitários de fabricação. Menor produtividade elevará tanto os custos fixos unitários (por redução da produção em mesmo espaço de tempo) como os custos variáveis (pelo aumento dos desperdícios de insumos, energia, reprocessamentos, etc.).

A grande e inquestionável verdade é que toda fábrica pode operar com muito menor uso de recursos/insumos, pois sempre ocorrem desperdícios que se traduzem em perdas de dinheiro e em poluição. Em qualquer local que se produza qualquer coisa sempre estaremos tendo desperdícios e rendimentos abaixo do estequiométrico. Isso é próprio do ser humano, espécie que teve seu desenvolvimento em um planeta rico de recursos que pareciam inesgotáveis. Só que agora as coisas estão mudando.

Os gestores e operadores de nossas fábricas precisam entender muito acerca das tecnologias e das matérias-primas que utilizam. Eles não podem ser treinados apenas para mover máquinas e controlar custos fabris. Afinal, são eles que se responsabilizam pelo desempenho operacional e pelos resultados empresariais.

Para bem fazer isso eles precisam:

- Conhecer a teoria e a ciência que se esconde por trás de cada operação industrial;

- Entender e dialogar com as máquinas e operações para conhecer as peculiaridades e gargalos/limitações do processo fabril;

- Entender quais seriam as operações críticas e vitais;

- Estabelecer indicadores de desempenho para essas operações vitais;

- Entender as causas para as não-conformidades e níveis inadequados de desempenho;

- Encontrar oportunidades de melhoria;

- Valorar as mesmas em suas vantagens econômicas, ambientais e sociais;

- Calcular o "*pay-back*" dessas oportunidades;

- Decidir o que fazer;

- Implementar e depois monitorar os ganhos para garantir a perpetuidade dos mesmos.

- Conceder mais tempo ao pessoal das fábricas para que possam pensar, refletir, estudar, dialogar e se integrar. A gestão do tipo "bafo na nuca" pode definitivamente cabrestear a mente e a inovatividade das pessoas. Elas não têm mais tempo inclusive de ler textos e livros técnicos – como atualizar seus conhecimentos dessa forma?

Não há operador ou supervisor de fábrica que não conheça onde estão as ineficiências do processo, ou "onde se perdem recursos e insumos pelo ralo". Eles sabem muito bem sobre: insumos desperdiçados, energia jogada fora, estoques fora do normal, máquinas que param, máquinas sub ou superdimensionadas, máquinas rodando abaixo da capacidade, refugos e desclassificações, rendimentos inadequados, medições erradas, manutenções imperfeitas, materiais inapropriados, tempos ociosos, serviços desnecessários, etc., etc. Há muita perversidade nisso tudo para o sucesso de nosso negócio. Muitas vezes as soluções são tão simples que temos até vergonha de enunciá-las e dizer por que razão ainda não foram implementadas.

Antigamente, quando os mercados eram protegidos e oligopólicos, quem pagava pelas nossas ineficiências eram os clientes, a quem se destinavam preços maiores. Hoje, com a competição e globalização da economia, não temos controle algum sobre os preços. Logo, quem pagará pelas nossas ineficiências será nossa empresa, que terá maiores custos e menores lucros. Para piorar ainda mais as coisas, tudo que se desperdiça vira poluição e os custos serão ainda maiores pela necessidade de se tratar os resíduos da água, solo e emissões aéreas.

Para mim, foi um privilégio ter podido condensar e escrever esse capítulo do **Eucalyptus Online Book**. Ele foi construído com finalidades didáticas para descortinar os processos produtivos de forma a contribuir para que a competitividade de nossa indústria de fabricação de celulose kraft branqueada de eucalipto possa ser ainda maior e o sucesso desse setor mais duradouro.

Também tem o objetivo de criar uma fonte de informações públicas e aberta, para que qualquer cidadão possa entender melhor os conceitos básicos e fundamentais em que se apoia esse segmento industrial vitorioso no Brasil. Procurei integrar conceitos empresariais, tecnológicos, científicos e de gestão por ecoeficiência e por competitividade. Vocês devem ter notado isso. Portanto, esse capítulo dificilmente pode ser definido como um texto de gestão, ou de ciência ou de explanações sobre tecnologias. É um condensado autêntico e único de tudo que classifiquei de importante sobre o setor – da madeira do eucalipto até a saída dos fardos de celulose para atendimento das demandas dos clientes.

Espero que o que escrevi possa lhes ser de utilidade, estimados amigos leitores.

Florestas plantadas de eucalipto: grandes aliadas e parceiras do setor de celulose kraft branqueada no Brasil

==========

# REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

A literatura sobre o processo de fabricação de celulose branqueada de eucalipto é bastante ampla e em grande parte concentrada em textos publicados no Brasil, Chile, Portugal, Espanha, Finlândia e Argentina.

Procuramos selecionar um conjunto de aproximadamente uma centena de websites e textos técnicos e científicos que possibilitassem aos leitores uma navegação interessante e atrativa na busca de conhecimentos práticos e aplicados sobre essa temática. Evidentemente, poder-se-ia oferecer uma seleção muito mais ampla, frente à diversidade de temas e autores disponibilizados na literatura. Entretanto, caso os leitores tenham necessidades adicionais, podem perfeitamente obter complementações através da utilização de ferramentas de busca na web. Outra alternativa seria navegar nas extensas literaturas apresentadas em cada um dos capítulos do Eucalyptus Online Book que foram referenciados como literatura por essa seleção.

Espero sinceramente que essa seleção de textos e websites referenciados possa lhes ser útil:

Os velhos tempos da fabricação da pasta de celulose

**Os eucaliptos - Livros históricos de autoria do Dr. Edmundo Navarro de Andrade e equipe**. Website Grau Celsius. Acesso em 10.07.2013:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos_outros11.html

**O eucalipto.** E.N. Andrade. 2ª Edição. Website Grau Celsius. Acesso em 10.07.2013:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos_outros12.html

**Anuário estatístico da ABRAF 2013 - Ano base 2012.** ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. 145 pp. Acesso em 10.07.2013:
http://www.abraflor.org.br/ (Website da ABRAF)
http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF13/ABRAF13_BR.pdf

**O processo de produção de celulose na Fibria.** Fibria S/A. 01 pp. Acesso em 10.07.2013:
http://www.fibria.com.br/shared/midia/infografico-fibria-3-setembro-2012.pdf

**Disciplinas online.** Professor Umberto Klock. UFPR - Universidade Federal do Paraná - Curso de Engenharia Industrial Madeireira. Acesso em 21.06.2013:

http://www.madeira.ufpr.br/ceim/index.php?option=com_content&view=article&id=141:polpa-e-papel&catid=20:polpa-e-papel&Itemid=81 (Disciplina Polpa & Papel)
e
http://www.madeira.ufpr.br/ceim/index.php?option=com_content&view=category&id=18:quimica-da-madeira&Itemid=81&layout=default (Disciplina Química da Madeira)
e
http://www.madeira.ufpr.br/ceim/index.php?option=com_content&view=category&id=19:introducao-a-engenharia-industrial-madeireira&Itemid=81&layout=default (Disciplina Introdução à Engenharia Industrial Madeireira)

**Aulas virtuais.** UNaM - Universidad Nacional de Misiones - FCEQyN - Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y Naturales - Argentina. Acesso em 21.03.2013:
http://www.aulavirtual-exactas.dyndns.org/claroline/auth/inscription.php (Para inscrição como usuário das aulas virtuais)
e
http://www.aulavirtual-exactas.dyndns.org/index.php?category=INMAN (Aulas virtuais de diversas disciplinas)

**Textos técnicos de docência.** Professor Carlos Eduardo Núñez. Acesso em 21.03.2013:
http://www.cenunez.com.ar/articulos.php?cid=2 (Textos e artigos sobre madeira e celulose/papel)

**Anuário estatístico da ABRAF 2012 - Ano base 2011.** ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. 145 pp. Acesso em 13.02.2013:
http://www.abraflor.org.br/ (Website da ABRAF)
http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF12/ABRAF12-BR.pdf

**Florestas plantadas : grandes aliadas do planeta.** BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel. Acesso em 13.02.2013:
http://www.bracelpa.org.br/ (Website da BRACELPA)
e
http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/344

**Planted forests: vital allies of the planet.** BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel. Acesso em 13.02.2013:
http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=en/node/422

**Panorama e dados do setor.** BRACELPA – Associação Brasileira de Celulose e Papel. Acesso em 13.02.2013:
http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf

**Papel com celulose de eucalipto.** Inventa Brasil. Redetec.org. Acesso em 13.02.2013:
http://www.redetec.org.br/inventabrasil/celeuca.htm

**Fabricação de celulose - Resumo.** H.F. Castro. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de Lorena. Apresentação em PowerPoint: 13 slides. Acesso em 10.02.2013:
http://bizuando.com/material-apoio/processos-qi2/Fabricacao_de_Celulose_Resumo.pdf

**Conpacel – Unidade Americana.** H.F. Castro. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de Lorena. Apresentação em PowerPoint: 25 slides. Acesso em 10.02.2013:
http://bizuando.com/material-apoio/processos-qi2/CONPACEL.pdf

**Energy cost reduction in the pulp and paper industry - An energy benchmarking perspective.** D.W. Francis; M.T. Towers; T.C. Browne. Pulp and Paper Research Institute of Canada. Natural Resources Canada. Acesso em 10.02.2013:
http://oee.nrcan.gc.ca/publications/industrial/pulp-paper-industry/261

**The model kraft market pulp mill.** D.W. Francis; M.T. Towers; T.C. Browne. Pulp and Paper Research Institute of Canada. Natural Resources Canada. Acesso em 10.02.2013:
http://oee.nrcan.gc.ca/publications/industrial/pulp-paper-industry/4468

**GT-EUCA: Grupo de trabalho sobre o eucalipto.** C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 41. (2012)
http://www.eucalyptus.com.br/newspt_jul12.html#dois

**Plantações florestais e o comprometimento com a sustentabilidade.** J.L. Penido. Madeira 2012. Apresentação em PowerPoint: 28 slides. (2012)
http://congressomadeira.com.br/2012/apresentacoes/Penido_Madeira2012.pdf

**A sustentabilidade das florestas plantadas de eucalipto na rede de valor da celulose e papel no Brasil.** C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 30. 182 pp. (2012)
http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT30_SustentabilidadeEucaliptos.pdf

**As biorrefinarias integradas no setor brasileiro de fabricação de celulose e papel de eucalipto.** C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 29. 257 pp. (2012)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT29_BiorrefinariasCelulosePapel.pdf

**As futuras fábricas de celulose kraft branqueada – O que podemos esperar para elas?** C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 39. (2012)
http://www.eucalyptus.com.br/newspt_fev12.html#quatorze

**Reflexões acerca da competitividade da indústria brasileira de celulose kraft branqueada de eucalipto.** C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 27. 171 pp. (2012)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT27_CompetitividadeCelulose.pdf

**Resumo: The fiberline of the future for *Eucalyptus* kraft pulp**. M.A. Andrade; O. Pikka. 5th International Conference on *Eucalyptus* Pulp. In "Highlights of the 5th International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp". TAPPI Peers 2011. Apresentação em PowerPoint: 42 slides. (2011)
http://www.tappi.org/Downloads/Conference-Papers/2011/2011-PEERS-Conference/11PEERS42.aspx

**Market pulp outlook.** T. Wright. Hawkins Wright. 24th Annual Global Forest & Paper Industry Conference. PwC – PricewaterhouseCoopers. Apresentação em PowerPoint: 17 slides. (2011)
http://www.pwc.com/gx/en/forest-paper-packaging/events/24th-fpp-conference/assets/Market-Outlook-Tom-Wright.pdf

**Global pulp market review.** Hawkins Wright. CFI Pulp and RCF Conference. Apresentação em PowerPoint: 26 slides. (2011)
http://www.chinaforestpaper.com/exp/en_2/images/report/report/2.pdf

**Aspectos da evolução tecnológica dos processos de produção de celulose e papel.** C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 34. (2011)
http://www.eucalyptus.com.br/newspt_abril11.html#quatorze

**Utilização dos conceitos da ecoeficiência na gestão das emissões atmosféricas do processo de fabricação de celulose kraft de eucalipto.** C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 22. 143 pp. (2011)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT22EmissoesAtmosfericas.pdf

**Utilização dos conceitos da ecoeficiência na gestão do consumo de água e da geração de efluentes hídricos no**

**processo de fabricação de celulose kraft de eucalipto.** C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 23. 145 pp. (2011)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT23_AguasEfluentes.pdf

**Os eucaliptos e os elementos não processuais na fabricação de celulose kraft.** C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 24. 122 pp. (2011)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT24_ElementosNproces.pdf

**Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose kraft de eucalipto. Parte 05: Resíduos minerais.** C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 25. 173 pp. (2011)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT25_ResiduosMinerais.pdf

**Sustainability and environmental issues in the kraft pulp industry**. C. Foelkel. V ICEP – International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp. Apresentação em PowerPoint: 52 slides. (2011)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/Sustainability%20and%20Environmental%20Issues_ICEP%202011_Final2.pdf

**Indicadores sociais em empresas de celulose e papel de eucalipto.** C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 31. (2010)
http://www.eucalyptus.com.br/newspt_dez10.html#quatorze

**Indicadores de desempenho e de produtividade para fábricas de celulose e papel de eucalipto.** C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 30. (2010)
http://www.eucalyptus.com.br/newspt_out10.html#quatorze

**Indicadores de performance ambiental para fábricas de celulose kraft branqueada de eucalipto.** C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 29. (2010)
http://www.eucalyptus.com.br/newspt_set10.html#quatorze

**Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto. Parte 04: "Casca suja".** C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 21. 100 pp. (2010)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT21_CascaSuja.pdf

**Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto. Parte 03: Lodos & lodos.** C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 20. 191 pp. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT20_LODOS.pdf

**Um guia referencial sobre ecoeficiência energética para a indústria de papel e celulose kraft de eucalipto no Brasil.** C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 19. 140 pp. (2010)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT19_EcoeficienciaEnerg.pdf

**Desenvolvimento tecnológico florestal. Melhorias contínuas na produtividade florestal podem ser esperadas? Uma visão celulósica eucalíptica.** C. Foelkel. LATINA 2010. Apresentação em PowerPoint: 40 slides. (2010)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/Desenvolvimento_Tec_Florestal_LATINA_2010_Celso_Foelkel.pdf

**Technological development in plantation forestry. Will continuous improvements in forest productivity be sustained and/or expected? A view under the *Eucalyptus* pulp industry perspective.** C. Foelkel. LATINA 2010. Apresentação em PowerPoint: 40 slides. (2010)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/Technical%20Development%20%20-%20Plantation%20Forestry%20_LATINA%202010_Celso%20Foelkel.pdf

**Draft reference document on best available techniques in the pulp and paper industry.** EC / EU / IPPC – European Commission – Integrated Pollution Prevention and Control Bureau. 746 pp. (2010)
http://eippcb.jrc.es/reference/BREF/PP_D1_0410.pdf

**O processo de distribuição de celulose na Fibria S/A.** S.C. Dal'Col. Monografia de Curso de Especialização. UFES – Universidade Federal do Espírito Santo. 53 pp. (2010)
http://logisticatotal.com.br/files/monographs/7e3b469e484249b8c16379e7945da7da.pdf

**Estrutura anatômica e química da madeira.** A. Magaton. Curso Especialização em Celulose e Papel. ABTCP/UFV. 102 pp. (2009)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/02_QuimicadaMadeira_A_Magaton.pdf

**Individualização das fibras da madeira do eucalipto para a produção de celulose kraft.** C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 16. 107 pp. (2009)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT16_IndividualizacaoFibras.pdf

**O processo de impregnação dos cavacos de madeira de eucalipto pelo licor kraft de cozimento.** C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 15. 97 pp. (2009)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT15_ImpregnacaoCavacos.pdf

**Propriedades papeleiras das árvores, madeiras e fibras celulósicas dos eucaliptos.** C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 14. 111 pp. (2009)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT14_PropPapeleiras.pdf

**Papel e celulose. Apostila 4. Processos Químicos Industriais II.** H.F. Castro. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de Lorena. 30 pp. (2009)
http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840556/434/apostila4papelecelulose.pdf

**Impacto da qualidade da madeira de eucalipto no desempenho financeiro de um modelo de fábrica brasileira de celulose.** (Influence of *Eucalyptus* wood properties on the financial performance of a modeled Brazilian pulp mill). J. Lopez; J.L. Gomide; R. Phillips. O Papel 70(7): 53-71. (2009)
http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1311883616_dd97aa43f5c9de6dd29fd66d8b4dfceb_2096740057.pdf

**A influência dos ácidos hexenurônicos no rendimento e na branqueabilidade da polpa kraft.** G. Ventorim; J.C. Caraschi; J.L. Colodette; J.L. Gomide. Química Nova 32(2): 373-377. (2009)
http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n2/v32n2a19.pdf

**Estrutura anatômica da madeira.** J.L. Gomide. Curso de Especialização ABTCP/UFV. Apresentação em PowerPoint: 40 slides. (2009)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2001.%20Estrutura%20Anat%F4mica%20e%20Densidade%20da%20Madeira.pdf

**Growth on the horizon.** Andritz. Spectrum Edição 20. (2009)
http://spectrum.andritz.com/archive/archive-online/iss_20/art_20_10.htm

**Processo de planejamento integrado de negócio - S&OP passo-a-passo.** C.R. Azevedo. FGV VGCelog – Centro de Excelência em Logística e Supply Chain. Apresentação em PowerPoint: 24slides. (2009)
http://www.eaesp.fgvsp.br/subportais/celog/S&OP%20passo%20a%20passo.pdf

**Capítulo I: Matérias primas fibrosas.** G. Mogollón; J.A. Garcia Hortal; W. Leon. In: "Panorama de la Industria de Celulosa y Papel en Iberoamérica 2008". M.C. Area. RIADICYP. 46 pp. (2008)
http://www.riadicyp.org.ar/images/stories/Libro/capitulo1_materias_primas.pdf

**Capítulo II: Polpação.** F.G. Silva Jr.; J.O. Brito. In: "Panorama de la Industria de Celulosa y Papel en Iberoamérica 2008". M.C. Area. RIADICYP. 42 pp. (2008)
http://www.riadicyp.org.ar/images/stories/Libro/capitulo2.pdf

**Capítulo III: Blanqueo de pastas.** J.A. Garcia Hortal; M. Blanca Roncero; T. Vidal. In: "Panorama de la Industria de Celulosa y Papel en Iberoamérica 2008". M.C. Area. RIADICYP. 48 pp. (2008)
http://www.riadicyp.org.ar/images/stories/Libro/capitulo3.pdf

**A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento da polpa e na qualidade do produto.** (*Relative importance of wood density and carbohydrate content on pulping yield and product quality*). A. Mokfienski; J.L. Colodette; J.L. Gomide; A.M.M.L. Carvalho. Ciência Florestal 18(3): 401-413. (2008)
http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/534/53418313.pdf
e
http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/download/451/348
e
http://www.bioline.org.br/request?cf08038

***Eucalyptus* kraft pulp bleaching: state-of-the-art and new developments.** J.L Colodette; C.M. Gomes; M.S. Rabelo; K.M.M. Eiras; A.F. Gomes; K.D. Oliveira. TAPPI Journal (Fevereiro). 13 pp. (2008)
http://www.tappi.org/Downloads/Journal-Articles/08feb18.aspx

**Competitividade do setor: celulose ou papel?** C.A.F. Silva. 41º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 25 slides. (2008)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/18_2008_Competitividade%20do%20setor.pdf

**Indústria de celulose e papel no Brasil - Oportunidades e ameaças.** C.A.F. Silva. Congresso Madeira 2008. Apresentação em PowerPoint: 20 slides. (2008)

http://www.abraflor.org.br/documentos/madeira2008/02.pdf

**A celulose de eucalipto: uma oportunidade brasileira.** (*Eucalyptus* pulp - *a Brazilian opportunity*). L.R.S. Queiroz; L.E.G. Barrichelo. AvisBrasilis Editora. 156 pp. (2008)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/A%20celulose%20de%20eucalipto.pdf

**Guia prático de manejo de plantações de eucalipto.** C.F. Wilcken; A.C.V. Lima; T.K.R. Dias; M.V. Masson; P.J. Ferreira Filho; M.H.F.A. Dal Pogetto. FEPAF – Botucatu. 19 pp. (2008)
http://www.iandebo.com.br/pdf/plantioeucalipto.pdf

**Tratando os efluentes hídricos das fábricas de celulose kraft branqueada de eucalipto.** C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 18. (2008)
http://www.eucalyptus.com.br/newspt_dez08.html#quatorze

**A produção de florestas plantadas de eucalipto sob a ótica da ecoeficácia, ecoeficiência e da produção mais limpa**. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 11. 113 pp. (2008)
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT11_P%2BL_florestal.pdf

**Resíduos sólidos industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto. Parte 02: Fatores de sucesso para seu gerenciamento.** C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 13. 128 pp. (2008)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT13_Residuos02.pdf

**Oportunidades para ecoeficácia, ecoeficiência e produção mais limpa na fabricação de celulose kraft de eucalipto.** C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 10. 92 pp. (2008)
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT10_ecoeficiencia.pdf

**Resíduos sólidos industriais da produção de celulose kraft de eucalipto - Parte 01: Resíduos orgânicos fibrosos.** C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 05. 78 pp. (2007)
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT05_residuos.pdf

**As melhores tecnologias e práticas ambientalmente disponíveis para produção de polpa kraft branqueada de eucalipto. *Uma Visão de Celso Foelkel*.** C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 08. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/newspt_mar07.html#quatorze

**Modernas linhas de fibras de celulose kraft branqueada de eucaliptos.** C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 07. (2007)
http://www.eucalyptus.com.br/newspt_jan07.html#quatorze

**Advances in the kraft chemical recovery process.** H. Tran; E.K. Vakkilainnen. III ICEP – International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp. 07 pp. (2007)
http://www.eucalyptus.com.br/icep03/200Tran.text.pdf

**Estrutura anatômica e qualidade da madeira**. J.L. Gomide. Curso de Especialização ABTCP/UFV. Apresentação em PowerPoint: 272 slides. (2007)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2002%20-%20Anat%F4mia_e_Qualidade_e_da_Madeira-Agosto2007.pdf

**O eucalipto: um século no Brasil** (*The eucalypt: a century in Brazil*). L.R.S. Queiroz; L.E.G. Barrichelo. Edição Duratex S/A. 131 pp. (2007)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/O%20Eucalipto_Duratex.pdf

**As fibras dos eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose kraft para a fabricação de papel**. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 03. 48 pp. (2007)
http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT03_fibras.pdf

**A fabricação de celulose kraft branqueada de eucalipto e o consumo de água.** C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 09. (2007)
http://www.eucalyptus.com.br/newspt_maio07.html#quatorze

**Fechando os circuitos para se reduzir ainda mais o consumo de água na fabricação de celulose kraft branqueada de eucalipto.** C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 10. (2007)
http://www.eucalyptus.com.br/newspt_julho07.html#quatorze

**Os eucaliptos no Brasil. Parte 01.** C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 05. (2006)
http://www.eucalyptus.com.br/newspt_jul06.html#quatorze

**Os eucaliptos no Brasil. Parte 02.** C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 06. (2006)
http://www.eucalyptus.com.br/newspt_out06.html#quatorze

**Modern fiberlines in Latin America.** C. Foelkel. TAPPI Conference. Apresentação em PowerPoint: 22 slides. (2006)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/Modern%20fiberlines%20in%20Latin%20America.pdf

***Eucalyptus* wood characteristics - *Brazilian* pulping industry.** J.L. Gomide. TAPPI *Eucalyptus* Tutorial. Apresentação em PowerPoint: 36 slides. (2006)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2006%20-TAPPI%20Tutorial2.pdf

**Produção de celulose de *Eucalyptus* no Brasil: desafios e novos desenvolvimentos.** J.L. Gomide. 39º Congresso ABTCP/TAPPI. Apresentação em PowerPoint: 30 slides. (2006)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2005%20-%20 ABTCP%20TAPPI%202006%20%20Jose%20Gomide.pdf

**Environmentally friendly *Eucalyptus* pulp production in South America.** C. Foelkel. TAPPI *Eucalyptus* Tutorial. Apresentação em PowerPoint: 27 slides. (2006)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/TAPPI%20Eucalyptus%20Tutorial%20%20Environmental%20Performances.pdf

**Plantation forests in Brazil.** C. Foelkel. TAPPI *Eucalyptus* Tutorial. Apresentação em PowerPoint: 75 slides. (2006)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/Tappi%20Eucalyptus%20Tutorial.%20Plantation%20Forests%20in%20Brazil.pdf

**Technological developments in the sustainable plantation of forests in Brazil.** C. Foelkel. China Paper. (2006)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/China%20Paper%202006.doc
(Word/PDF – 05 pp.)
e
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/China%20Paper%202006.pdf
(Apresentação em PowerPoint: 59 slides)

**Lavando e limpando as polpas de eucalipto.** C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 03. (2006)
http://www.eucalyptus.com.br/newspt_jan06.html#quatorze

**Sequências ECF e TCF de branqueamento da celulose kraft de eucalipto.** C. Foelkel. Eucalyptus Newsletter nº 04. (2006)
http://www.eucalyptus.com.br/newspt_may06.html#quatorze

**Supply chain management in the pulp and paper industry.** D. Carlsson; S. D'Amours; A. Martel; M. Rönnqvist. CIRRELT – Université Laval. 39 pp. (2006)
https://www.cirrelt.ca/DocumentsTravail/2006/DT-2006-AM-3.pdf

**Avaliação tecnológica de clones de eucalipto. Parte 1: Qualidade da madeira para produção de celulose kraft.** (*Technological assessment of Eucalyptus wood clones. Part 1 - Wood quality for kraft pulp production*). C.R. Ferreira; M. Fantini Jr.; J.L. Colodette; J.L. Gomide; A.M.M.L. Carvalho. Scientia Forestalis 70: 161-170. (2006)
http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr70/cap16.pdf

**Avaliação tecnológica de clones de eucalipto. Parte 2 – Qualidade da celulose branqueada kraft para papel de imprimir e escrever.** (*Technological assessment of Eucalyptus wood clones. Part 2 - Bleached pulp quality for printing and writing papers).* C.R. Ferreira; M. Fantini Jr.; J.L. Colodette; R.C. Oliveira; J.L. Gomide; A.M.M.L. Carvalho. Scientia Forestalis 71: 09 – 18. (2006)
http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr71/cap01.pdf

**Os clones de excelência no Brasil para produção de celulose.** J.L. Gomide; J.L. Colodette; R.C. Oliveira; C.M. Silva. Congresso Internacional ABTCP/TAPPI. 15 pp. (2006)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2011%20-%20clones%20de%20excel%EAncia.2006.pdf

***Eucalyptus*: forests, pulp mills & pulp markets.** C. Foelkel. China Paper 2005. Apresentação em PowerPoint: 47 slides. (2005)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/China%20Paper%20Speech%202005final.pdf

**Progress in *Eucalyptus* kraft pulp bleaching.** J.L. Colodette; C.M. Gomes; M. Rabelo; K.M.M. Eiras. II ICEP – International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp. 18 pp. (2005)
http://www.eucalyptus.com.br/icep02/jorge_colodette.pdf

***Eucalyptus* kraft pulp bleaching: state-of-the-art and new developments.** J.L Colodette; A.H. Mounteer; C.M. Gomes; M.S.

Rabelo; K.M.M. Eiras. TAPPI Engineering, Pulping & Environment Conference. 31 pp. (2005)
http://www.tappi.org/Downloads/unsorted/UNTITLED---05EPE213pdf.aspx

**Tecnologia e química da produção de celulose. Parte 01.** J.L. Gomide. Curso de Especialização ABTCP/UFV. Apresentação em PowerPoint: 218 slides. (2005)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2003-%20 Tecnologia_e_Quimica_da_Produ%E7%E3o_de_Celulose_-_P.pdf

**Tecnologia e química da produção de celulose. Parte 02**. J.L. Gomide. Curso de Especialização ABTCP/UFV. Apresentação em PowerPoint: 229 slides. (2005)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2004% 20-Tecnologia_e_Quimica_da_Produ%E7%E3o_de_Celulose_-_P.pdf

**Importância relativa da densidade básica e da constituição química de madeira de *Eucalyptus spp.* no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa kraft.** (Relative importance of *Eucalyptus spp.* wood basic density and chemical composition on yield, bleachability and kraft pulp quality). A. Mokfienski. Tese de Doutorado. UFV. 153 pp. (2004)
http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1545

**Ecoeficiência na indústria de celulose e papel - Estudo de caso**. Z.C. Piotto. Tese de Doutorado. USP – Universidade de São Paulo. 379 pp. (2003)
http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/teses/tese_zeila_c_piotto.pdf

**Influence of pulping conditions on *Eucalyptus* kraft pulp yield, quality, and bleachability.** J.L. Colodette; J.L. Gomide; R. Girard; A.-S. Jääskeläinen; D.S. Argyropoulos. TAPPI Journal (Março). 07 pp. (2002)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2014%20-%20pulping%20conditions%20colodette.2002.pdf

**Estudos de pastas kraft de *Eucalyptus globulus:* Características estruturais e aptidão papeleira.** P.J.T. Ferreira. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra. 366 pp. (2000)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/48_Paulo%20Ferreira_tese%20doutorado.pdf
e
http://www.blogdopapeleiro.com.br/biblioteca/Cientificos/Papel/Tese_PJTF.pdf

e
https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/10316/2025/2/Tese_PJTF.pdf

**Dissolução dos constituintes da madeira de eucalipto ao longo dos processos kraft contínuo convencional e aditivado**. J.M. Almeida; J.L. Gomide; D.J. Silva. Revista Árvore 24(2): 215 – 222. (2000)
http://books.google.com.br/books?id=6XWaAAAAIAAJ&pg=PA121&lpg=PA121&dq=%22Dissolu%C3%A7%C3%A3o+dos+constituintes+da+madeira+de+eucalipto+ao+
longo+dos+processos+kraft+cont%C3%ADnuo+convencional+e+aditivado
%22&source=bl&ots=GHv0UW3jhX&sig=wULxsBI3rodfyo6KEDKScjfzm6U&hl=
ptBR&ei=qtcRSo6DD4aEtwfWqfSJCA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=1

**A cultura do eucalipto no Brasil.** (*Eucalypt cultivation in Brazil*). A.L. Mora; C.H. Garcia. SBS - Sociedade Brasileira de Silvicultura. 78.4 MB. 114 pp. (2000)
http://www.celso-
foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2003_A%20Cultura%20do%20Eucalipto%20no%20Brasil.pdf

**Estudo das variáveis de cozimento nas características químicas de pastas kraft de *Eucalyptus globulus*.** M.G.V.S. Carvalho. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra. 282 pp. (1999)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/
49_Maria_Graca_Carvalho_Tese%20Doutorado.pdf
e
https://estudogeral.sib.uc.pt/bitstream/
10316/2024/2/Tese_doutoramento_MariaGracaCarvalho.pdf

**The Brazilian pulp and paper industry and its forestry model for sustainable development.** C. Foelkel. Website Grau Celsius. 07 pp. (1997)
http://www.celso-
foelkel.com.br/artigos/outros/Brazilian%20model%20of%20sustainable%20forestry.doc

**Madeira do eucalipto: da floresta ao digestor.** C. Foelkel. I Congresso Brasileiro sobre a Qualidade da Madeira. 26 pp. (1978)
http://www.celso-
foelkel.com.br/artigos/outros/Madeira%20do%20eucalipto_%20da%20floresta%20ao%20digestor.pdf

**A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel.** L.E.G. Barrichelo; J.O. Brito. PRODEPEF/BRA 45 Série Divulgação nº 13. 149 pp. (1976)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/A%20madeira%20das%20especies%20de%20eucalipto%20mp1.pdf

**Tecnologia de celulose e papel.** C.E.B. Foelkel; L.E.G. Barrichelo. USP – Universidade de São Paulo. 213 pp. (1975)
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/TecnologiaCelulosePapel_ESALQ_1975.pdf

**Sobre os eucaliptos no Brasil.** C. Foelkel. Pergunta nº 1012. Pergunte ao Euca Expert. (s/d = sem referência de data)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/1012_Sobre%20os%20eucaliptos%20no%20Brasil.pdf

**Volume de cavacos a partir da madeira produzida na floresta de eucalipto.** C. Foelkel. Pergunta nº 1014. Pergunte ao Euca Expert. (s/d = sem referência de data)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/1014_Relacoes%20volumes%20madeira%20e%20cavacos.pdf

**Cartilhas sobre o eucalipto.** C. Foelkel. Pergunta nº 1031. Pergunte ao Euca Expert. (s/d = sem referência de data)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/1031_Cartilhas%20sobre%20o%20eucalipto.pdf

**Quantidade de madeira de eucalipto para produção de uma tonelada de celulose branqueada.** C. Foelkel. Pergunta nº 1071. Pergunte ao Euca Expert. (s/d = sem referência de data)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/1071_Quantidade%20madeira%20para%20fabricar%20celulose.pdf

**Peso de um metro cúbico estéreo de madeira de eucalipto.** C. Foelkel. Pergunta nº 1089. Pergunte ao Euca Expert. (s/d = sem referência de data)
http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/1089_Peso%20de%20estere%20de%20madeira.pdf

**Espero que essa coletânea de conhecimentos variados sobre esse tipo de produção baseada nos eucaliptos possa lhes ser de muita utilidade.**

**Um abraço a todos e muito obrigado**

==========