



Eucalyptus Online Book & Newsletter



Diferenciando Polpas de Mercado e Papéis de Eucalipto através da Gestão dos Finos Celulósicos da Polpa

Celso Foelkel

www.celso-foelkel.com.br
www.eucalyptus.com.br
www.abtcp.org.br

Novembro 2009

Empresas patrocinadoras:

BOTNIA

INTERNATIONAL  PAPER



KSH-CRA ENGENHARIA LTDA.



Diferenciando Polpas de Mercado e Papéis de Eucalipto através da Gestão dos Finos Celulósicos da Polpa

Celso Foelkel

CONTEÚDO

- DEFININDO FINOS CELULÓSICOS
- ANATOMIA DOS FINOS PRIMÁRIOS
- ANATOMIA DOS FINOS SECUNDÁRIOS
- METODOLOGIAS PARA MEDIÇÃO DE FINOS
- TEORES DE FINOS EM POLPAS DE MERCADO DE EUCALIPTO
- PRINCIPAIS PROPRIEDADES DOS FINOS CELULÓSICOS
- RELAÇÕES ENTRE TEORES DE FINOS COM POPULAÇÃO FIBROSA E “COARSENESS” DAS POLPAS
- INFLUÊNCIA DOS FINOS CELULÓSICOS NAS PROPRIEDADES DAS POLPAS KRAFT BRANQUEADAS DE EUCALIPTO
- INFLUÊNCIA DOS FINOS CELULÓSICOS SECUNDÁRIOS NAS PROPRIEDADES DAS POLPAS KRAFT REFINADAS DE EUCALIPTO
- FINOS E SUAS CONSEQÜÊNCIAS NA FABRICAÇÃO DO PAPEL
- FINOS E SUAS CONSEQÜÊNCIAS NA QUALIDADE DOS PAPÉIS
- FRACIONAMENTO DE FIBRAS E DE FINOS
- RECICLAGEM DO PAPEL E GERAÇÃO DE FINOS
- GESTÃO DOS FINOS EM FÁBRICAS DE CELULOSE DE MERCADO
- GESTÃO DOS FINOS EM FÁBRICAS DE PAPEL
- CONSIDERAÇÕES FINAIS
- REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

Diferenciando Polpas de Mercado e Papéis de Eucalipto através da Gestão dos Finos Celulósicos da Polpa

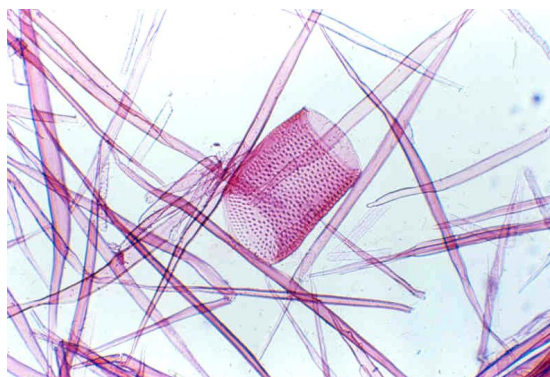
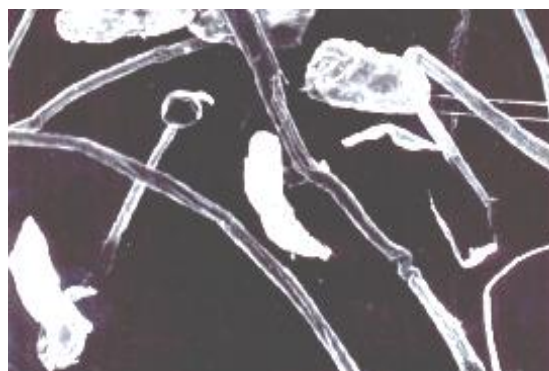
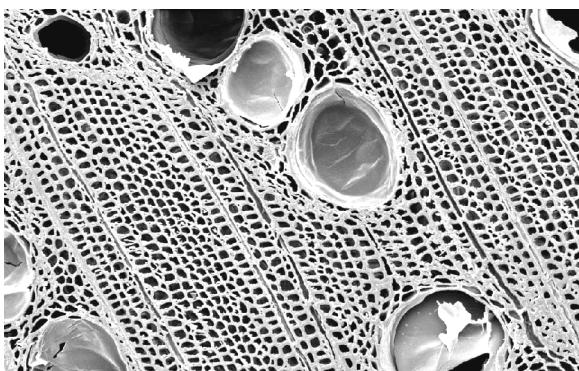
Celso Foelkel

www.celso-foelkel.com.br

www.eucalyptus.com.br

www.abtcp.org.br

DEFININDO FINOS CELULÓSICOS

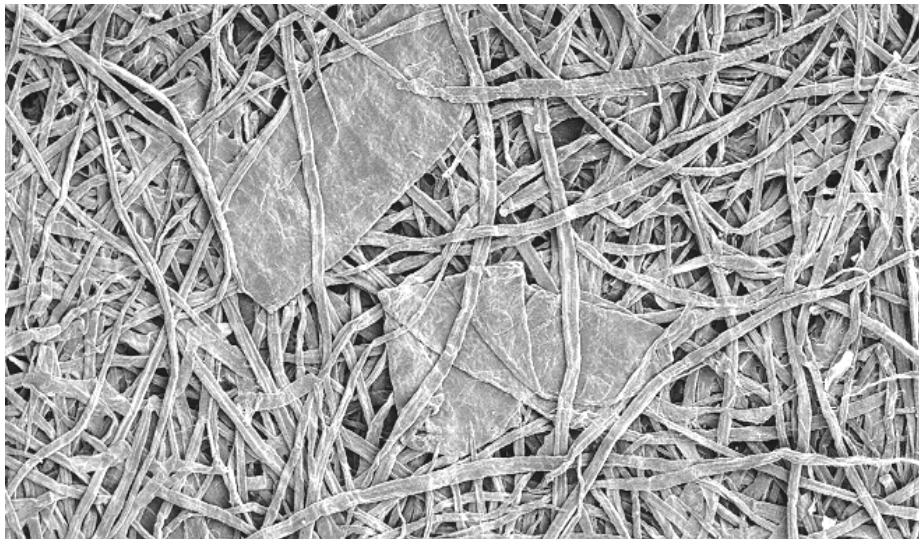
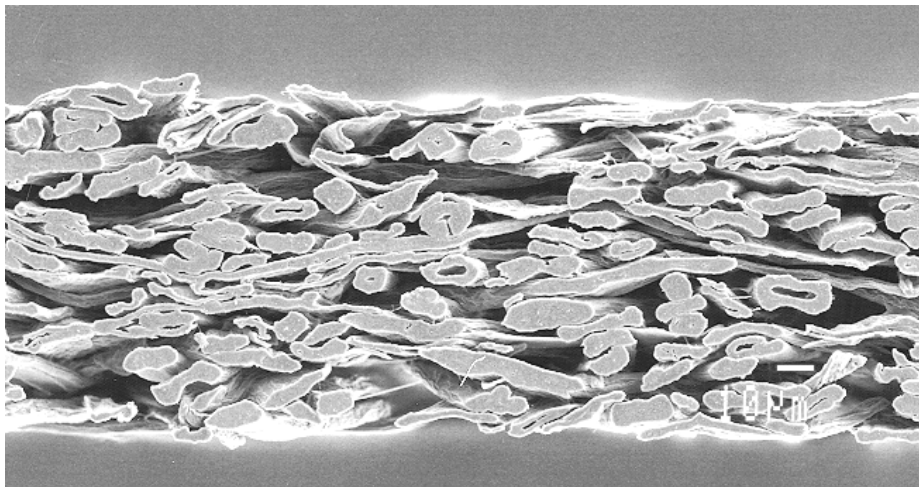


Madeiras, fibras, elementos de vasos e finos – a diversidade anatômica pode e deve ser gerenciada

Polpas celulósicas são misturas complexas e com certo nível de irregularidade nas suas partículas constituintes, tanto em termos de formato, como de composição química e dimensões. Isso em parte porque a madeira, sua principal matéria-prima, é constituída por elementos anatômicos que possuem diferentes morfologias e funções nas árvores.

Quando a polpa é produzida, os seus componentes anatômicos são individualizados através de processos de polpação químicos ou mecânicos, ou algo intermediário entre esses extremos. Esses elementos anatômicos se mesclam de forma irregular e natural, criando-se assim o produto polpa celulósica ou simplesmente celulose.

Quando alguém menos avisado olha uma folha de papel ou de celulose a olho nu, não consegue sequer visualizar ou imaginar essas diferenças. Aparentemente para ele, essas folhas parecem ser algo uniforme e estável. Entretanto, a nível microscópico, pode-se perfeitamente notar a enorme diversidade de seus constituintes, arranjados nas diferentes dimensões do papel.



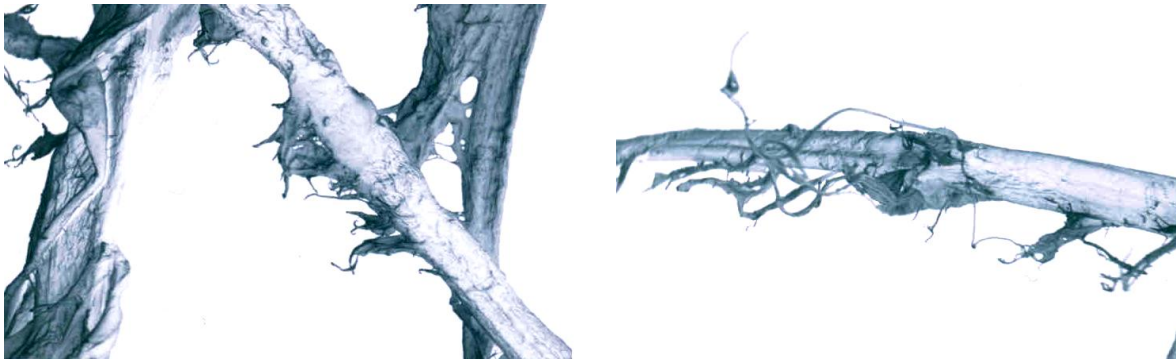
Paisagens anatômicas de folhas de papel:

Visualização de fibras, finos e vasos na espessura e superfície das folhas de papel

Quando a polpa química de celulose é recém produzida, ela apresenta ainda esses elementos de forma relativamente intacta, com apenas alguns

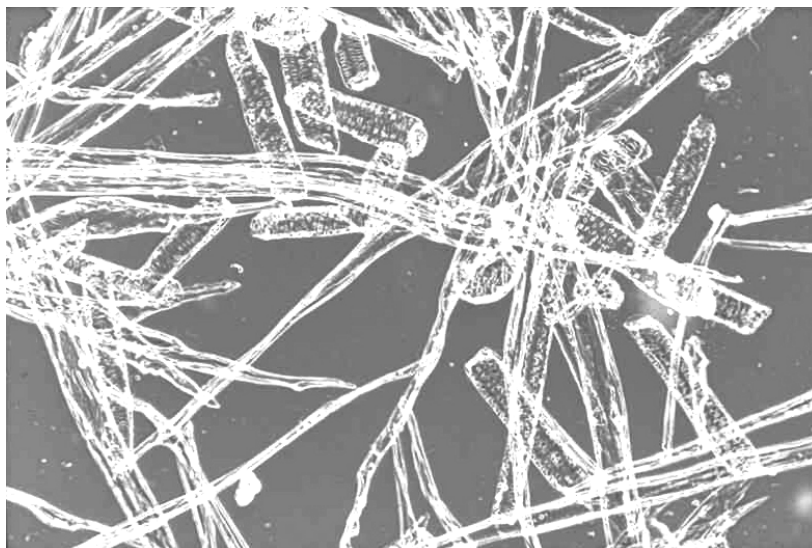
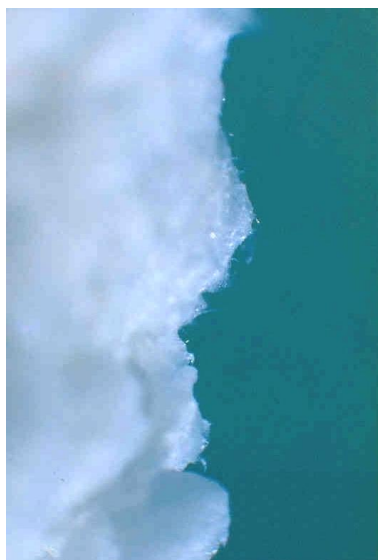
danos causados pelo processamento mecânico na fábrica de celulose (pela picagem da madeira, por agitações e bombeamentos, etc.). Entretanto, na fabricação do papel, a polpa celulósica necessita de um tratamento mecânico enérgico conhecido por refino ou moagem, para desenvolver resistências. Esse tratamento causa danos muito grandes às fibras, colapsando-as, quebrando-as, rompendo camadas, desfibrilando-as, etc. Esses danos e modificações são vitais para aumentar as ligações entre as fibras. Com isso, elas se unem melhor na matriz da folha de papel, que após secagem, desenvolve suas resistências ainda mais. Entretanto, mesmo a folha úmida se consolida melhor e fica mais resistente com a moagem da massa.

Essas ações mecânicas, necessárias para quase todos os tipos de papéis, aumentam ainda mais a diversidade dessas partículas que constituem a massa ou pasta celulósica.



Fibras refinadas e desfibriladas- Novos tipos de finos são assim criados...

Os papeleiros costumam chamar a essa massa irregular de partículas distintas pela simples denominação de fibras. Acontece que existem muito mais do que fibras compondo a polpa de celulose. Apesar das fibras serem os elementos anatômicos mais abundantes em peso e em volume, existem outros elementos nessa massa de polpa. Os de pequenas dimensões são conhecidos por finos e os muito largos e curtos (em forma de barriletes) são denominados elementos de vaso. Já as fibras caracterizam-se por apresentar muito alta relação comprimento/largura, por volta de 40 a 60 para as de eucalipto. As fibras são por isso mesmo, elementos alongados e estreitos, ocos em seu interior pela presença de um lúmen. São definitivamente os elementos mais desejados e abundantes em qualquer polpa de celulose destinada à fabricação de papel.



Magnificando a polpa de celulose para enxergar finos e fibras

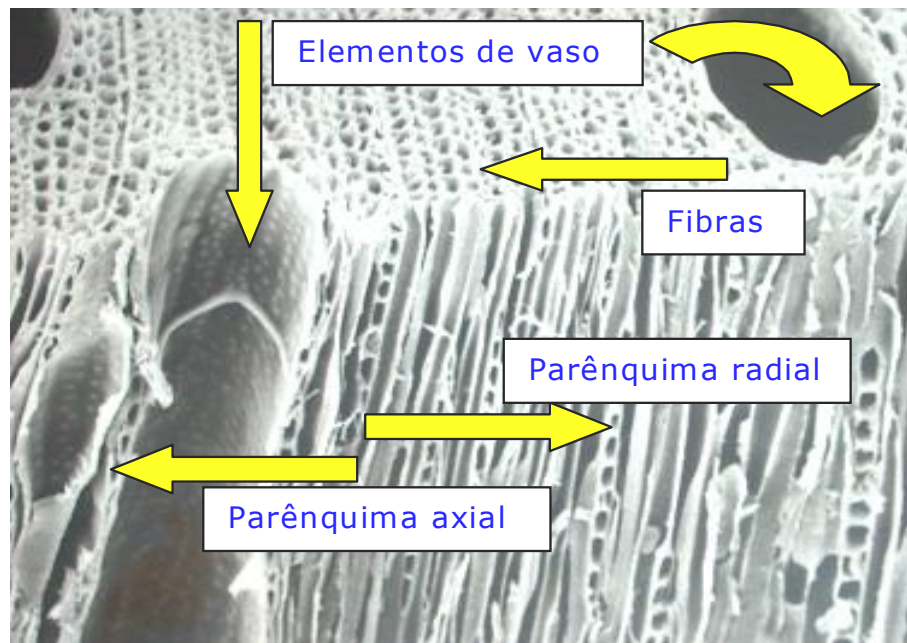
Os finos são partículas significativamente menores que as fibras. Consistem de elementos anatômicos da madeira, tais como as células de parênquima, ou então, pedaços de fibras criados pelo colapso ou quebras de alguma parte das fibras. Temos, entre as células parenquimatosas, as de origem do parênquima axial e do raio medular (parênquima radial). Alguns pequenos elementos de vaso ou fibras ainda muito curtas (em formação ou próximas à medula do xilema) podem também ser medidas e consideradas como finos.

Mesmo quando a polpa ainda sequer foi refinada, ela já contém quantidades significativas desses finos, que são, por essa razão mesmo, denominados de "finos primários". Os finos primários consistem então de células de parênquima, fibras pequenas e fibras quebradas/partidas e alguns elementos de vaso (os mais curtos e estreitos). Muitas dessas fibras quebradas e pontas de fibras se formam das ações de picagem da madeira, que cortam a mesma em cavacos. Nessa operação de produção de cavacos, gera-se alguma quantidade também de serragem e pó de madeira, bem como as fibras cortadas presentes nos cavacos. Após a polpação, esses elementos fragmentados acabam presentes na polpa, entrando na constituição dos finos primários.

Mesmo os finos primários possuem algum tipo de fibrilas presentes em sua composição. Atualmente, alguns medidores óticos de fibras conseguem diferenciar as células íntegras das fibrilas da polpa, em função da tonalidade cinzenta das fibrilas. Como as fibrilas são muito mais finas do que as fibras e demais partículas maiores dos finos, elas aparecem com cores diferentes nas medições óticas. Torna-se portanto possível se determinar qual a percentagem de fibrilas que estão presentes nos finos primários. Para polpas kraft de fibras curtas, a percentagem de fibrilas pode variar entre 5 a 15% do peso total dos finos primários, dependendo da matéria-prima e do processamento industrial. Já para as polpas kraft de fibras longas, essa

percentagem pode ser inclusive maior, pois as fibras longas sofrem mais deformações e micro-fraturas em suas paredes no processo industrial, até mesmo em função de seus maiores comprimentos e diâmetros.

Evidentemente, no caso de fibras curtas refinadas, há aumento substancial da presença de fibrilas, que podem representar entre 15 a 60% do peso total dos finos, tudo em função do grau de refinação e do tipo de polpa.



A origem anatômica dessas partículas presentes nas polpas de eucalipto

Os “finos secundários” são as partículas pequenas geradas pela refinação e intenso tratamento mecânico que as polpas sofrem na fabricação do papel. Alguns dos principais efeitos da refinação são: o corte e o colapso/achatamento das fibras, a liberação das fibrilas (desfibrilamento) e o rompimento da parede celular (micro-fraturas). As dimensões das fibras se alteram tanto no seu comprimento, como largura. Essas ações mecânicas aumentam a ligação entre as fibras, coisa fundamental para o aumento das resistências das folhas de papel. Caso não provoquemos esse aumento das ligações entre as fibras, a folha de papel será fraca e as quebras de folha se tornarão mais frequentes ao longo da fabricação do papel. Também o produto final terá pior desempenho nas gráficas, nas embalagens, etc.

Os finos secundários são de relevante importância no processo de fabricação de papel reciclado. No processo de repolpeamento das folhas de papel, mais fibras serão quebradas e mais paredes secundárias serão rompidas. O mesmo ocorre no caso da repolpeamento do refugo interno – “broke” - em fábricas de papel a partir de fibra virgem. Há autores que denominam esses finos gerados na reciclagem do papel ou do “broke” de

“finos terciários”, para diferenciar os mesmos daqueles gerados no primeiro refino da polpa (às vezes de polpas nunca secas, nas fábricas de papel integradas). Quanto mais ciclos a polpa for reciclada, maior será a geração de finos e mais fracas e danificadas ficarão as paredes celulares dessas fibras.

Os finos desempenham papel fundamental nesse processo de ligação entre fibras, pois sendo elementos menores e com muito maior área superficial (por unidade de peso), conseguem-se distribuir muito bem na estrutura da folha, colaborando para o aumento dos pontos de contato entre as partículas presentes.

Apesar dos finos primários existirem em quantidades não desprezíveis nas polpas virgens de eucalipto (entre 6 a 12%), eles são relativamente pouco estudados pelos técnicos dos fabricantes de celulose e papel. As razões para essa pouca atenção pelos estudiosos das polpas de eucalipto são diversas:

- Dificuldades de medição e da real individualização e quantificação de cada tipo de finos (células de parênquima íntegras e danificadas, fragmentos de fibras, pedaços de paredes, fibrilas, etc., etc.);
- Desconhecimento das oportunidades que a gestão dos finos pode oferecer para os fabricantes de celulose e papel;
- Desconfiança dos fabricantes de papel em relação aos finos, pois eles são vistos muito mais como problemas do que como vantagens pelos mesmos;
- Negligência em relação aos finos pelos fabricantes de celulose de mercado, que não enxergam os mesmos nem visual ou anatomicamente, nem sequer na forma de chances de diferenciação de seus produtos.

Um adequado estudo das frações de finos das polpas implicaria não apenas em classificar as fibras em frações de acordo com suas dimensões, mas também em entender as propriedades vitais de cada fração, tais como:

- Teor de hemiceluloses (ou pentosanas);
- Teores de extrativos e seus constituintes químicos;
- Cargas iônicas;
- Potencial zeta;
- Efeitos eletrocinéticos;
- Índice de Retenção de Água – IRA;
- Hidrofilicidade;
- Cristalinidade;
- Área superficial específica (área por unidade de peso);
- Plasticidade; etc.

Em função das dimensões diminutas, muitos finos tendem a passar através das telas formadoras da máquina de papel. Com isso, enriquecem de finos as águas brancas das máquinas de papel, onde se concentram. Isso ocorre tanto nas máquinas de formação de folhas de celulose, como de papel, embora muito mais intensamente nas máquinas de papel. Quanto mais fechado o circuito de água da máquina, maior a concentração dos finos nos sistemas. Esse acúmulo causa diversos tipos de problemas para os papaleiros, pois os finos são ricos em cargas elétricas. Com isso, tendem a se agrupar quimicamente a outros compostos utilizados na fabricação do papel (colas, resinas, látex, retentores de carga mineral, etc.), ou presentes nas polpas (extrativos e “pitch”).

Para piorar o quadro de problemas, utilizam-se cargas minerais na fabricação de muitos tipos de papéis. Essas cargas são partículas finíssimas, em geral sem cargas elétricas (caulim, carbonato de cálcio, dióxido de titânio, etc.). A mescla resultante disso com os finos celulósicos primários e secundários passa a ser uma massa desuniforme que contém frações celulósicas, frações minerais, e compostos químicos do processo.

Essa massa desuniforme resultante, algumas vezes referida como “finos melecosos” pelos papaleiros, acaba se incrustando nos sistemas, criando problemas e contaminações nas folhas, nas caixas de vácuo, nas vestimentas (feltros e telas), etc. Por essas razões, muitos papaleiros tentam se livrar dos finos, ao invés de reincorporá-los de volta ao processo. Acontece que essa massa melecosa de finos representa uma percentagem muito significativa do peso da massa celulósica nas fábricas. Desprezar a mesma ao efluente ou como resíduo sólido representa não apenas um problema ambiental grave, mas também uma perda econômica substancial. Perde-se ecoeficiência e aumentam-se os custos de fabricação.



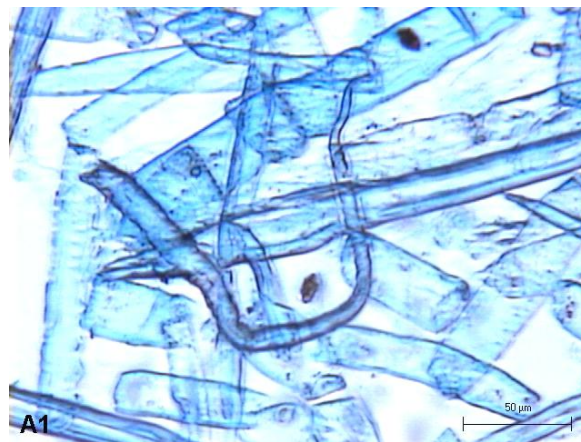
Pasta CTMP com intensa presença de finos lignificados

Conforme o tipo de matéria-prima fibrosa (eucalipto, bétula, *Pinus*, álamo, etc.) e do processo de fabricação de celulose (químico kraft, semi-químico NSSC, quimo-termo-mecânico CTMP, pasta mecânica de refinador, etc.) variam as características e as quantidades de finos primários.

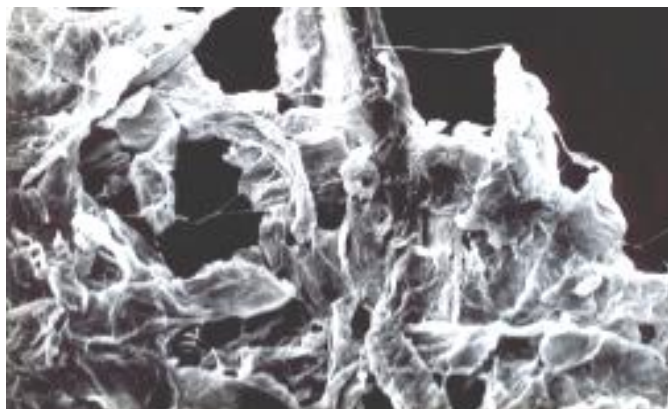
Em geral, os finos primários das pastas de alto rendimento têm características e comportamentos algo distintos em relação aos finos de polpas químicas. Isso porque são bastante lignificados e constituem-se de partículas mais rígidas. Lembrar que nos processos de alto rendimento, a madeira é previamente amolecida e depois desfibrada (ou ralada). Nesses casos, os finos são pedaços irregulares de madeira fragmentada, sem uma clara distinção entre os elementos anatômicos da madeira. A maior quantidade de lignina dá a esses finos características mais rígidas e hidrofóbicas em relação aos finos de polpas químicas.

Quanto mais rígidas e lignificadas forem as fibras, maior se torna a importância dos finos para promover ligações entre elas. É esse o caso das pastas de alto rendimento e polpas químicas não branqueadas.

Já os finos primários das polpas químicas são bastante hidrofílicos em função dos maiores teores de hemiceluloses que possuem. Como as paredes das células de parênquima possuem baixa proporção da camada S2 (a mais rica em celulose e em cristalinidade), esses finos são mais plásticos e com muito maior propensão a terem cargas iônicas superficiais. Também as camadas de paredes de fibras arrancadas pelo processamento são ricas em cargas iônicas, pois correspondem à superfície das paredes, exatamente onde ocorre intensa presença de hemiceluloses reprecipitadas no processo kraft.



Finos (células de parênquima) em polpa kraft de eucalipto
Fonte: Queiroz & Gomide, 2003



Finos primários de polpa de eucalipto

Os finos primários possuem área superficial substancialmente menor do que os finos secundários. Por isso, eles são menos efetivos em desenvolver ligação entre fibras apenas por sua presença.

Existe também uma grande diferença na carga iônica entre os finos primários de polpas branqueadas e não branqueadas. Como os finos não branqueados possuem alta proporção de ácidos hexenurônicos em suas paredes, a sua carga é definitivamente maior que os mesmos finos primários após o branqueamento e destruição desses ácidos.

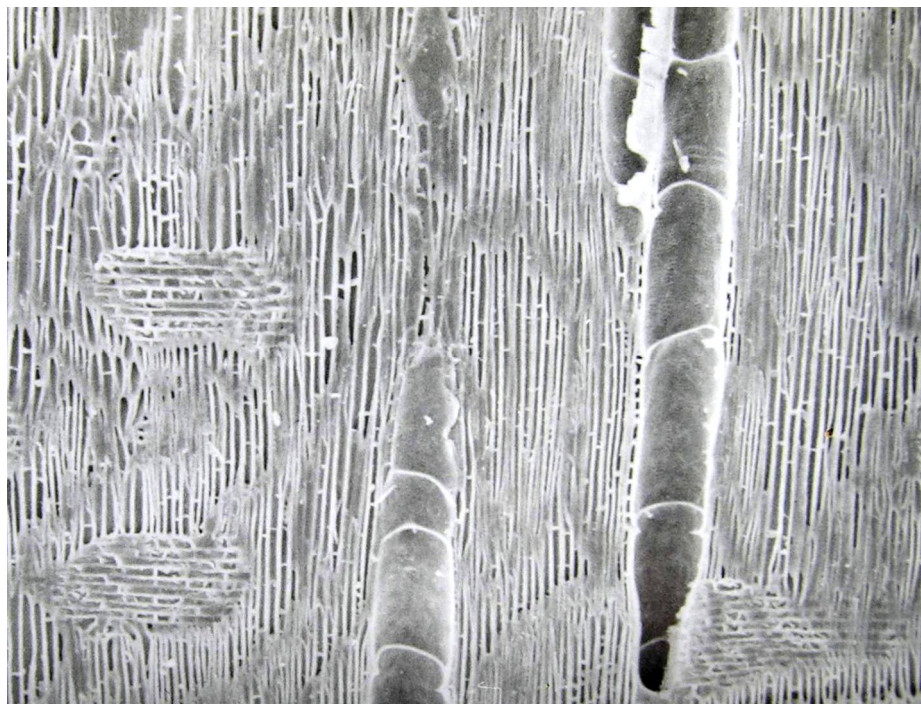
Apesar da pouca atenção científica que os produtores de celulose de mercado colocam sobre os finos, eles desempenham papel vital na qualidade dos seus produtos e na performance das máquinas do processo produtivo de seus clientes. Seus impactos são definitivamente importantes, também nos custos de produção e rendimentos. São elementos vitais para o papelheiro comprador da celulose de mercado, por esse motivo deveriam merecer mais estudos e pesquisas.

Independentemente do tipo de polpa ou de processo de fabricação, o certo é que todos têm que conviver com os finos, sejam primários ou secundários. Logo, também as polpas de eucalipto possuem finos primários e secundários (após sua refinação). Essa presença e geração de finos no refino vão depender do tipo de madeira, do processo de picagem, da intensidade do cozimento, do nível de degradação da polpa produzida, dos equipamentos usados no processo, da eventual contaminação maior ou menor com casca, das ações internas de repolpeamento de fardos, etc., etc.

Por isso tudo, avaliar finos não apenas representa uma necessidade para controle de qualidade do produto, mas também uma excelente oportunidade para diferenciação de produtos celulósicos e papeleiros, como veremos ao longo desse capítulo do **Eucalyptus Online Book**.

=====

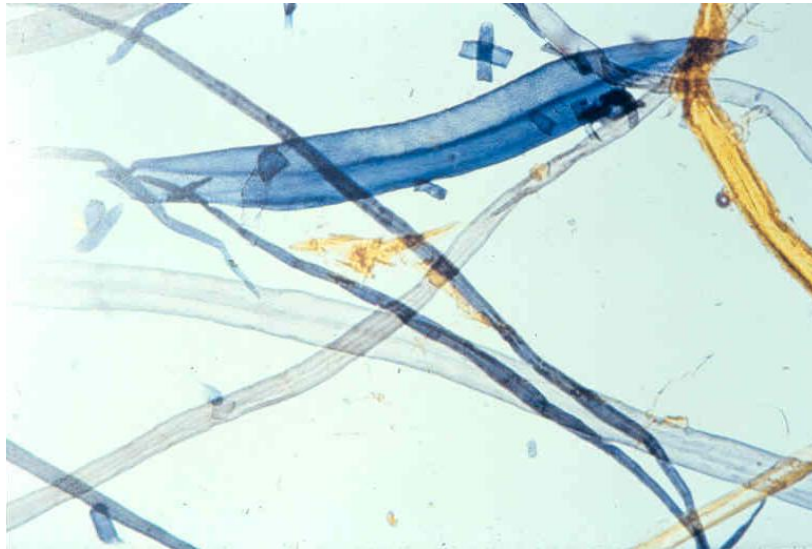
ANATOMIA DOS FINOS PRIMÁRIOS



Vista radial da madeira do eucalipto com paisagens anatômicas dos parênquimas axial e radial (principais fontes dos finos primários)

Por finos primários entenda-se aqueles presentes na polpa que sai sem refinação da fábrica de celulose. Pode-se dizer que são os finos produzidos no cozimento e branqueamento da celulose e pela individualização das células de parênquimas, células epiteliais, células pequenas da casca presente junto aos cavacos, fibras e vasos de pequenas dimensões, etc. Também estão presentes os pedacinhos de fibras que estavam nos cavacos, serragem e pó de madeira e que foram liberados no cozimento.

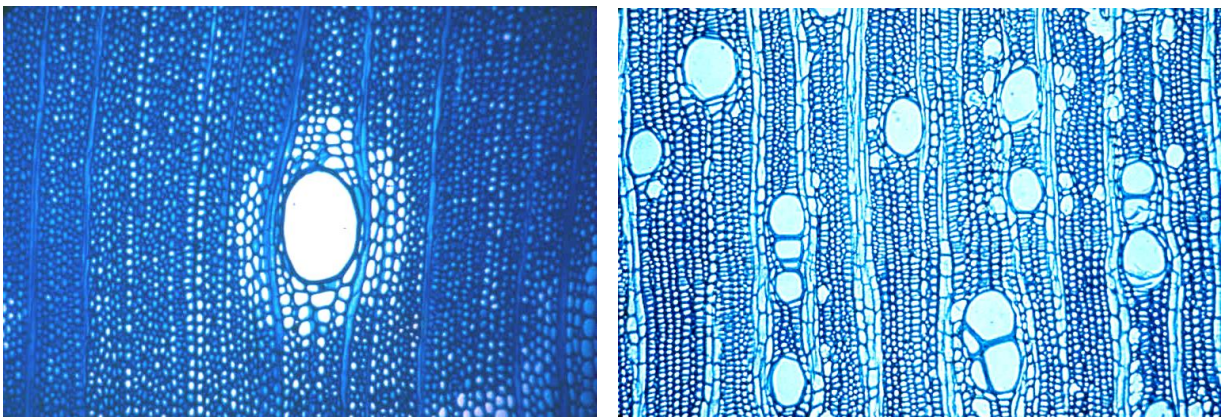
No caso dos eucaliptos, os parênquimas radial e axial são relativamente abundantes, podendo representar entre 12 a 20% do volume da madeira. Os parênquimas são muito importantes para facilitar a penetração e difusão do licor de cozimento para o interior dos cavacos, da mesma forma que os elementos de vaso.



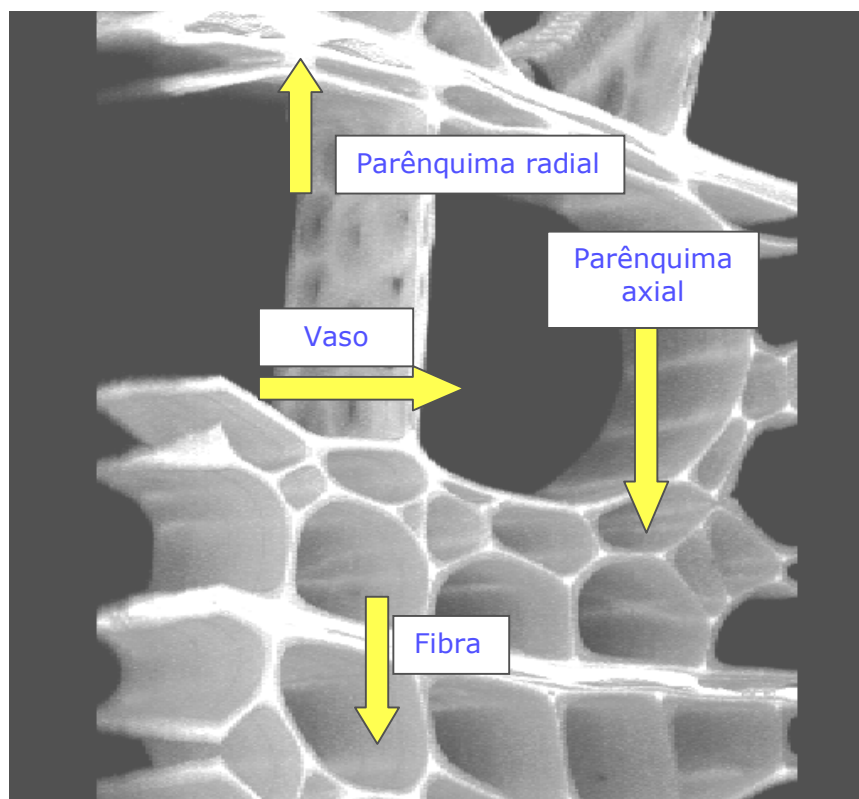
Fibras e finos em polpa de eucalipto

Fibras muito curtas (abaixo de 150 micrômetros de comprimento) são escassas para os eucaliptos. Apenas algumas delas podem estar presentes próximas à medula do tronco ou nas regiões de atividade meristemática do câmbio em diferenciação e alongamento.

Elementos de vaso estreitos e curtos também podem ocorrer com alguma frequência em algumas espécies de eucaliptos. Já para a maioria, os elementos de vaso são largos (80 a 150 μm) e curtos (150 a 300 μm). Esses elementos de vaso maiores não serão detectados como finos, apenas os de pequenas dimensões, como veremos mais adiante.



Densidades básicas diferentes das madeiras afetam as dimensões e percentagens de vasos e as proporções de parênquimas



Componentes anatômicas das folhosas. Foto: Woo et al., 2007

Alguns dos finos primários presentes nas polpas são originados de células da casca da árvore. Isso porque o descascamento não consegue ser completamente eficiente nas fábricas de celulose. A presença de células epiteliais, de floema, de parênquimas da casca e de súber estão portanto também presentes em alguma proporção nos finos primários das polpas de eucalipto.

Apesar da constituição diversificada, são as células dos parênquimas radial e axial as mais abundantes nos finos primários de polpas de eucalipto. Elas apresentam formato retangular a ovalado, lembrando pequenos tijolinhos no caso das células do raio. Suas dimensões estão entre 12 a 20 μm para altura e largura e entre 40 a 100 μm para comprimento. As paredes dessas células são também muito finas (entre 1,5 a 2,5 μm). Lembrar que também temos fragmentos de fibras e fibrilas na constituição dos finos primários.

De qualquer maneira, a maior contribuição para os finos celulósicos primários são os constituintes anatômicos da madeira. Por isso, os fatores que afetam a qualidade da madeira podem afetar a presença de finos na polpa. A densidade básica da madeira até certo ponto pode estar relacionada à maior ou menor presença de parênquimas e às dimensões e proporções

dos elementos de vaso. A densidade da madeira se relaciona de forma inversa em relação à proporção de parênquimas e de vasos. Quando se utiliza uma peneira de malha 150 mesh (abertura entre 94 a 106 μm) para se separar as frações parenquimatosas (células pequenas) das prosenquimatosas (células grandes e longas), pode-se notar que as madeiras mais densas resultam em polpas com menos células parenquimatosas. Queiroz e Gomide (2003) encontraram proporções de 8,1% do peso da polpa kraft de eucalipto para a fração parenquimatosas, quando essa polpa foi produzida de um clone que tinha densidade básica de 447 kg/m^3 . Já para a polpa obtida de uma madeira de mesmo tipo de clone, mas de densidade 552 kg/m^3 , a fração de células parenquimatosas foi de 6,4%.



Fibras e parênquimas radiais

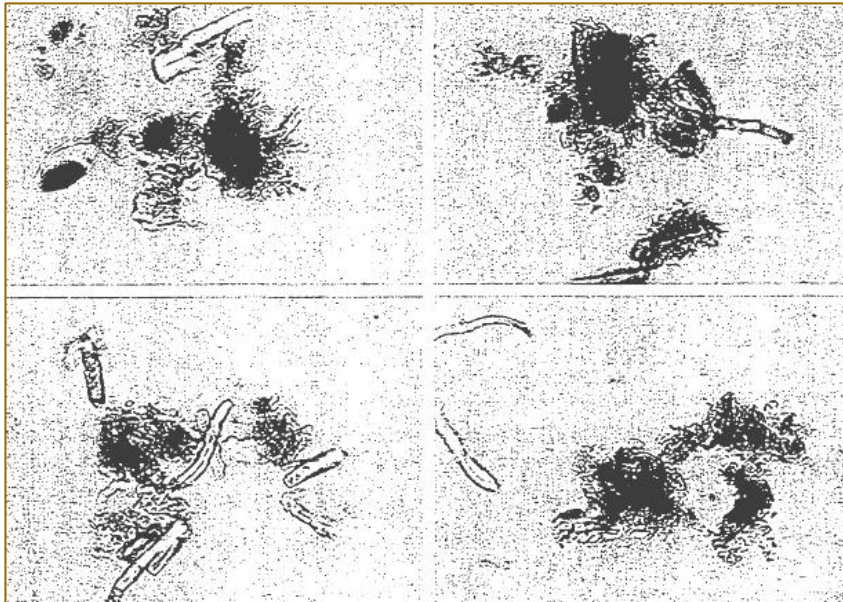


ANATOMIA DOS FINOS SECUNDÁRIOS

Os finos secundários são aqueles gerados no refino da celulose e também no processo de reciclagem do papel. Nesse último caso, são também referidos como finos terciários. Esses finos são colocados parcial ou totalmente na suspensão fibrosa e apresentam altíssima capacidade de ligação. Isso porque mostram enorme área superficial por unidade de peso. São muito higroscópicos e hidrofílicos. Com isso, facilitam a ligação entre fibras, mas prejudicam a drenagem, o desaguamento e a secagem da folha na máquina de papel. Em termos de área superficial por unidade de peso seco, os finos secundários chegam a apresentar valores entre 5 a 10 vezes superiores aos encontrados para finos primários. Entretanto, os próprios finos primários colaboram para esse número, pois eles são também refinados junto com as fibras e por serem menos rígidos, também geram muitos finos secundários com o refino.

Pelo fato de serem muito hidrofílicos e carregados de cargas negativas, os finos secundários tendem a se agregar a compostos com carga oposta (amido, resinas, etc.). Isso favorece as contaminações e acúmulo de sujeira nos sistemas fabris.

Na reciclagem do papel a presença desses finos é ainda maior. Isso devido às ações mecânicas utilizadas para desagregar as folhas e individualizar suas fibras de novo. Soma-se a isso o fato de que muitas aparas são ricas em cargas minerais em proporções significativas. A presença de finos minerais é enorme na reciclagem de aparas brancas e mistas e menor no caso de reciclagem de papelão ondulado e sacos kraft não branqueados.



Finos de papelão ondulado reciclado
(OCC – “Old Corrugated Container”)
Waterhouse, 1994



METODOLOGIAS PARA MEDIÇÃO DE FINOS

Existem diversas maneiras de se medir o teor de finos de polpas e massas celulósicas. Algumas se baseiam em classificadores de fibras com malhas de aberturas distintas e especificadas (Bauer McNett, Clark, Bretch Holl, vaso dinâmico de drenagem, etc.), enquanto outras em leituras óticas de imagens ("Fiber analysers").

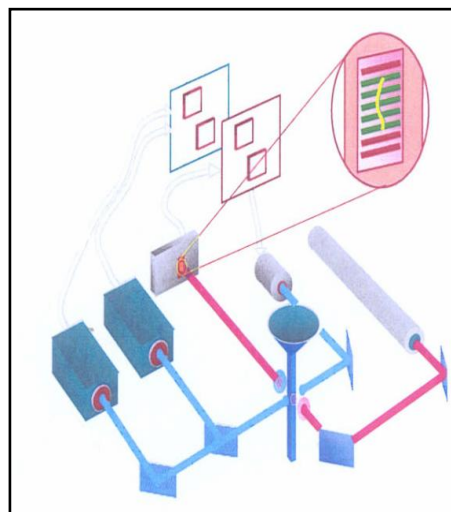
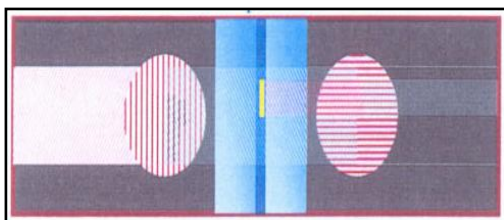
Como os princípios de medição são bem diferentes, bem como existem parâmetros nas metodologias não totalmente padronizados, os valores encontrados para teores de finos variam bastante conforme o equipamento e o método sendo utilizado.

Em geral, os valores encontrados pelos analisadores óticos de fibras são numericamente mais baixos do que aqueles que usam uma tela para filtrar e separar os finos (vasos dinâmicos de drenagem e Bauer McNett). Enquanto que para as polpas de mercado de eucalipto se obtêm valores que variam entre 6 a 12% de finos primários quando se usam os vasos dinâmicos de drenagem, para os analisadores óticos esses valores são bem menores (entre 3 a 7%).

Acontece que esses valores são percentuais calculados em bases completamente diferentes. No caso dos classificadores de fibras estamos falando em percentagens base peso seco de polpa.

Para os analisadores óticos de fibras esses percentuais podem ser calculados sobre três bases:

- Contagem aritmética pura e simples, estabelecendo a relação percentual entre o número de partículas medidas como finos pelo número total de partículas (finos, fibras e vasos);
- Base ponderada em relação ao comprimento das partículas (percentual entre o somatório dos comprimentos das partículas de finos em relação à soma total dos comprimentos de todas as partículas);
- Base ponderada em relação à área lateral das partículas (percentual entre o somatório das áreas laterais das partículas de finos em relação à soma total das mesmas áreas de todas as partículas).



Medindo-se os finos por meios óticos
Fonte: Pulkkinen e colaboradores, 2007

Como as partículas de finos são muito variáveis em forma e dimensões (ou mesmo de tipos), as diferenças entre os métodos se acentuam, conforme estejamos medindo polpas ricas em finos celulósicos ou massas ricas em finos minerais. Mesmo para os classificadores de fibras existem diferenças, pois os resultados são afetados pelas aberturas das peneiras, pela consistência da suspensão de fibras, pela agitação, pela rapidez com que se processa a filtração, pelos cuidados dos operadores, etc. Quanto mais abertas forem as peneiras (100, 150, 200, 400 mesh), mais finos são medidos, pois mais massa seca passa através da respectiva peneira.

Por essas razões, sugere-se comparar valores de finos desde que realizados em idênticas condições metodológicas. Até mesmo a influência do operador pode ser decisiva na expressão dos resultados. Dessa forma, os medidores de finos são equipamentos muito mais de controle de qualidade e de processo para o local onde estão instalados. Não se recomendam comparações entre dados obtidos entre um analisador e outro, por exemplo.

Existem trabalhos na literatura mostrando que os resultados obtidos são muito diferentes quando se comparam os diferentes medidores óticos de fibras (Morfi, FS-200, FQA, FiberLab, FiberMaster, etc.).

Os analisadores óticos definem via de regra como finos todas as partículas com menos que 0,2 mm de comprimento. Acima desse limite, o material é classificado como fibra.

Em interessante trabalho técnico publicado pela TAPPI em 2005, Guay e colaboradores estudaram os resultados encontrados para diferentes tipos de polpa avaliadas por diferentes equipamentos óticos. Mesmo adotando-se

ponderações com base nos comprimentos de partículas, os valores encontrados para teor de finos para mesma polpa kraft de fibra curta variaram entre 2 a 10%, conforme o equipamento utilizado. No caso de outra amostra, agora de fibra longa kraft, os valores variaram entre 2 a 7%. Em resumo, muito arriscado comparar teores de finos com base em resultados obtidos para diferentes analisadores óticos.

Também para os classificadores de fibras e para os vasos dinâmicos de drenagem os cuidados devem existir. Isso porque podemos ter telas de drenagem com aberturas diferentes, mesmo que apresentem o mesmo número de malhas por polegada (mesh). Isso porque a abertura entre os arames depende não apenas do número de arames, mas do diâmetro de cada fio. Também o material do fio pode determinar diferenças nas aberturas das telas. Por isso, muita atenção ao trocar as telas/peneiras de seus classificadores de fibras, observando muito bem as especificações das malhas, dos fios, aberturas e materiais.

A seguir, apresentamos algumas malhas metálicas disponíveis no mercado de telas e com isso é possível se perceber que todo cuidado é pouco ao adquirir as mesmas:

Malha	Abertura em μm	Diâmetro arame em μm	Percentual de área aberta
100	140 - 198	56 - 114	30,3 - 60,8
150	94 - 106	66 - 76	30,4 - 37,2
200	69 - 86	53 - 58	29 - 46,2
400	33 - 38	25 - 30	27 - 36

Existe consenso entre os estudiosos de finos que a tela de malha 200x200 mesh (cerca de 76 μm de abertura quadrada) é a que melhor se adequa para as medições quantitativas de finos celulósicos. Isso porque ela deixa passar livremente as células de parênquima, que são em geral menores que essas dimensões.

Já a tela de 400 mesh é considerada capaz de reter inclusive os finos celulósicos primários, na grande maioria deles. Já as fibrilas são dificilmente retidas e telas mais fechadas são exigidas para reter as mesmas. Na realidade, a própria camada de fibras que forma a folha de papel na drenagem na mesa plana acaba fazendo o papel de filtro para reter os finos secundários.

Frente às variações que existem nas telas, que podem ser manufaturadas de distintos materiais (aço inoxidável, bronze, plástico, nylon, etc.) e com diferentes graus e tipos de aberturas (quadradas, retangulares, losangulares, etc.) é vital que exista padronização. Para fixar conceitos nessa importante questão, quando dizemos que a tela tem 200x200 mesh, significa que possui 200 malhas por polegada nas suas duas dimensões (largura e

comprimento) e que o desenho da abertura é quadrado. A tela mais usual de 200 mesh utilizada nos vasos de drenagem possui abertura de 76 μm x 76 μm .



Vaso dinâmico de drenagem – “Britt Jar tester”
<http://www.brittjar.com>



Analisador de partículas – Fonte: UFV- Universidade Federal de Viçosa



Formador de folhas de testes – Finos percolam através da tela como nas máquinas de papel - Fonte: UFV- Universidade Federal de Viçosa

Os vasos dinâmicos de drenagem, dentre os quais o mais popular tem sido o desenvolvido pelo Dr. Kenneth Britt, da State University of New York em Syracuse, foram criados para simular o processo de drenagem máxima que poderia estar acontecendo em uma tela formadora de folhas. O vaso consiste em um cilindro de cerca de um litro onde se coloca uma suspensão de polpa para se medir seu teor de finos. No interior do vaso existe um agitador de lâminas que tem a missão de homogeneizar essa suspensão. O nível de rotação do agitador é crítico e deve ser mantido constante e regulado. O objetivo é se criar uma turbulência controlada na suspensão de polpa, a exemplo do que ocorre nas caixas de entrada das máquinas de papel. Pode-se perfeitamente se comprovar que a maior ou menor remoção de finos depende dessa turbulência. Isso porque as fibras e finos sendo partículas alongadas, podem passar através da tela pela sua menor dimensão (verticalmente), caso a turbulência assim o permitir.

A missão do vaso dinâmico de drenagem é provocar a drenagem da água através da tela e que consigo carrega os finos. Faz-se isso com uma amostra de polpa perfeitamente homogeneizada e de consistência conhecida e de no máximo 0,5%. Para garantir toda a remoção de finos, vão-se adicionando novos volumes de água conforme a água vai sendo escoada. Isso é realizado diversas vezes, até que cerca de 6 a 10 litros sejam escoados pela tela. O controle para estabelecer o término disso é observar a turbidez da água de escoar. Quando ela passar a sair límpida, significa que todos (ou melhor, a maioria) os finos já foram lavados.

A fração que ficar retida sobre a tela após a última lavagem será considerada com sendo fibras. O que passar pela tela junto com a água serão os finos. Trata-se portanto de uma determinação quantitativa, pois trabalha-se com um peso seco conhecido de polpa inicial. Ao final do teste,

secam-se as fibras retidas e se determinam os finos removidos pela diferença de peso entre o peso seco inicial e final da amostra. Fica fácil portanto se calcular o valor percentual de finos base peso seco da polpa.

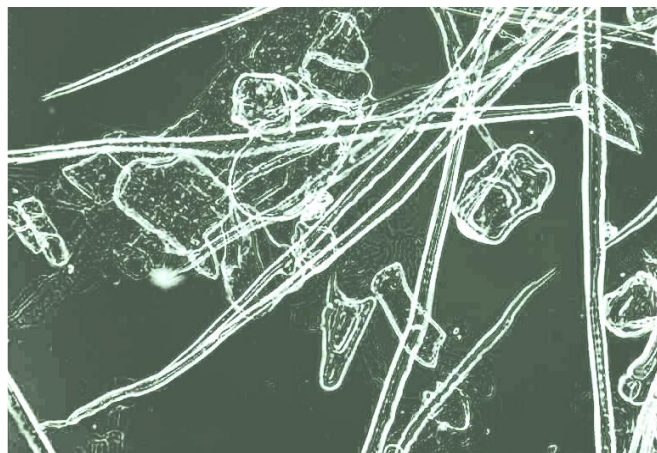
Na realidade, nem tudo que ficar retido sobre a tela serão fibras. Teremos sempre algum teor residual de finos e elementos de vaso. Já nos finos escoados, teremos perdas de fibras que conseguiram passar pela tela na posição vertical, e mais elementos de vaso que por serem barriletes, se ajustam até passarem pela sua menor dimensão.

Os vasos dinâmicos de drenagem podem ainda operar com telas distintas, bastando sua troca. Assim fazendo, podem-se encontrar as proporções de diversas frações de partículas. Nesse caso, o vaso passa a funcionar como um segregador ou classificador de fibras.

Evidentemente, existem muitas variáveis envolvidas nessa avaliação, tais como: qualidade da água (pH, temperatura, destilada ou não, etc.), rotações do agitador, consistência da suspensão, dimensões das aberturas e da área total aberta da tela, etc.

Conforme o processo industrial que se quiser controlar com esse equipamento, o técnico pode adaptar o mesmo para as condições que mais ofereçam respostas às questões operacionais desse processo sob análise.

Para fins de avaliações celulósicas, o processo de medição com base no vaso dinâmico de drenagem é padronizado conforme a metodologia TAPPI T 261 ("Fines fraction by weight of paper stock by wet screening").



Fibras e finos



TEORES DE FINOS EM POLPAS DE MERCADO DE EUCALIPTO



Finos parenquimatosos e fibras

Tecnicamente, as polpas de mercado de eucalipto possuem finos primários apenas, pois não foram ainda refinadas. Evidentemente, essa limitação de semântica não impede que as polpas também contenham fibrilas e algum tipo de finos que se assemelham aos finos secundários.

Os valores mais usuais para esses finos estão entre 6 a 12%, mas pode-se chegar a polpas com até 15% de finos base seu peso seco. Mais uma vez, tudo depende da forma como esses finos são avaliados, sendo a tela de drenagem a mais importante delas.

Uma vez que consideramos como o método mais apropriado aquele do vaso dinâmico de drenagem com tela de 200x200 mesh (76 x 76 μm), passaremos a nos referir a partir de agora a teores de finos apenas determinados por essa metodologia e através do preconizado em TAPPI T 261. Isso para evitar confusões desnecessários em nossos textos.

O curioso é que existem alguns autores que preferem utilizar a tela de 150 x 150 mesh. Isso em função de um novo conceito de fibra proposto pela pesquisadora Ulla-Britt Mohlin, em 1985 (citada por RAIZ, 1998). Essa pesquisadora sueca considera como sendo fibra qualquer partícula cuja relação comprimento/largura seja superior a 5. Quando se adota esse conceito, tudo que estiver abaixo dessa relação será considerado finos, inclusive elementos de vaso. Esse conceito foi desenvolvido para facilitar as definições pelos equipamentos óticos de medição.

Para fibras com larguras de 20 μm , teremos como fibra tudo que for superior a 100 μm e como finos tudo que se situar abaixo. Nesse caso, a abertura de tela deveria ser de 100 μm e não de 76 μm , o que favoreceria a utilização da tela de 150x150 mesh. Entretanto, não foi um conceito que se consolidou para os vasos dinâmicos de drenagem.

Quando medimos finos de polpas de eucalipto com peneiras de 150 e 200 mesh, a diferença a maior para a tela de 150 mesh em relação à de 200 mesh é de cerca de 3 a 5% a mais nos teores de finos medidos. Por exemplo, uma polpa contendo 8% de teor de finos pelo uso da peneira de 200 mesh, teria resultados entre 11 e 13% de finos base peso seco, pelo uso da peneira de 150 mesh.

Conforme o fabricante de papel, ele pode adotar um ou outro conceito. Quem prefere ser bastante rigoroso nas avaliações de finos são os fabricantes de papéis de baixa gramatura, como os de "tissue". Nesses casos, a folha tem baixa capacidade de filtração e a retenção de finos é muito baixa na mesa plana.

Existem polpas kraft branqueadas de eucalipto produzidas de diferentes espécies de eucaliptos e em diversos países do mundo, tais como Brasil, Chile, Portugal, Espanha, Uruguai, etc. Apesar da diversidade de espécies e de países, os teores de finos primários varia entre uma faixa não tão ampla, entre 6 a 12%, na maioria das vezes. Entretanto, as medições envolvendo outros fabricantes de celulose de eucalipto, em fábricas integradas, com recirculações de finos, alcançam amplitudes maiores: entre 4 a 14% .

Polpas solúveis de eucaliptos costumam possuir teores de finos ligeiramente mais altos, em função da redução de peso das paredes das fibras pela purificação aplicada. O teor de finos primários em polpas solúveis de eucalipto variam entre 8 a 14%. Os finos são ainda mais indesejáveis nas polpas solúveis pois possuem mais altos teores de pentosanas (hemiceluloses) e extrativos e criam problemas na fabricação dos derivados de celulose (viscose, acetato, nitrato, etc.)

Por outro lado, as polpas de fibras longas de coníferas possuem significativamente menores teores de finos que as polpas de eucalipto, tendo valores que variam entre 2 a 5% pelo uso do mesmo vaso dinâmico de drenagem com peneira de 200 mesh. Em parte isso explica as dificuldades que essas polpas possuem para desenvolver o grau de refino no início da moagem. Em geral, essas fibras longas e rígidas consomem muita energia para mudar apenas ligeiramente o grau de refinação no início da curva de refino. Essa tendência muda a partir do momento que as fibras vão sendo cortadas, achatadas, colapsadas e desfibriladas.

=====

PRINCIPAIS PROPRIEDADES DOS FINOS CELULÓSICOS

Em geral, em função de suas dimensões diminutas e paredes colapsadas e micro-fragmentadas, os finos celulósicos possuem baixa densidade. São por isso mesmo, de difícil sedimentação em suspensão aquosa, altamente higroscópicos e pela carga iônica negativa que possuem, tendem a ter partículas que se repelem umas às outras. Acabam se comportando como um gel coloidal, mais especialmente os finos secundários. São ricos em hemiceluloses/pentosanas, possuem baixo grau de cristalinidade e altíssima plasticidade. Nas polpas não branqueadas, os finos são mais ricos em lignina que as fibras pela maior proporção de lamela média composta e (M+P)_{corner}, ou região do canto das lamelas médias, onde a lignina está mais concentrada na parede celular.

Em função de suas peculiares características, os finos se amoldam na folha de papel, preenchendo espaços entre as fibras e aumentando as ligações entre elas. Sua alta afinidade pela água eleva a capacidade de inchamento da folha úmida, que fica mais difícil de drenar, desaguar e secar. Também, em suas paredes é muito maior a presença de água ligada por forças eletrostáticas ("bound water").

Alguns papeleiros se atemorizam com essas propriedades e colocam uma atenção redobrada para evitar o acúmulo de finos em seus sistemas. Isso é tão curioso, que muitas fábricas colocam sistemas de recuperação de fibras apenas para retirar os finos e ao invés de recuperá-los, jogam os mesmos fora para os lodos da estação de tratamento de efluentes. Na verdade, estão apenas recuperando as águas, mas não as fibras e finos.

Em algumas situações, há interesse em se avaliar as sub-frações dos finos e não apenas seu teor total. Utilizam-se de peneiras com diversas aberturas para segregar os finos em frações: peneiras de 28, 48, 100, 150, 200 e 400 mesh.

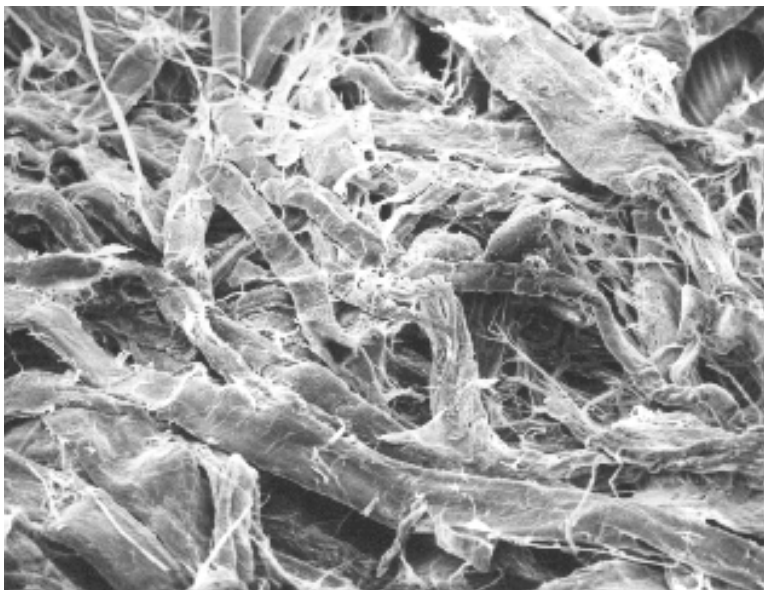
Outra característica indesejada nos finos é seu alto teor de extrativos, resultante dos extrativos que estavam armazenados nas células de parênquima (células de reserva de metabolizados nas árvores vivas). Esse nível de extrativos é enormemente mais alto que os das fibras da polpa (entre 5 a 20 vezes maior, dependendo do tipo de solvente utilizado).

De forma geral, os finos primários de celuloses kraft branqueadas de eucalipto apresentam as seguintes diferenças principais em relação à fração constituída apenas de fibras:

- Maior teor de xilanas (cerca de 10% maior);
- Maior teor de ácidos hexenurônicos;
- Menor teor de celulose (cerca de 5% menor);

- Maior teor de lignina (dobro ou triplo, mesmo no caso de celulose branqueada);
- Maior teor de cinzas (cerca de 10% maior);
- Menor cristalinidade (cerca de 20% menor);
- Maior teor de extrativos em álcool/tolueno (cerca de 2 a 5 vezes maior);
- Maior teor de extrativos em diclorometano (entre 10 a 20 vezes maior);
- Maior IRA – Índice de Retenção de Água (cerca do dobro ou triplo);
- Maior valor do PSF – Ponto de Saturação de Fibras;
- Maior carga iônica negativa (cerca de 5 vezes maior);
- Muito mais difícil sedimentação e drenabilidade (de 50 a 200 vezes pior em relação às fibras íntegras);
- Maior eletro-negatividade (medida pelo potencial zeta que é bem mais negativo que o das fibras);
- Maiores níveis de deformações e micro-fraturas das paredes celulares;
- Maior porosidade interna da parede celular, muito mais frouxa que a das fibras.

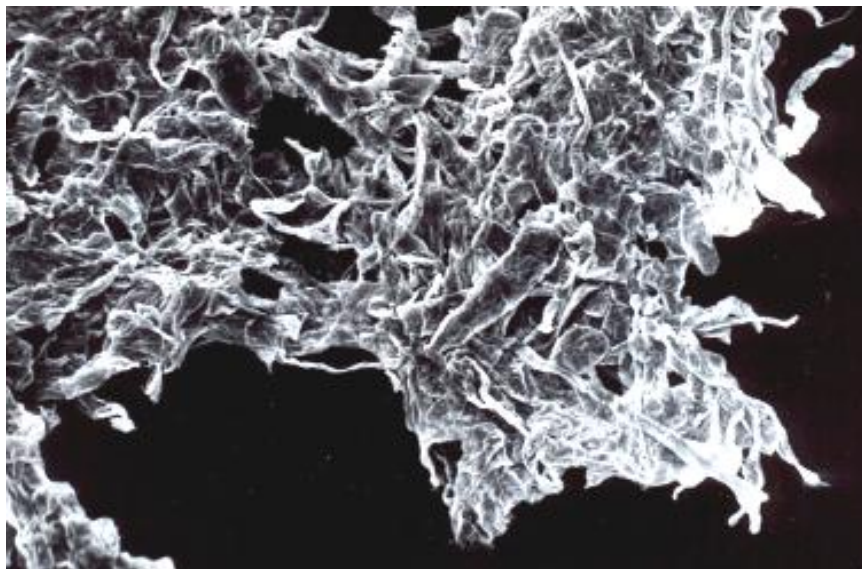
Frente a essas características todas, os finos celulósicos tendem a se comportar como um gel, enquanto as fibras isoladamente drenam muito bem, deixando a água se escoar e escapar através delas sem grandes restrições.



Fibras altamente refinadas e ricas em finos secundários



OS FINOS CELULÓSICOS E SUA INFLUÊNCIA NA POLPAÇÃO E BRANQUEAMENTO



Massa de finos primários separados e fotografados como uma espécie de “polpa de finos” – Obtidos de uma celulose pré-hidrólise kraft não-branqueada de eucalipto
Fonte: Costa & Borges, 1995

As operações de polpação e branqueamento modificam a natureza dos constituintes químicos das fibras, vasos e finos celulósicos primários. Da mesma forma que existem composições químicas e características anatômicas diferenciadas entre esses elementos, eles se comportarão de forma algo diferente no cozimento e branqueamento.

De imediato, lembramos a vocês que o licor de cozimento penetra na madeira com intensidade, valendo-se dos canais preferencialmente oferecidos pelos elementos de vaso e lúmens das células de parênquima (em especial dos raios medulares para penetração radial). Também, o licor de cozimento para sair dos elementos de vaso, passa necessariamente pelas células de parênquima axial, que são contíguas aos vasos.

Já vimos na seção anterior que os finos possuem diferenças químicas importantes em relação às fibras. Apesar disso, essas diferenças não são tão notadas em termos de consumo de álcali ativo no cozimento, ou de rendimentos. Isso porque o cozimento kraft é uma etapa algo grosseira, de difícil individualização desses efeitos. Apesar da literatura não relatar diferenças em rendimentos em polpação ou de consumo de álcali ativo para as frações dos finos primários, pode-se perfeitamente aceitar que elas existam. Afinal, sendo um material que contém mais extrativos, mais lignina,

mais hemiceluloses, mais cinzas minerais, como aceitar que os finos não exerçam um papel diferente no cozimento. A única razão de não se relatar isso é certamente pelas dificuldades metodológicas para se isolar esses fatores de variação. Hoje, já existem tecnologias mais modernas que permitem ir-se acompanhando diretamente as modificações nos próprios cavacos enquanto eles vão-se convertendo a celulose. Associando-se isso à microscopia eletrônica, logo teremos algum bom trabalho científico comprovando essas diferenças. E acreditem elas serão surpreendentes.

Definitivamente, sabe-se hoje, que após a polpação, os finos possuirão maior número kappa e maior teor de ácidos hexenurônicos do que a fração de fibras. Essas características vão afetar a branqueabilidade das polpas. Também têm papel relevante nessa branqueabilidade o maior teor de extrativos em solventes orgânicos que a fração de finos primários contem.

Sabe-se ainda que existe uma relação entre as cargas ácidas das polpas e diversas de suas principais propriedades papeleras. Todas as operações do processo que afetarem as cargas iônicas ácidas das polpas vão interferir em propriedades vitais como: IRA – Índice de Retenção de Água, potencial zeta, higroscopicidade, eletrocinética, etc. A eletrocinética envolve o estudo das cargas superficiais das partículas em solução aquosa e sua influência nos demais íons presentes nas vizinhanças dessas partículas. Por isso, a atenção que se deve colocar nos processos que venham a afetar a carga elétrica e a eletrocinética das fibras e finos.

Uma das principais causas para as cargas negativas das fibras e finos são os grupamentos urônicos (ácidos hexenurônicos) e as moléculas de pectina que foram alteradas pelo cozimento kraft.

Além do cozimento kraft, que gera altas quantidades de ácidos hexenurônicos (e cargas) em polpas não-branqueadas de eucalipto, o branqueamento tende a afetar essas cargas de duas maneiras opostas:

- Os estágios baseados em peróxido e ozônio aumentam a sua geração;
- As etapas que destróem os ácidos hexenurônicos (estágios ácidos) reduzem as quantidades de cargas superficiais nas polpas e finos, exatamente por essa razão.

Por todas essas razões mencionadas, os finos primários afetam a branqueabilidade das polpas kraft de eucalipto. A remoção dos finos de uma polpa antes do branqueamento pode resultar em ganhos de pelo menos 2 a 3% ISO de alvura, ou economia de reagentes químicos oxidantes em até 5%. Evidentemente, trata-se de uma economia que não compensa economicamente, pois implicaria em se remover entre 6 a 12% do peso da polpa, para se economizar alguma coisa de reagentes químicos no branqueamento. Ou então, seria como descartar polpa e produção, para se

ganhar alguns pontos de alvura. Entretanto, esse conhecimento pode ser importante para os processos de melhoramento da qualidade das madeiras de eucalipto, orientando as diretrizes para madeiras com menores proporções relativas de células de parênquima.

Outra característica importante das polpas que é afetada pelos finos é o teor de compostos orgânicos halogenados na polpa branqueada com compostos de cloro, mesmo em um branqueamento ECF ("Elemental Chlorine Free"). Como os finos são mais ricos em extrativos, ácidos hexenurônicos e lignina, acabam sendo mais atacados pelo dióxido de cloro e colaboram para o aumento do AOX e OX da polpa (compostos halogenados). Há estudos mostrando que os finos, apesar de corresponderem a menos de 10% do peso seco das polpas, contêm cerca de 50% do AOX e OX presentes na polpa branqueada.

Outro fator de fundamental importância dos finos em relação aos processos de polpação e branqueamento é se saber operar esses sistemas sem perder finos. Eles saem com facilidade para os filtrados e licores, em quase todas as operações de lavagem e prensagem. Muitos dos finos acabam indo com o licor preto para arderem na fornalha da caldeira de recuperação. Outros são conduzidos ingenuamente para os efluentes e saem das fábricas na forma de lodo primário. Em ambos os casos são desperdícios significativos para a empresa. Com muita facilidade esses finos abandonam as fábricas para virarem poluição e aumentarem custos. Também reduzem as receitas, pois menos polpa será produzida.

Observem que a perda de 0,2% de finos base peso seco de polpa sequer conseguirá ser notada pelos equipamentos medidores de perdas de fibras instalados nos efluentes e no licor preto. Ao final do dia, isso representará 0,2% a menos de produção e maior geração de poluição. Para uma fábrica de 2.000 toneladas por dia de produção, isso representa 4 toneladas de perda. Ao final do ano, o não tão negligenciável somatório de 1.400 toneladas. Seria como uma enorme drenagem que ninguém está percebendo - uma perda oculta de grande valor negativo para a empresa.

Para avaliar isso, sugiro que façam um teste bem simples em sua fábrica. Primeiro, usando uma peneira de 100 mesh, filtrem e avaliam a fração retida dos principais efluentes que possam conter fibras: branqueamento, máquina de formação e secagem, licor preto encaminhado para a área de evaporação. Com as fibras retidas, avalie então a perda de fibras em toneladas secas/dia. A seguir, com os filtrados dessa primeira peneiragem, (malha 100) repita o teste, mas usando uma peneira de 400 mesh. Será agora possível quantificar nossas perdas de finos, tanto em peso como em valor econômico. Fácil de fazer - simplesmente não é feito nas fábricas porque não se percebe que essas perdas invisíveis existem.

Também nos laboratórios que fazem cozimentos e branqueamentos experimentais, as perdas de finos nas lavagens de massa podem ser grandes e afetar os resultados principalmente aqueles de rendimentos e de aplicações de cargas químicas. Se o laboratório não dispuser de peneiras de, na pior das hipóteses 400 ou 500 mesh, com certeza estará obtendo valores errôneos e acreditando que os dados são confiáveis, sem o serem.

=====

RELAÇÕES ENTRE TEORES DE FINOS COM POPULAÇÃO FIBROSA E "COARSENESS" DAS POLPAS

Medições de dimensões de fibras e teores de finos estão cada vez mais presentes no controle de qualidade de nossas fábricas e laboratórios. Praticamente todas as empresas líderes possuem equipamentos analisadores de fibras e vasos dinâmicos de drenagem.

Sempre existe um questionamento técnico de como o teor de finos poderia influenciar nas medições de população fibrosa e de "coarseness" da polpa. A razão é simples: alguns analisadores óticos de fibras não conseguem medir elementos muito pequenos presentes entre os finos, tais como fibrilas, pontas de fibras, pedacinhos de parede, etc. Isso vai afetar tanto os valores de finos, como a população fibrosa e a "coarseness".

Em nossos testes laboratoriais, notamos que quando aumentamos propositadamente o teor de finos de uma determinada amostra de polpa (por adição de finos secundários), tivemos uma diminuição da população fibrosa e um aumento da "coarseness". Nada mais natural, já que os medidores óticos contam partículas por peso seco de polpa. Mais partículas de finos significa menor quantidade de fibras para mesmo peso final de polpa. Entretanto, quando aumentamos o teor de finos por refinação da massa, também cortamos fibras. Nesse caso, aumentam tanto os teores de finos, como a população fibrosa. A "coarseness", conseqüentemente, diminui com o desenrolar do refino. Raramente notamos diferenças nos comprimentos de fibra ponderados base comprimento, mostrando que essa propriedade é pouco afetada pelo teor de finos.

Resta a dúvida quando se comparam polpas diferentes. Recentemente, os conhecidos pesquisadores de polpas de mercado Meyers & Nanko (2005) procuraram estabelecer correlações entre os teores de finos obtidos pelo vaso dinâmico de drenagem e pelo medidor ótico FQA ("Fiber Quality Analyser"). Para isso usaram os resultados obtidos para 60 das 80 amostras de polpas que serviram de base para a redação do famoso livro

“WOMP - The World of Market Pulp”, de autoria dos amigos Dave Hilmann, Allan Button & Hiroki Nanko, publicado pelos autores em 2004.

Algumas das conclusões foram as esperadas: os valores de finos medidos pelo medidor FQA (expressos base ponderada em relação ao comprimento das partículas) são sempre subestimados em relação ao vaso dinâmico de drenagem desenvolvido pelo Dr. Ken Britt. Quanto maior o teor de finos que a polpa possuir, maiores serão as diferenças entre os dois tipos de medidores. Por isso, polpas muito bem refinadas podem resultar em resultados diferentes em quase 100% (o dobro para os valores do vaso dinâmico de drenagem em relação ao medidor ótico).

Os autores entretanto relataram que essas diferenças em finos não afetaram os valores de comprimento de fibras, “coarseness” e população fibrosa para fibras kraft de eucalipto e de fibras químicas de fibras longas. As maiores diferenças e impactos ocorreram para as polpas de alto rendimento. Nesse caso, os autores sugerem a remoção prévia dos finos para obter dados melhores de população fibrosa e “coarseness”.



Polpa de mercado de eucalipto – Foto pelo equipamento Morfi
Observar as dimensões muito distintas entre fibras, elementos de vaso e finos
Foto: Cortesia RegMed



INFLUÊNCIA DOS FINOS CELULÓSICOS NAS PROPRIEDADES DAS POLPAS KRAFT BRANQUEADAS DE EUCALIPTO

A literatura técnica e científica é muito rica em artigos, teses e relatórios relacionados às influências dos finos celulósicos sobre as qualidades das polpas e papéis. Definitivamente, existe um conceito estabelecido sobre o relevante papel dos finos e sobre quais as propriedades da folha de papel eles mais têm efeito. Também se conhece muito sobre as ações dos finos sobre as performances operacionais das fábricas de diferentes tipos de papel.

Algumas instituições de pesquisa têm-se destacado nesses estudos. Podemos com muita segurança lhes recomendar para leitura um número de excelentes trabalhos sobre o tema escritos por pesquisadores das mesmas. Muitos deles estão apresentados para sua navegação na seção sobre referências da literatura e sugestões para leitura desse capítulo do **Eucalyptus Online Book**. Gostaríamos então de lhes mencionar e homenagear alguns dos pesquisadores mais importantes sobre esse tema e suas respectivas instituições (infelizmente alguns deles já nos deixaram):

- Portugal / Universidade de Coimbra: Professores Paulo Ferreira, Maria Graça Carvalho e Margarida Figueiredo;
- Finlândia / KCL: Bjorn Krogerus e Kaarina Fagerholm;
- USA / ESPRI – Syracuse: John Unbehend, Kenneth Britt, Renata Marton, James Bambacht;
- Finlândia / Helsinki University of Technology: Janne Laine;
- Finlândia / METLA: Leena Paavilainen;
- Suécia / Innventia: Tom Lindström, Marie Bäckström.

Os estudos sobre finos de polpas de eucalipto têm sido mais concentrados na equipe da Faculdade de Engenharia Química da Universidade de Coimbra, em Portugal.

Praticamente, todos os artigos publicados são contundentes e concordantes acerca das influências dos finos na fabricação do papel: os finos não apenas ajudam a melhorar as ligações entre fibras, afetando todas as propriedades que se correlacionam a elas, mas também preenchem vazios na folha de papel, influenciando então propriedades físicas e óticas tais como a densidade da folha, o volume específico aparente, a opacidade, a porosidade, a absorção de água e outras mais relacionadas. Também afetam a capacidade de retenção de água da massa e a drenabilidade da suspensão fibrosa. Por tudo isso, os finos são importantes não apenas para influenciar na qualidade da folha de papel, como também no processo de se fabricar o mesmo.

Ainda em nossos idos tempos de pesquisador, tanto na Universidade Federal de Santa Maria, como na ex-Riocell S/A, realizamos inúmeros

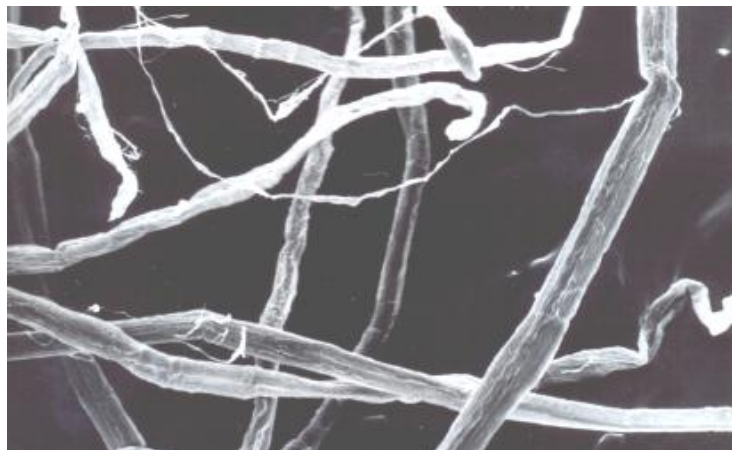
estudos sobre os finos em polpas de eucalipto. Na Riocell, sempre tivemos a excelente colaboração e parceria de grandes pesquisadoras dos eucaliptos, como **Patrícia de Oliveira** e **Vera Maria Sacon**. A elas e a toda nossa antiga equipe na “**sempre viva Riocell**”, nossos agradecimentos pela sempre eficiente ajuda nos trabalhos de pesquisa realizados. Daqueles trabalhos, diversos trabalhos científicos resultaram e a seguir apenas lhes trago algumas referências sumarizadas.

Em primeiro lugar, vamos nos concentrar sobre os finos primários. Como esses finos poderiam afetar a qualidade de uma celulose de eucalipto, caso estejam presentes ou ausentes, ou presentes em maior ou menor quantidade? Trazemos então a vocês um estudo de caso referente a isso.

Estudo de caso 01: Influência dos finos primários sobre a qualidade de uma celulose não refinada de eucalipto nunca seca

Para essa avaliação testou-se uma amostra de celulose kraft branqueada de eucalipto, primeiramente com os finos que ela dispunha e a seguir a polpa resultante pela remoção dos finos primários. Usou-se para essa extração uma peneira de 150 mesh e o rendimento dessa remoção variou entre 86 a 92%. Portanto, a grande maioria dos finos e de algumas fibras pequenas foi removida, já que é praticamente impossível a extração total dos finos. Isso pela facilidade que eles possuem de se entremear às fibras, ficando assim retidos mesmo pela ação de lavagem intensa.

Foram testadas as qualidades de folhas produzidas com as celuloses não refinadas desses dois tipos: com finos primários e sem finos primários. Observar que refino algum foi dado a essa celulose, apenas alguma agitação e bombeio ao longo do processo de sua produção.



Polpa de eucalipto “isenta de finos primários”

Tabela C-1: Polpa kraft branqueada e não refinada de eucalipto
Influência da presença ou “ausência” de finos primários

Propriedades	Polpa com finos primários	Polpa “isenta de finos primários”
Teor de finos %	10,5	3,2
Grau Schopper Riegler °SR	24	15
Índice de tração N.m/g	30	17
Elongação %	1,5	1,0
Índice de estouro kPa.m ² /g	0,8	0,2
Índice de rasgo mN.m ² /g	6,1	3,3
Volume específico aparente cm ³ /g	2,2	2,5
Resistência ao ar seg/100 cm ³	1,3	0,4
Opacidade %	81,8	81,0
Alvura % ISO	90,0	90,1
Ascensão capilar Klemm mm/10 min	103	139
População fibrosa Milhões fibras/grama	22,6	25,4
“Coarseness” mg/100 m	6,7	5,8
Comprimento ponderado fibra mm	0,66	0,67

Conclusão: Forte impacto da presença ou ausência dos finos primários em praticamente todas as propriedades papeleiras da folha e também em sua

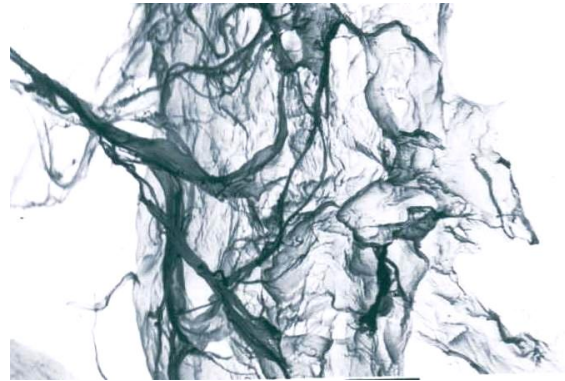
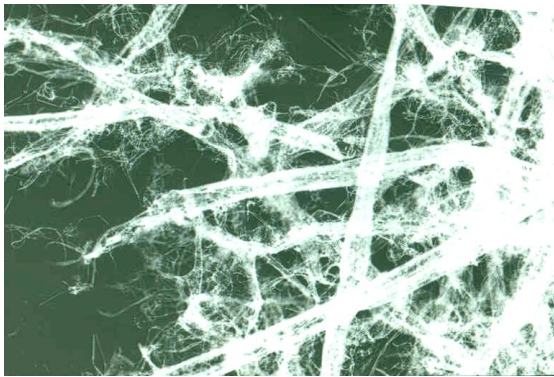
população fibrosa e "coarseness". As tendências foram exatamente as mesmas citadas na literatura. As únicas propriedades não afetadas foram comprimento médio da fibra e alvura.

A seguir, temos para vocês diversos estudos de caso com adições de finos secundários e seus impactos nas mesmas propriedades das folhas e polpa.

Estudo de caso 02: Influência dos finos secundários adicionados a uma celulose não refinada de eucalipto nunca seca

Nesse caso, foram criados finos secundários pela refinação da mesma polpa celulósica até cerca de 90 graus Schopper Riegler. Através de uma peneira de 200 mesh, o residual de fibras ainda presentes foi removido, ficando-se com uma massa de apenas finos secundários. A isso se chamou de polpa de finos. Essa teve sua consistência determinada e depois foram adicionadas quantidades crescentes à massa original que continha finos primários mas não tinha sofrido refino algum.

As polpas resultantes foram avaliadas. Importante se lembrar que nenhum refino foi dado à massa que recebeu a adição de finos secundários.



Polpas e fibras altamente refinadas com excessiva geração de finos secundários
Observar a alta degradação da parede celular na foto à direita

Tabela C-2: Polpa kraft branqueada e não refinada de eucalipto
Influência da adição controlada de finos secundários

Propriedades	Polpa original com finos primários	Polpa original com Adição 1	Polpa original com Adição 2	Polpa original com Adição 3	Polpa original com Adição 4
Teor de finos %	9,2	10,1	11,2	13,0	14,5
Grau Schopper Riegler °SR	20	22	25	31	40
Índice de tração N.m/g	22	25	27	35	48
Elongação %	1,1	1,3	1,5	1,8	2,5
Índice de estouro kPa.m ² /g	0,7	0,9	1,1	1,5	1,9
Índice de rasgo mN.m ² /g	4,0	4,5	4,8	6,0	8,1
Volume específico aparente cm ³ /g	2,30	2,23	2,20	2,10	1,92
Resistência ao ar seg/100 cm ³	1,0	1,2	1,4	2,8	6,5
Opacidade %	82,5	82,4	82,6	82,5	81,8
Alvura % ISO	89,1	88,7	88,5	88,5	88,7
Ascensão capilar Klemm mm/10 min	104	99	94	78	68
População fibrosa Milhões fibras/grama	26,3	25,0	24,3	23,6	21,8
"Coarseness" mg/100 m	5,90	5,95	6,2	6,5	7,0
Comprimento ponderado fibra mm	0,68	0,67	0,66	0,67	0,66

Conclusão: Mesmo uma polpa absolutamente sem refino, apenas desagregada e agitada, comporta-se exatamente como se tivesse sido refinada pela adição sucessiva e crescente de finos secundários.

Portanto, os finos secundários podem perfeitamente serem utilizados para mudar as propriedades físico-mecânicas e óticas das polpas de mercado que não tenham sofrido tratamento mecânico de refino algum. Com adições controladas, pode-se perfeitamente controlar propriedades tão significativas como resistências, absorção de água, porosidade, densidade da folha, volume específico aparente, opacidade, etc. Quanto maior a adição de finos secundários à massa, maior será esse efeito de “aparente refinação”.

As principais propriedades afetadas pelo teor crescente de finos foram:

Grau Schopper Riegler: +++

Índice de tração: +++

Elongação: ++

Índice de estouro: ++

Índice de rasgo: ++

Volume específico aparente: - -

Densidade aparente da folha: ++

Resistência ao ar: ++

Porosidade: - -

Alvura: - -

Ascensão capilar: - -

População fibrosa: - -

“Coarseness”: ++

Comprimento da fibra: sem efeito percebido

Esses resultados encontrados nesses dois estudos de caso oferecem aos produtores de celulose de mercado (e aos de papel também) interessantes oportunidades para diferenciar seus produtos com base apenas e tão somente na gestão dos finos celulósicos, sem grandes dificuldades para assim proceder.

Quer seja pela adição ou pela retirada de finos pelo fracionamento da massa, pode-se impactar significativamente as propriedades das folhas de papel e das polpas de celulose. Isso pode ocorrer em uma ou oposta direções, a depender do que se objetivar.

=====

INFLUÊNCIA DOS FINOS CELULÓSICOS SECUNDÁRIOS NAS PROPRIEDADES DAS POLPAS KRAFT REFINADAS DE EUCALIPTO

Qualquer polpa de eucalipto possui uma certa quantidade de finos primários que não deixa de ser uma fração importante de seu peso (entre 6 a 12% medidos pelo vaso dinâmico de drenagem com peneira de 200 mesh). Quando essas polpas passam a ser refinadas, começam a ser danificadas e pedaços de fibras se rompem e se liberam como finos secundários. Tanto os finos primários, como os secundários exercem papéis importantes na performance papeleira das polpas. Os finos primários são de forma geral de maiores dimensões que os secundários. Os primários possuem comprimentos que variam de 15 a 80 μm , enquanto os finos secundários possuem no máximo 15. De maneira geral, os finos secundários possuem entre 2,5 a 10 μm , e em muitos casos, dificilmente são detectados pelos analisadores óticos de fibras. Entretanto, são muito facilmente medidos pelos vasos dinâmicos de drenagem.

Entretanto, não podemos esquecer que durante a refinação, também os finos primários serão impactados pelas lâminas do refinador, gerando também eles finos secundários.

Em estudos sobre a refinação da massa de celulose, diversos autores tiveram a habilidade de separar os finos primários dos secundários. De acordo com essas pesquisas, entre 1,5 a 6% dos finos presentes em polpas refinadas são devidos a finos secundários gerados pelos impactos mecânicos do refino. Portanto, uma massa que originalmente continha 8% de finos primários, tem esse valor aumentado para 9 a 14%, dependendo do nível de refinado aplicado sobre ela. Partículas tão diminutas como essas são difíceis de serem gerenciadas pelos papeleiros, pois escapam facilmente através de telas, independente do seu desenho.

Em nossos estudos de caso sobre a influência dos finos sobre a qualidade das polpas, trazemos agora mais alguns casos para demonstrar a importância dos finos na refinação da polpa.

No nosso estudo de caso 03, retiramos a maior parte possível dos finos de uma massa não refinada por lavagem, em peneira de 150 mesh e tentamos refinar em moinho PFI essa massa "isenta de finos". Nesse caso, a massa somente teria suas propriedades influenciadas pelos poucos finos primários residuais e pelos finos secundários gerados nesse refino quase só de fibras íntegras (desfibrilamento, corte, rompimento de camadas, etc.).

Nos estudos de caso 04 e 05, procuramos realizar adições de finos secundários em massas previamente muito pouco refinadas a baixa

intensidades de refino (0,5 W.s/m), tentando potencializar suas propriedades através da adição controlada de finos secundários. Os finos secundários podem ser produzidos em separado pela refinação intensa de uma massa contendo finos primários, ou então pelo fracionamento de finos de uma massa já refinada. De qualquer forma, os finos secundários foram obtidos por segregação através uma peneira de 200 mesh.

Estudo de caso 03: Influência do refino sobre o desenvolvimento das propriedades de massa com baixíssimo teor de finos ("massa isenta de finos" produzida por remoção com lavagem em peneira de 150 mesh)

Tabela C-3:

Propriedades	Polpa "isenta de finos primários" sem refino	Polpa "isenta de finos" refinada com 2500 revoluções PFI	Polpa com finos e refinada a 22 °SR em PFI (Testemunha)
Teor de finos %	3,0	4,8	10,6
Grau Schopper Riegler °SR	15	22	22
Índice de tração N.m/g	17	26	31
Elongação %	1,0	1,5	1,8
Índice de estouro kPa.m ² /g	0,2	0,8	1,4
Índice de rasgo mN.m ² /g	3,3	5,0	5,5
Volume específico aparente cm ³ /g	2,54	2,35	2,15
Resistência ao ar seg/100 cm ³	0,4	0,9	1,3
Opacidade %	81,5	81,0	81,7

Alvura % ISO	90,1	89,9	89,5
Ascensão capilar Klemm mm/10 min	139	115	105
População fibrosa Milhões fibras/grama	22,6	23,5	25,8
"Coarseness" mg/100 m	6,7	6,0	5,8
Comprimento ponderado fibra mm	0,66	0,67	0,70

Conclusão: Apesar de ser perfeitamente possível se refinar uma polpa "quase isenta de finos primários", o desenvolvimento do refino é mais lento do que aquele de uma polpa normal contendo seus finos primários.

Algumas propriedades são mais impactadas e isso pode até mesmo ser benéfico para alguns tipos de papéis, tais como o volume específico aparente, a porosidade (inverso da resistência ao ar), a ascensão capilar de água e a resistência à tração. Entretanto, ainda que menos intensamente que uma polpa contendo finos primários, o refino de polpas quase isentas desses finos primários consegue gerar finos secundários que colaboram no processo de ligação entre fibras, provocando aumento das propriedades que dependem desse particular. Fica claro porém que os finos primários também têm efeito importante no desfibrilamento e na geração de finos secundários.

Estudo de caso 04: Influência da adição controlada de finos secundários a uma polpa pré-refinada de eucalipto a 24°SR

Tabela C-4

Propriedades	Polpa pré-refinada a 24°SR	Polpa pré-refinada Adição 1	Polpa pré-refinada Adição 2	Polpa pré-refinada Adição 3
Teor de finos %	11,4	12,6	13,6	15,1
Grau Schopper Riegler °SR	24	26	29	35
Índice de tração N.m/g	37	39	41	47
Elongação %	1,8	1,9	2,0	2,5
Índice de estouro kPa.m ² /g	1,7	1,8	2,1	2,6
Índice de rasgo mN.m ² /g	6,6	6,8	7,4	9,1
Volume específico aparente cm ³ /g	2,08	2,05	2,01	1,92
Resistência ao ar seg/100 cm ³	1,6	2,0	2,8	5,9
Opacidade %	81,8	81,7	81,8	81,7
Alvura % ISO	88,8	88,3	87,8	87,6
Ascensão capilar Klemm mm/10 min	89	79	74	60
População fibrosa Milhões fibras/grama	25,1	25,0	24,9	24,4
"Coarseness" mg/100 m	5,74	5,77	5,73	5,93
Comprimento ponderado fibra mm	0,70	0,69	0,70	0,70

Conclusão: Da mesma forma que para o estudo de caso 02, a adição controlada de finos secundários à polpa pré-refinada de eucalipto

permitiu o desenvolvimento de suas propriedades como se a mesma estivesse sendo refinada. Algumas propriedades não são tão impactadas pela adição dos finos, por exemplo a opacidade e o volume específico aparente, o que é uma excelente oportunidade – ganhar resistências sem perder (ou perder pouco) opacidade e volume específico aparente.

Estudo de caso 05: Comparações entre polpas kraft de eucalipto a mesmos graus de refino, mas obtidas por refino em refinador semi-industrial ou pela adição de finos secundários em uma polpa pré-refinada

Cabe agora finalmente comparar se o refino convencional de uma polpa contendo seus finos será similar ou diferente do “falso refino” obtido pela adição de finos secundários a uma polpa ligeiramente pré-refinada a 24°SR.

Escolhemos dois níveis de drenabilidade para as comparações: 25 e 35°SR. O primeiro pode ser mais adequado para papéis que exigem baixa tração e alta porosidade e volume específico aparente (exemplo – papéis “tissue”) e o segundo para papéis de impressão e escrita.

Tabela C-5:

Graus Schopper Riegler	25°SR		35°SR	
Propriedades	Polpa normal refinada	Polpa pré-refinada com adição de finos	Polpa normal refinada	Polpa pré-refinada com adição de finos
Teor de finos %	11,7	12,0	14,0	15,1
Índice de tração N.m/g	40,0	38,0	55,5	46,3
Elongação %	1,90	1,85	2,7	2,5
Índice de estouro kPa.m ² /g	1,9	1,8	3,1	2,6
Índice de rasgo mN.m ² /g	7,0	6,7	9,6	9,1

Volume específico aparente cm ³ /g	2,06	2,07	1,80	1,92
Resistência ao ar seg/100 cm ³	1,9	1,8	9,4	5,9
Opacidade %	81,8	81,8	80,9	81,7
Alvura % ISO	88,6	88,6	87,8	87,6
Ascensão capilar Klemm mm/10 min	84	83	51	60
População fibrosa Milhões fibras/grama	26,4	25,0	31,1	24,5
"Coarseness" mg/100 m	5,47	5,76	4,63	5,90
Comprimento ponderado fibra mm	0,69	0,70	0,69	0,70

Conclusão: Apesar de se obter o mesmo nível de drenabilidade para os dois tipos de polpas, existem diferenças importantes no desenvolvimento das propriedades pela ação do refino ou da adição dos finos secundários. Quando se pré-refina suavemente a polpa e se ajusta o grau de refino pela adição controlada de finos secundários artificialmente produzidos, o desenvolvimento das propriedades físico-mecânicas e óticas foi mais vagaroso. São necessários teores de finos maiores na massa para se atingir o mesmo nível de grau Schopper Riegler, comparando-se os dois procedimentos. Em função das fibras não terem continuado seu refino na situação de apenas adição de finos, as ligações entre as partículas existem, mas não são tão intensas. Isso representou prejuízos no desenvolvimento das resistências, acentuando-se ainda mais para o nível mais alto de drenabilidade (°SR). Acreditamos que quanto mais alto for o grau de refino estudado, maiores serão as diferenças. Por outro lado, algumas propriedades são beneficiadas, tais como opacidade, porosidade, ascensão capilar da água, volume específico aparente, etc. Da mesma forma, os benefícios são maiores nos níveis mais altos de grau Schopper Riegler.

Obviamente, as diferenças a maior ou menor vão depender sobretudo do nível de pré-refino que se aplicar na polpa original e dos níveis adicionados e retidos de finos secundários. Cada situação industrial que assim desejar proceder deve avaliar os pontos de ótimo que poderão beneficiar o papel em fabricação.

Acreditamos que a técnica pode ser uma válida alternativa para papéis que demandem forte controle de propriedades como volume específico aparente, porosidade e ascensão capilar de água. Seria talvez o

caso de papéis tipo sanitários de alta qualidade, como lenços faciais, etc. Também para papéis decorativos poderia ser uma alternativa a ser cogitada.

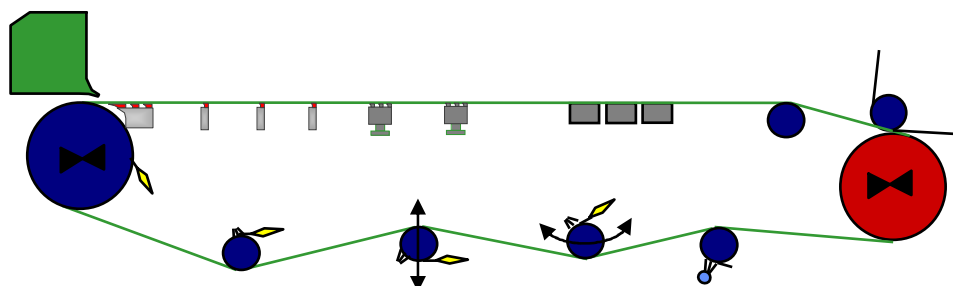
Estudos de caso: Conclusão geral

São evidentes as influências que os finos exercem sobre as propriedades de folhas de celulose, tanto os finos primários, como os secundários. Entretanto, os finos secundários, por terem muito maior área superficial por unidade de peso, conseguem ser altamente efetivos para promover ligações entre as partículas da polpa na folha de papel. Por isso mesmo e pela facilidade de se produzir finos secundários, a sua gestão oferece-se como oportunidade interessante aos papeleiros.

O controle do teor de finos na massa permite melhor estruturação da folha, evitando variações na consolidação da matriz fibrosa. Permite ainda a melhoria de algumas propriedades críticas tais como: porosidade, volume específico aparente, absorção capilar de água. Finalmente, pela adição controlada de finos secundários pode-se otimizar seletivamente tanto a fração de fibras mais intactas e menos deformadas/degradadas (ou polpa semi-refinada) como a fração de finos introduzida para melhoria nas ligações.

=====

FINOS E SUAS CONSEQUÊNCIAS NA FABRICAÇÃO DO PAPEL



Esquema simplificado de uma máquina formadora clássica tipo Fourdrinier
Fonte: Erotides, 2004

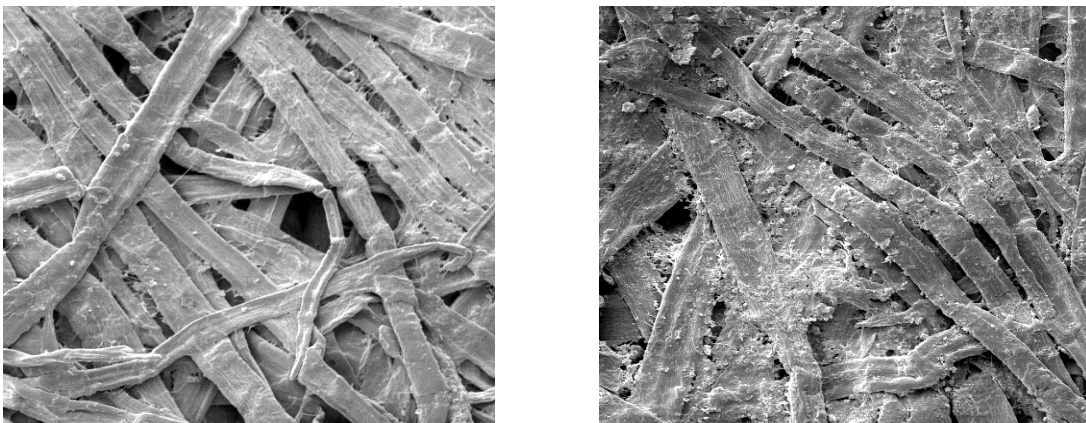
No processo clássico de formação da folha de papel, uma suspensão de fibras e outros aditivos químicos e minerais e a muito baixa consistência é filtrada em uma tela em movimento contínuo. Sobre a tela se deposita uma folha úmida, que é succionada pela gravidade, pelo vácuo, depois prensada e finalmente sofre secagem por aquecimento. Essa suspensão de fibras contem uma variada gama de partículas de diferentes dimensões, entre as quais as mini-partículas que chamamos de finos. Muitos desses finos, pela sua pequena dimensão, passam através da tela formadora junto com a água drenada, deixando a suspensão. A retenção das fibras e finos e demais partículas adicionadas na receita do papel é o grande desafio dos fabricantes de papel. Para reter mais os técnicos otimizam os desenhos das telas, ajustam melhor os parâmetros da suspensão (consistência, pH, temperatura, etc.) e utilizam agentes retentores para agregar finos celulósicos e cargas minerais na folha sendo fabricada.

De qualquer maneira, sempre teremos a percolação de partículas da massa através da tela formadora. Essas finos e fibras que passam através da tela vão formar uma suspensão de muito baixa consistência conhecida no setor como "água branca". Esse nome em parte se deve à cor dessa água na fabricação de papéis brancos, pela rica presença de cargas minerais brancas (caulim, carbonato de cálcio, dióxido de titânio, etc.) e das fibras e finos celulósicos. Portanto, em muitas, ou mesmo na maioria das situações, os finos celulósicos estão associados a finos minerais, pois ambos os tipos são partículas diminutas que permeiam com facilidade pela tela formadora e se acumulam nos sistemas de água branca das máquinas de papel.

Quando temos apenas uma suspensão de fibras celulósicas indo para a caixa de entrada da máquina formadora de folha, como por exemplo nas

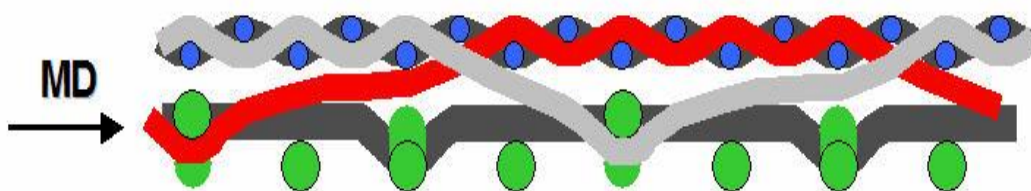
máquinas formadoras de folhas de celulose de mercado, as partículas que passam através da tela formadora são nossos conhecidos finos celulósicos, acompanhados de quantidade variada de fibras. Podem ser apenas os finos primários (no caso de polpa de mercado) ou finos primários e secundários misturados (formação de folha de celulose refinada).

Entretanto, nem todos os finos são removidos por essa drenagem da água através da tela formadora. Isso porque a folha vai-se formando e passa a atuar como um filtro fibroso, ajudando a reter a massa (e consequentemente, os finos). É por essa razão que o lado da tela do papel possui menos finos do que o lado oposto (conhecido como lado do feltro). Esse fenômeno de distintas faces no papel é denominado de “dupla face”, pois as propriedades superficiais de ambos os lados são ligeiramente diferentes. As máquinas de papel mais modernas, com telas duplas e muito mais níveis de controle e ajustes, minimizaram em muito esse fenômeno.

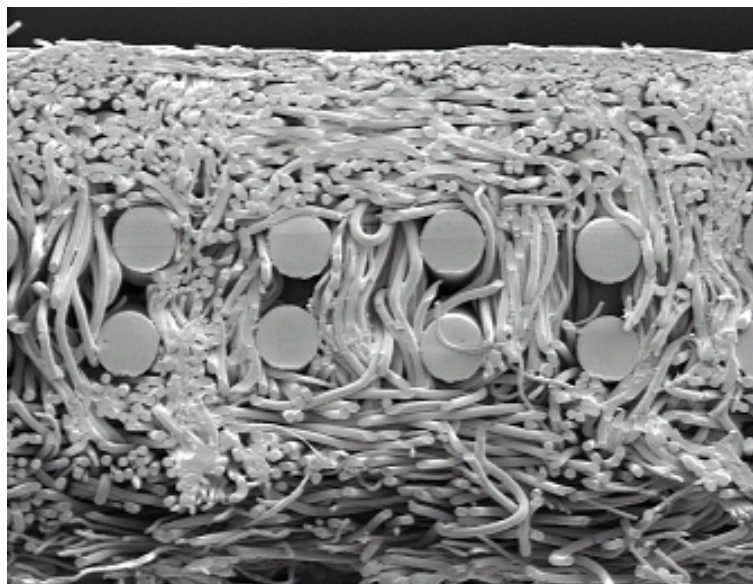


Folha de papel – lado tela (à esquerda) e lado feltro (à direita)

O processo de formação da folha é dinâmico, a tela se move continuamente e na caixa de entrada da máquina, a suspensão é mantida sob intensa agitação (ou turbulência). Isso resulta que as folhas formadas em máquinas industriais são bastante diferentes das formadas em laboratório, nos tradicionais “sheet molds” (onde apenas uma drenagem da suspensão de fibras ocorre e a deposição das partículas é aleatória).



Tela formadora laje tripla. Fonte: Erotides, 2004



Feltro úmido de duas lajes com revestimento
Fonte: Erotides, 2004

Em função das diminutas dimensões dos finos e de suas propriedades de higroscopicidade, eles afetam tanto a drenagem, como o desaguamento., a prensagem e a secagem da folha. Os finos celulósicos são altamente receptivos à água e a outros íons pela sua alta superfície por unidade de peso. São também ricos em cargas negativas, o que aumenta sua capacidade de reter água e de reagir com outros íons da vizinhança (eletrocinética). O resultado disso tudo é que os inadequados controle e gestão dos finos acabam resultando em perdas de produtividade (velocidade da máquina e quebras da folha), em perdas de qualidade do papel e em aumento de custos e de inúmeras perdas operacionais (com maior poluição gerada também).

Sabedores que temos a capacidade de gerar finos na fabricação do papel, temos que entender muito bem as causas e locais de sua geração para buscar minimizar isso, ou otimizar.

Além dos finos primários que já entram na fábrica de papel com a polpa virgem comprada, existem duas outras importantes entradas de finos nos sistemas:

- Finos secundários gerados no refino da massa;
- Finos terciários formados pela reutilização dos refugos internos ("broke").

O refino inadequado da polpa de eucalipto colabora para geração maior de finos secundários e também enfraquece as paredes das fibras. Isso acaba prejudicando ainda mais a drenagem, o desaguamento e a secagem da folha. Aumenta o índice de retenção de água (IRA) e a folha acaba mais densa e compactada. A prensagem úmida remove menos água e às vezes até danifica a formação e a qualidade da folha. Os feltros se sujam muito mais e com isso, a folha sai da prensagem com maior umidade. O resultado vai piorando em cascata, terminando com maiores consumos de vapor na secagem e piores propriedades dimensionais do papel. Além disso, por ser menos desaguada na mesa plana e na prensa úmida, o teor de umidade da folha úmida é maior. Isso enfraquece sua resistência úmida e mais quebras certamente ocorrerão.

Outra forma para se reduzir a quantidade de finos na massa é a redução da desagregação de refugos internos (papel desclassificado, folhas de quebras, etc.). Nesse caso, o ideal é começar por estudar as causas dessa geração de refugos e quebras, tentando evitar ou minimizar esses fenômenos. Uma adequada avaliação interna na fábrica pode ajudar na solução desse perverso problema. Escrevi um capítulo todo em nosso **Eucalyptus Online Book** sobre essa maldição processual do setor de papel, com a qual os técnicos têm convivido há anos, sem solução prevista no curto prazo (http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT06_fibras_refugos.pdf). É muito possível se desenvolver usos alternativos para o papel do refugo, evitando ter-se que reciclá-lo como matéria-prima fibrosa.

Alguns dos principais efeitos dos finos de processo estão a seguir relacionados:

- Acumulação no sistema de água branca, passando a circular na forma de um "loop" fechado que demanda novos custos de energia, limpezas e "boil-outs". Há casos onde o teor de finos na massa da caixa de entrada atinge 50% a 80%, em função do maior ou menor fechamento do circuito, do grau de refino e da quantidade de cargas minerais nos finos.
- Prejuízos na drenagem da água, desaguamento e secagem da folha.
- Formação de dupla face no papel.
- Redução na retenção da massa e exigências para aplicação de agentes retentores tipo polieletrólitos. Isso é extremamente crítico para os papéis "tissue" que inclusive requerem a aplicação não de retentores, mas sim de "debonders" para reduzir a ligação entre fibras. Em muitos casos, a fabricação de papéis ricos em cargas minerais é muito afetada em relação à retenção, tanto de cargas como de finos celulósicos.

- Possibilidades de floculação e aglomeração com outros compostos químicos e partículas da suspensão, tais como colas, cargas minerais, retentores, “pitch”, resinas, etc.
- Migração de finos com a água durante o desaguamento, sujando e se acumulando em caixas de vácuo, feltros, telas, etc.
- Redução da resistência a úmido da folha de papel em função da diminuição de seu teor de secos pelas dificuldades de desaguamento.
- Redução da resistência superficial das folhas, especialmente no lado feltro. Uma das conseqüências é a maior ocorrência de delaminações (“pirolitos”) superficiais.
- Prejuízos na colagem alcalina, que será tanto pior quanto maior a carga iônica dos finos. Entretanto, a eficiente colagem não depende apenas do teor e da carga iônica dos finos, mas também da distribuição desses finos na espessura e superfície da folha de papel.
- Prejuízos na permeabilidade do vapor na direção Z da folha de papel, em função de adensar a folha e até mesmo formar uma espécie de “pele” superficial no lado do feltro da folha.
- Melhorias substanciais nas propriedades do papel que dependem da ligação entre fibras. Entretanto, quando os finos são extremamente ricos em cargas minerais, as cargas acabam prejudicando esse efeito, pois não possuem essa capacidade de favorecer ligações entre fibras.
- Substanciais efeitos na química da parte úmida na fabricação do papel em função do potencial zeta negativo elevado, da alta capacidade de retenção de água e da alta superfície específica (5 a 15 vezes maior para os finos em relação às fibras).

Em função de todos esses efeitos, o papeleiro deve tomar os cuidados necessários e monitorar constantemente os seus sistemas. A química da parte úmida de uma fábrica de papel é fundamentalmente dependente das características químicas, físicas, superficiais e eletrocinéticas dos finos (celulósicos e minerais), dos aditivos presentes, da massa fibrosa e das interações entre todos esses componentes.

Com as exigências cada vez maiores para fechamento dos circuitos para mínimo uso específico de água, essas interações tenderão a ser cada vez mais importantes para os papeleiros.

Além disso, existem outras tendências importantes na fabricação do papel que agravarão ainda mais essa problemática:

- Aumento do teor de cargas minerais na composição de muitos tipos de papéis;
- Redução de gramaturas;
- Aumento das taxas de reciclagem de papel;
- Pressões ambientais sobre efluentes e lodos da fabricação do papel;
- Redução dos consumos de vapor e energia elétrica;
- Aumento da eficiência operacional das máquinas (menos quebras, menos refugos, etc.).

Existem ainda muitos círculos viciosos na fabricação do papel, que até o momento têm merecido pouca atenção da maioria dos papeleiros. Um deles é a enorme geração de refugos internos de máquina e de conversão. Eles são responsáveis por redução de resultados e de produtividade. Aumentam os custos e a eco-ineficiência. Aumentam também a geração de finos terciários nos sistemas de água branca.

Outra característica que muitas empresas ainda gerenciam mal é a especificação das polpas utilizadas e a criação de indicadores vitais de processo. Outras fábricas ainda são primitivas no aspecto limpeza das máquinas e de seus sistemas. Todas pagam preços muito altos por essas deficiências e vícios.

Outra coisa que se conhece bem é que as tecnologias mais modernas que evitam a dupla face tendem a melhorar a distribuição dos finos na direção Z do papel (sua espessura). Essa retenção mais uniforme colabora para minimizar os problemas anteriormente relatados, pois reduz o acúmulo de finos e aumenta a retenção dos finos na folha de papel. Entretanto, os fabricantes que ainda operam máquinas Fourdrinier tradicionais são altamente impactados pelos finos celulósicos e minerais. Some-se a isso que temos ainda a importante diferença entre esses dois tipos de finos. Enquanto os finos celulósicos adicionam ligação entre fibras ("bonding"), os finos minerais (cinzas) a prejudicam. Por isso, é surpreendente que muitas fábricas sequer tentam conhecer a distribuição e segregação de seus finos e as interações entre os mesmos com qualidade e produtividade.

Enfim amigos, há muita coisa ainda a se fazer e o tempo está cada vez mais escasso e até mesmo terminando para alguns. Muitos sequer saberão como resolver seus problemas, pois não possuem medições confiáveis das principais variáveis que demandam controle e ação. Outros, mais sábios e inovadores, saberão entender melhor esses efeitos e otimizarão as principais etapas onde se deve atuar: refinação, geração de refugos, retenção, desaguamento, consolidação da folha, etc.

Aqueles que possuem domínio maior sobre a cadeia produtiva do papel talvez passem a atuar desde a qualidade da madeira, procurando

desenvolver madeiras com menos parênquima, menos extrativos, etc. Outros, mais prudentes e conscientes ainda, procurarão reduzir os refugos gerados nas máquinas de papel ou desenvolver novos produtos que se valham desses refugos. Ao invés de desagregá-los e reusá-los na máquina de papel, poderão cortá-los e vendê-los sob uma nova ótica produtiva e mercadológica.



Analísadores automáticos para controle de drenabilidade, cargas, etc. para modernas máquinas de papel

Fonte: Zynger e colaboradores (2006)

=====

FINOS E SUAS CONSEQÜÊNCIAS NA QUALIDADE DOS PAPÉIS

Ainda que os finos celulósicos possam representar contribuições negativas nos processos de fabricação do papel, suas influências nas propriedades do papel são muito valiosas.

Dentro da estrutura da folha de papel, os finos atuam como se fossem fibras muito pequenas, preenchendo vazios na matriz fibrosa, ligando as fibras umas às outras, inclusive aproximando-as após secagem. Com isso, melhoram a lisura e aumentam a densidade aparente da folha.

Os finos celulósicos melhoram praticamente todas as propriedades de resistência das folhas de papel de eucalipto. Isso porque mesmo o índice de rasgo é muito influenciado pela ligação entre fibras no caso das fibras curtas de folhosas. Também podem ter algum efeito positivo na opacidade, mas isso vai depender do nível de refino e da densidade e compactação da folha.

Por outro lado, os finos celulósicos causam o fechamento e adensamento da folha, prejudicando a sua porosidade, volume específico aparente e potencial para absorção de água. Também prejudicam a estabilidade dimensional das folhas, favorecendo que hidratem mais irregularmente por higroscopia. Isso é especial problema para os papéis para cópia e para uso gráfico.

Quando produzimos folhas de papel de mesma gramatura, mas contendo diferentes teores de finos na massa, vamos notar claramente que o aumento no teor de finos corresponderá a uma redução na espessura do papel. Isso porque a folha se tornará mais densa e menos volumosa. Para alguns tipos de papel isso poderá ser um grave problema (papel cópia e decorativo), enquanto para outros pode ser um benefício (papel bíblia).

Os finos também conseguem alterar a forma como se produzir o papel. Quando abundantes, passam a exigir maiores aplicações de vácuo e maiores pressões para desaguamento da folha úmida. Isso vai aproximar ainda mais as fibras, adensando a folha em demasia. Finos, porosidade e volume específico aparente são coisas que caminham em sentidos opostos. Por essa razão, e pelas exigências que se colocam aos papéis de eucalipto em relação a essas propriedades, a necessidade de se conhecer muito bem essas relações.

Os finos são também problemáticos na fabricação do papel "tissue". O fabricante desse papel tem pavor da acumulação de finos em seus sistemas. Existe inclusive uma forte tendência de aquisição e de especificações para polpas de eucalipto com baixos teores de finos nesse mercado. As razões para esse temor são compreensíveis. Os papéis "tissue" são produzidos visando a altas capacidades de absorção de água, baixa tração, alta suavidade, alta maciez. O aumento dos finos na folha tende a atrapalhar todas essas propriedades desejadas nos papéis "tissue". Por isso, a necessidade de especificar, monitorar, controlar e agir. Os fabricantes desse tipo de papel, especialmente aqueles de alta qualidade, têm aversão a coisas que promovam a

ligação entre fibras, tais como: teor de hemiceluloses, população fibrosa, índice de retenção de água, cargas iônicas, superfície específica aparente por unidade de peso seco de polpa, flexibilidade, colapsabilidade das fibras, e teor de finos também.

Outro problema na fabricação de papel "tissue" é a alta acumulação de finos celulósicos na água branca. Com folhas de no máximo 20 g/m² é fácil se imaginar que a retenção de finos é baixíssima e o conseqüente acúmulo dos mesmos nos sistemas de água da máquina.

Enfim entre problemas e soluções, os finos vão convivendo e coexistindo. Sem eles a qualidade dos papéis seria um desastre. Com eles, temos apenas que saber otimizar sua gestão.

=====

FRACIONAMENTO DE FIBRAS E DE FINOS

Fracionar fibras celulósicas é um processo de separar os componentes da polpa de acordo com frações preestabelecidas para suas dimensões. Trata-se de um procedimento relativamente comum em laboratórios para ajudar no controle de qualidade das polpas, em geral muito usado para pastas de alto rendimento e em polpas de fibras longas. Também é usado em fábricas de papel que trabalham com misturas de polpas em suas receitas de massa.

Apesar de ser um procedimento simples de ser feito em laboratório, levar o fracionamento para escala industrial não é tão simples, nem tão eficiente em performance.

Em geral, nos laboratórios utilizam-se intensas lavagens da polpa, que deve passar através peneiras de perfurações ou ranhuras pré-determinadas. Existem diversos fracionadores de fibras laboratoriais, sendo os mais comuns os seguintes: Bauer McNett, Clark, Brecht Holl e o vaso dinâmico de drenagem. Todos se baseiam em colocar uma suspensão de fibras muito diluída e sob agitação para percolar através de telas com malhas e aberturas preestabelecidas. As partículas mais finas passam pelas aberturas da tela em questão e as mais grossas ficarão retidas. Podem-se utilizar diferentes peneiras com malhas diferentes. Com isso, separam-se frações de distintas dimensões. As malhas mais usuais são: 28, 35, 48, 100, 150, 200 e 400 mesh. Também as peneiras de fendas (ranhuras ou "slots") são usadas, sendo usuais as fendas de 0,1 mm; 0,15 mm e 0,2 mm.



Classificador e fracionador de fibras Bauer McNett

Fonte: www.fibretec.com (Índia)

A literatura é rica em artigos sobre classificação e fracionamento de fibras, até mesmo para os eucaliptos. Em geral, os autores, segregam as frações e as avaliam anatômica e quimicamente. Também é possível, pela mesma metodologia, segregar os finos em algumas sub-frações, as mais usuais sendo 150, 200 e 400 mesh.

Os classificadores de fibras são operados por troca de peneiras (uma de cada vez, como é o caso do Brecht Holl e do vaso dinâmico de drenagem) ou então em cascata (Bauer McNett).

Existem equipamentos de maior escala, verdadeiros protótipos semi-industriais que também operam muito bem fracionando e segregando fibras. Um dos mais estudados é o fracionador conhecido como "Johnson fracionator", desenvolvido pelo Axel Johnson Institute, da Suécia. O equipamento consiste de um sistema de filtros de discos arranjados em um tambor, muito similar a um filtro de discos para recuperar fibras. Existem distintas divisões no equipamento, bem como diferentes dimensões e aberturas de discos e peneiras. Trata-se de um equipamento robusto, simples e de fácil operação. Sua maior desvantagem é a necessidade de trabalhar com consistências muito baixas, entre 0,5 a 0,7%. As capacidades nominais do equipamento variam entre 15 a 30 m³/minuto, o que corresponderia a 5 a 10 toneladas secas por hora. São valiosos para fábricas de pequeno porte e de especialidades. A maior vantagem que apresenta em relação a peneiras tipo "save all" ou "hydrasieves" é que pode separar a polpa em pelo menos três frações: grosseira, intermediária e fina.

Através do fracionamento, pode-se ou eliminar alguma fração indesejável (palitos, "shives", contaminantes, fibras grossas, "pitch") ou então separar as frações da polpa para permitir se recombiná-las depois em função dos níveis desejados de cada uma.

O uso de fracionadores permite não apenas melhor controle de qualidade do processo, mas também permite diferenciar produtos e aumentar a eficiência industrial.

Um dos mais interessantes usos dos fracionadores é aquele nas fábricas de papel reciclado. Como a heterogeneidade das fibras é enorme, pela desuniformidade das aparas, o fracionamento ajuda a uniformizar a massa. Ajuda inclusive a separar alguma fração de fibras tão boas e íntegras quanto as fibras de polpa virgem.

O fracionamento colabora ainda para se ter melhor controle do grau de refino (drenabilidade), o que ajuda na drenagem e desaguamento na máquina de papel, Também permite manter as resistências do papel a níveis mais uniformes e controlados.

Já vimos, em seção anterior, que o teor variável de finos celulósicos na massa afeta tanto as propriedades óticas como de resistência do papel. Também afeta o desempenho da máquina em sua operação industrial. Através do fracionamento e recombinação das frações, pode-se controlar essas variações e permitir maiores estabilidades em produtividade e qualidade.

Não devemos porém confundir fracionamento de fibras com recuperação de fibras, apesar de serem baseados em conceitos parecidos: uso de peneiras para reter um tipo de material e deixar passar outros. Os recuperadores de fibras têm a missão de evitar as perdas de material fibroso e de finos minerais e celulósicos. Sua missão é reduzir desperdícios, perdas e custos. Por outro lado, os fracionadores de fibras podem tanto realizar essa missão de recuperação, como ainda entregar ao papeleiro o material separado em frações: fibras longas, fibras médias, finos, cargas minerais, etc. Pela experiência e sabedoria do papeleiro, ele poderá compor receitas com essas frações para otimizar seu processo de produção.

É muito importante que o papeleiro tenha conhecimento e domínio sobre as frações segregadas. Se isso não ocorrer, estará jogando dinheiro e tempo fora. Sabemos que existem diferenças significativas entre frações das polpas de eucalipto, tais como R28, R48, R100 e R200 (frações retidas nas peneiras de 28, 48, 100 e 200 mesh, respectivamente). Também a fração P200 (finos – que passam pela peneira de 200 mesh) tem suas peculiares propriedades, como já vimos com intensidade nesse texto.

A maior parte de uma polpa kraft branqueada e não refinada de eucalipto fica retida nas peneiras de 48 e de 100 mesh. Praticamente 85% do peso total da polpa ficará retida nessas duas peneiras juntas. Muito pouco fica retido na peneira de 28 mesh (entre 0,2 a 1%). Já sabemos que passam

pela peneira de 200 mesh cerca de 6 a 12%: são nossos conhecidos finos celulósicos.

Conforme a fração retida em cada malha, variam as características das polpas, tanto química como fisicamente. Nossos estimados amigos e professores da Universidade de Coimbra e da Soporcel (Maria Graça Carvalho, A. Martins e Margarida Figueiredo) avaliaram em 1997 as diferentes frações segregadas de uma polpa kraft de *Eucalyptus globulus* de Portugal. Foi com isso possível se verificar as principais diferenças entre essas frações.

Os principais resultados encontrados pelos pesquisadores de Coimbra foram os seguintes:

Comprimento de fibra:

- Polpa integral – 0,73 mm
- Fibras retidas na peneira de 48 mesh - 0,89 mm
- Fibras retidas na peneira de 100 mesh - 0,72 mm
- Fibras retidas na peneira de 200 mesh - 0,45 mm
- Finos passando na peneira de 200 mesh - menores que 0,2 mm

Em função das dificuldades de segregação pelo uso de peneiras, é mesmo possível se encontrar fibras com cerca de 0,5 mm na fração finos. São fibras colapsadas que passam pela tela na posição vertical, já que a largura da fibra do eucalipto está próxima a 20 μm e a abertura da peneira de 200 mesh é de 76 μm .

Quando o tamanho das partículas diminui, notam-se maiores presenças de fibras quebradas, colapsadas e dobradas. Ou seja, quanto maior for a abertura da peneira, maior a proporção de fibras inteiras, íntegras e rígidas. Quanto mais nos aproximamos da fração de finos, maiores as presenças de pedaços de fibras e paredes e de fibras deformadas.

De acordo com os amigos portugueses que elaboraram esse trabalho (que pode ser acessado na seção de referências bibliográficas) as composições químicas das diferentes frações também variaram. Infelizmente para nós, os autores não conseguiram amostra suficiente da fração de finos (P200) para avaliar a composição química dos mesmos.

Análises químicas das frações da polpa de *Eucalyptus globulus*:

Fração	R48	R100	R200	Integral
Teor de cinzas %	0,46	0,50	0,59	0,55
Teor de extrativos %	0,07	0,07	0,16	0,11
Teor de pentosanas %	17,7	19,1	21,4	19,1
Viscosidade intrínseca - CED cm ³ /g	1154	1150	1062	1123

Também os ensaios físico-mecânicos das folhas produzidas com as diferentes frações mostraram resultados diferentes. Eles se comportaram exatamente como temos mencionado até o momento. Conforme as fibras diminuem de tamanho e aumentam em teor de finos e fragmentos de fibras, as propriedades que dependem das ligações entre fibras se alteram para maiores.

Conscientes de que existem diferenças entre as diversas frações da polpa, fica a critério do fabricante de celulose ou de papel usar esse conhecimento através novos mecanismos tecnológicos para melhor controlar seu processo, polpas e papéis.

Para a realização do fracionamento de fibras nas fábricas existem outras alternativas de equipamentos, com relativas eficiências. Em geral, esses equipamentos demandam baixíssimas consistências, pois o fracionamento é melhor em altas diluições da suspensão de fibras. Com as enormes escalas de produção de nossas fábricas atuais, isso é um fator complicador pelas altas demandas de água e de bombeamentos (energia elétrica).

De qualquer forma, existem diversos pontos no processo industrial onde a massa está bem diluída e se poderia ali realizar o fracionamento. Algumas dessas opções seriam as seguintes:

- Na depuração hidrociclônica: existem hidrociclones que podem ser adaptados para separação de partículas mais pesadas de partículas mais leves, ou seja, para segregação de fibras longas das mais curtas. Em hidrociclones, um fator chave para promover a separação é a superfície das partículas. Como as fibras são muito diferentes que os finos nesse particular quesito, isso acaba ajudando a separação. Também a separação hidrociclônica depende do peso das partículas, sendo a espessura da parede celular e o comprimento das fibras fatores chaves para facilitar a separação.

- Na filtração da água branca: existem peneiras de fibras capazes de recuperar fibras e ao mesmo tempo entregá-las em frações diferentes para reutilização. São equipamentos robustos e com capacidade de produção compatível. Trabalham com consistências que variam entre 0,5% (como fracionador) até 2% (como recuperador de fibras apenas).
- Na filtração da suspensão por peneiras de malhas ou fendas ("slots"): as frações são separadas em dois tipos – ricas em fibras e ricas em finos. De forma geral a eficiência não é tão boa na separação, ficando em torno de 60 a 70% de eficiência.

Outros equipamentos utilizados para segregação de fibras são: engrossadores, peneiras hidrostáticas, peneiras vibratórias, peneiras horizontais, peneiras pressurizadas e centrífugas. São comuns os arranjos múltiplos, onde se usam mais de um tipo de equipamentos. É o caso de uso combinado de hidrociclones para separar as frações pesadas e peneiras de disco para separar as partículas finas.

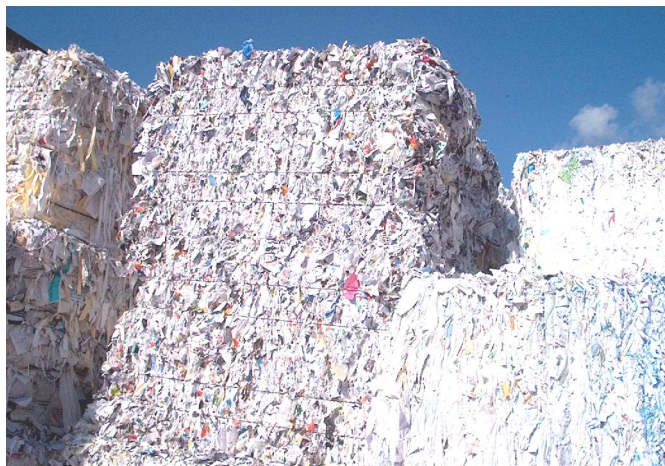
Cabe ao papelheiro conhecer muito bem as frações segregadas para fazer seu retorno às máquinas de forma a resultar em economias e sem resultar em agregação de novos problemas (os usuais problemas causados pelos finos).

Muitos papelheiros acreditam que o fracionamento das fibras venha a se constituir em tecnologia futura dominante na fabricação de papéis, principalmente pelas tendências de aumento da reciclagem e fechamento de circuitos de águas.

Não podemos nos esquecer que a própria tela formadora de folhas é um fracionador muito interessante. Conforme a abertura da tela e seu desenho, podemos reter mais massa ou deixar passar mais finos e fibras pequenas. Tendo à sua disposição um equipamento tão eficiente como esse para segregar fibras, o papelheiro tem também que estudar como gerenciar criativamente a água branca para continuar esse processo de segregação a níveis ainda melhores para sua operação.

=====

RECICLAGEM DO PAPEL E GERAÇÃO DE FINOS



Aparas mistas para fabricação de papel sanitário

Toda a reciclagem do papel se fundamenta em re-hidratação do papel para tornar a se individualizar suas fibras, e conseqüentemente, os finos também. Isso significa que todo esse material já foi seco pelo menos uma vez e por isso mesmo, sofreu o conhecido fenômeno da histerese. Em poucas palavras isso significa que a sua re-hidratação é mais difícil e que os níveis de retenção de água e inchamento serão menores do que os que se observam em fibras nunca secas.

Existem diversos tipos de papéis que se apoiam fundamentalmente em usar fibras recicladas. Os mais comuns são o papelão ondulado ("test-liner" e miolo) e os papéis "tissue".

No primeiro caso, a matéria-prima consiste no reuso das próprias caixas de papelão já usadas e dos refilos reciclados da fabricação das caixas. No caso dos papéis para fins sanitários, usam-se em geral aparas brancas ou aparas mistas. São materiais muito diferentes, tanto na composição fibrosa como nos componentes químicos.

No caso da reciclagem do papelão ondulado estamos falando de uma matéria-prima que contém fibras longas e curtas mescladas, mas com pouca quantidade de cargas minerais. A irregularidade no comprimento de fibras é enorme, favorecendo o fracionamento de fibras. Nesse material podemos encontrar fibras celulósicas de diferentes espécies de madeiras (coníferas ou folhosas) e de processos de fabricação (pastas químicas kraft, pastas de alto rendimento, etc.). Com adequada segregação, pode-se até mesmo obter frações de fibras que se assemelham à polpa kraft de fibras longas íntegras de altas resistências e performances papeleiras.

Já no caso da reciclagem para fabricação de papéis "tissue", preferencialmente deseja-se usar aparas brancas, da mesma cor dos papéis

sanitários. Por essa razão, a reciclagem para "tissue" se apoia em uso de papel de impressão (papel cópia, papel revestido, papel de revistas). Esses papéis contêm alta e variada proporção de cargas minerais (entre 10 a 25% de cinzas), possuem tintas de impressão e apresentam uma diversidade de fibras, sendo as mais comuns as fibras curtas branqueadas e as fibras obtidas por processos de alto rendimento (papel LWC de revistas). A geração de finos é bastante grande nesse tipo de reciclagem. Quase sempre, as fábricas de papel "tissue" perdem entre 20 a 30% do peso seco das aparas na forma de um lodo fibroso-mineral rico em finos celulósicos e finos minerais.

Em ambos os casos, quer seja para a reciclagem do papelão ondulado, ou para a reciclagem de aparas brancas e mistas, estamos falando de finos terciários que já foram previamente secados pelo menos uma, ou diversas vezes.

As características dos finos celulósicos desses materiais são bem diferentes daquelas dos finos encontrados em polpas de mercado (finos primários). Eles são em grande parte finos secundários que após secagem da folha se "colam" às fibras. Na re-hidratação e individualização das fibras na preparação da massa do papel reciclado, os finos se soltam com dificuldades e junto a eles formam-se novas quantidades de finos pelos danos que as fibras sofrem pelas violentas ações mecânicas aplicadas.

Quando esses finos terciários celulósicos são separados e avaliados para suas propriedades típicas, percebe-se que eles atuam exatamente como os finos originais (primários e secundários). Ou seja, ajudam na ligação entre fibras e atuam exatamente da mesma maneira sobre as propriedades de resistência e propriedades óticas e físicas. Entretanto, eles fazem isso com menor eficiência devido à histerese - porém, como são mais numerosos, compensam essa ligeira perda da capacidade de inchamento e de absorção de água. Outro fator a influenciar o desenvolvimento das resistências no papel reciclado é que as próprias fibras estão já com suas paredes danificadas e rompidas, com inúmeras micro-fraturas, o que diminui a resistência da fibra individual.

Quanto mais íntegra, mais rígida e mais espessa a parede das fibras a serem ligadas pelos finos celulósicos, maiores serão os efeitos positivos dos mesmos para o desenvolvimento de propriedades desejadas na folha de papel. O oposto é igualmente verdadeiro: quanto mais danificadas as fibras, menores serão os efeitos positivos dos finos. Até mesmo porque essas fibras estão a meio caminho de se converterem a finos celulósicos também.

Quando se procura analisar ao microscópio eletrônico a fração de finos coletados em fábricas de papel reciclado, podemos encontrar, na maioria das vezes, os seguintes tipos de finos:

- Finos volumosos, lignificados e rígidos, em geral oriundos de pastas de alto rendimento (CTMP e até mesmo pasta mecânica de papel jornal);
- Finos fibrilares;
- Pontas de fibras;
- Finos primários (células de parênquima);
- Pedacos de paredes celulares;
- etc.

Por isso mesmo, em fábricas de papel reciclado é interessante se estudar esses finos em suas diferentes sub-frações. Quanto maior a presença de finos abaixo 300 mesh por exemplo, maior a área superficial que terão.

Também para esse tipo de situação, é importante se determinar a proporção de cinzas e de extrativos (em solventes orgânicos) nos finos e nas suas frações. Alguns papeleiros fazem testes simples de filtração ou de sedimentação de suspensões diluídas de finos como forma de avaliar sua capacidade de drenagem, desaguamento e até mesmo de entupimento de vestimentas.

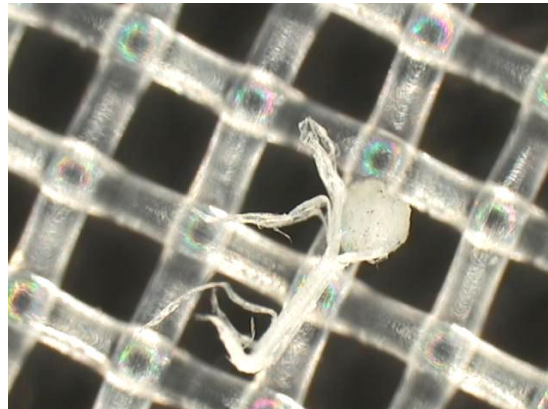
Se esses finos celulósicos da reciclagem do papel forem encaminhados para outras linhas de fabricação utilizando fibras virgens, eles colaborarão para desenvolvimento de ligações entre fibras. Entretanto, se contiverem cargas minerais essa ação não será tão eficiente.

É muito importante se conhecer bem essas interdependências e efeitos, pois na gestão dos finos é muito comum se retirar os finos de uma linha de produção e se colocá-los em outra linha de produtos, como estratégias de minimização de problemas ou de diferenciação de produtos.

Um problema comum na reciclagem do papel é que os finos dessa reciclagem costumam ser ricos em agentes “anti-ligantes” (“debonders”), como pigmentos de tintas, cargas minerais, polímeros, “pitch”, etc. Há situações onde essa condição é tão intensa que os finos celulósicos perdem muito de seu valor como agentes de ligação entre fibras. Quando isso ocorre, a alternativa é separar os finos celulósicos e fibras pequenas de suas impurezas (via destintamento, solubilização do “pitch”, etc.). Devem-se portanto executar ações para remoção das contaminações e agentes anti-ligantes do sistema de fabricação do papel.

Para completar ainda mais esse quadro de difícil gestão, os finos celulósicos terciários vão estar juntos a fibras relativamente danificadas e fracas. Todos juntos serão encaminhados novamente para refino da massa, o que causa a geração de novos e abundantes finos (seriam agora finos quaternários?). Independentemente da questão semântica, o certo é que os finos celulósicos são parte viva e ativa em qualquer fábrica de papel. Sua presença significativa é inevitável, mais ainda em fábricas baseadas na reciclagem do papel. Suas características serão sempre complexas e difíceis

de monitorar e gerenciar. Por essas razões que muitos papeleiros têm pesadelos em relação aos finos e preferem jogá-los fora do que reciclá-los. Esse tipo de comportamento é muito comum em fábricas de papéis reciclados. Entretanto, temos que aceitar que os finos celulósicos muitas vezes estão tão contaminados de outros produtos problemáticos que a fábrica precisa realizar limpezas e "boil-outs" como forma de minimizar os problemas resultantes desse nível exagerado de contaminantes.



Finos e partículas de "stickies" (contaminante pegajoso)

Fonte: Fabri e colaboradores, 2009



GESTÃO DOS FINOS EM FÁBRICAS DE CELULOSE DE MERCADO

As polpas de mercado possuem basicamente finos primários em sua constituição, apesar de serem encontrados também uma certa e pequena proporção de finos fibrilares causados pelas ações mecânicas ao longo de todo o processo de conversão.

Sabe-se que os finos primários possuem menor capacidade de promover ligação entre fibras que os finos secundários ou terciários. Isso porque sua área superficial é significativamente menor (5 a 10 vezes menor que a dos finos secundários ou terciários). Entretanto, esses finos primários também podem-se converter em finos secundários na refinação da massa.

Da mesma forma que na fabricação do papel, os finos primários se acumulam nos sistemas de água branca nas máquinas de formação da folha da celulose. Quando a polpa é vendida, eles caminham para as máquinas dos clientes, que estão muito atentos a isso também.

Por isso tudo, a necessidade de se avaliar e monitorar as quantidades e qualidades dos finos nas polpas de mercado.

O gerenciamento de finos em fábricas de celulose de mercado é relativamente simples. Não são comuns os problemas que os fabricantes de papel enfrentam devido aos finos. Não existe aqui a tal de química da parte úmida; a retenção de finos e fibras é alta devido à alta gramatura da folha de celulose, os contaminantes são em pequena quantidade devido à alta pureza das polpas, etc.

Entretanto, pode-se perfeitamente orientar a gestão de finos celulósicos nas polpas de mercado para dois tipos de situações, ambas com foco mercadológico:

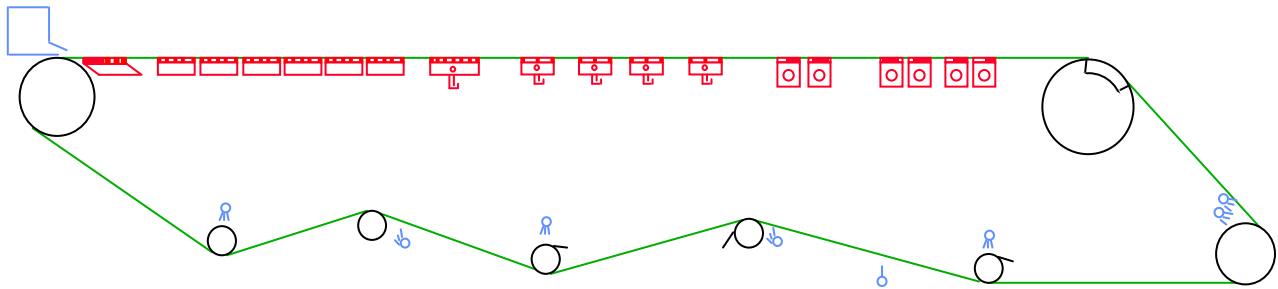
Situação 01: redução ou aumento do teor de finos primários de forma a diferenciar produtos

Quando o objetivo for a redução da quantidade de finos da polpa de mercado, existem diversas alternativas a serem trabalhadas, tais como:

- através do melhoramento da qualidade da madeira, buscando a redução da proporção relativa de células dos parênquimas radial e axial. Em parte, isso pode ser avaliado pelas relações existentes entre teor de parênquima e outras características da madeira, como por exemplo, a densidade básica.
- Redução do teor de casca que acompanha os cavacos ao digestor. Com isso, pode-se reduzir o teor de células indesejáveis de súber, parênquimas da casca e floema, que de forma geral pioram a qualidade da celulose de mercado
- Redução do nível de repolpeamento de “broke” interno (fardos desclassificados, folhas devido a quebras, etc.)
- Gestão da água branca

Dedicaremos um pouco mais de atenção ao gerenciamento das águas brancas, pois elas oferecem interessantes oportunidades aos fabricantes de celulose, em especial quando possuem mais de uma máquina de formação e secagem de folhas.

Iniciaremos essa conversa, elaborando um pequeno balanço de finos em uma máquina hipotética de formar folhas de celulose



Base: 1 tonelada de massa absolutamente seca

Consistência na caixa de entrada = 1,25%

Consistência da água branca total extraída da área úmida = 0,03%

Consistência da folha úmida após prensagem = 50%

Para simplificação desse balanço, vamos adotar as seguintes hipóteses:

- O fechamento do circuito de água branca é integral para os finos; ou seja, não existem perdas de finos, pois a água branca é totalmente reciclada ou para o próprio setor de máquina, ou para ir "buscar" polpa na seção do branqueamento da celulose;
- A quantidade de água removida é tão grande que os finos presentes nela praticamente não afetam o seu volume; podendo então o volume de água branca ser considerado como o volume de água extraída da folha;
- A presença de finos e fibras não interfere na densidade da água branca, que pode ser considerada como sendo igual a 1 g/cm³.

Ficamos então com os seguintes cálculos e dados:

- Peso seco na entrada da tela = 1 tonelada a.s.
- Peso total na caixa de entrada por tonelada de polpa seca = 80 t
- Peso de água na caixa de entrada por tonelada de fibra seca = 79 t
- Peso de água + polpa após saída da prensa = 2 t (aproximadamente)
- Peso de água na folha após prensa = 1 t
- Peso de água branca removida = 78 t
- Peso de fibras+finos drenados para água branca = $78 \times 0,03/100 = 0,0234$ t

Percebe-se que realmente a presença de finos e fibras é pequena nesse tipo de água branca e que as hipóteses adotadas não comprometem os resultados.

A retenção é bastante elevada nesse tipo de máquinas, pois se trabalha com consistência acima de 1% na caixa de entrada e a gramatura da folha é elevada (cerca de 800 a 1000 gramas por metro quadrado).

- Retenção de massa total = $100 \cdot (1 - 0,0234) / 1 = 97,66\%$

A avaliação do teor de finos nessas três posições revela o seguinte:

Teor de finos determinados via vaso dinâmico de drenagem – tela de 200 mesh:

- Caixa de entrada da mesa plana = 10,5%
- Folha de polpa após prensa úmida = 8,35%
- Água branca da máquina = 40%

Esses resultados mostram que existe uma acumulação de finos no sistema de água branca. Isso explica porque o teor de finos na caixa de entrada é cerca de 2,15% maior do que na folha pronta (base peso seco de polpa). Mostram ainda que muitas fibras (60% dos secos da água branca) percolam através da tela formadora da máquina.

Quanto maior o fechamento do sistema, maior será a presença de finos na água branca. Há situações onde esse teor atinge 50% ou mais, mesmo para fábricas de polpa de mercado.

O acúmulo de finos acontece de forma gradual e contínua no sistema da máquina até atingir o equilíbrio, que ocorre no momento em que a massa que sai do branqueamento possui o mesmo teor de finos base seca da folha que deixa a máquina de secagem. Para o nosso exemplo, onde não ocorrem hipoteticamente outras perdas de finos, significa que a polpa saiu da linha de branqueamento com um teor de finos de 8,35%, mas se enriqueceu de finos na caixa de entrada pela recirculação da água branca. Nesse caso, o sistema está estável e em equilíbrio. Qualquer drenagem, ou interrupção da operação, poderá alterar esse equilíbrio, o qual será de novo alcançado pouco mais tarde, nesse ou em outro patamar.

De qualquer forma, a conclusão é simples, a concentração de finos primários em máquinas de celulose existe, mas ela não é tão grande como em máquinas de papel.

Caso essa água branca seja filtrada e seus sólidos enviados para uma outra linha de produção de polpa, estaremos alterando as proporções de finos nessas duas polpas – uma terá ganhado finos e a outra, perdido. As proporções em peso vão variar com as relações de produção das duas máquinas. Trata-se de uma medida simples para se gerenciar finos,

alterando as proporções dos mesmos nas polpas, diferenciando-as em qualidade (nesse quesito e provavelmente em suas qualidades de refino, a depender de quanto se obtiver de variação no teor dos finos primários).

Situação 02: geração e introdução de finos secundários na polpa para diferenciar qualidade aos clientes

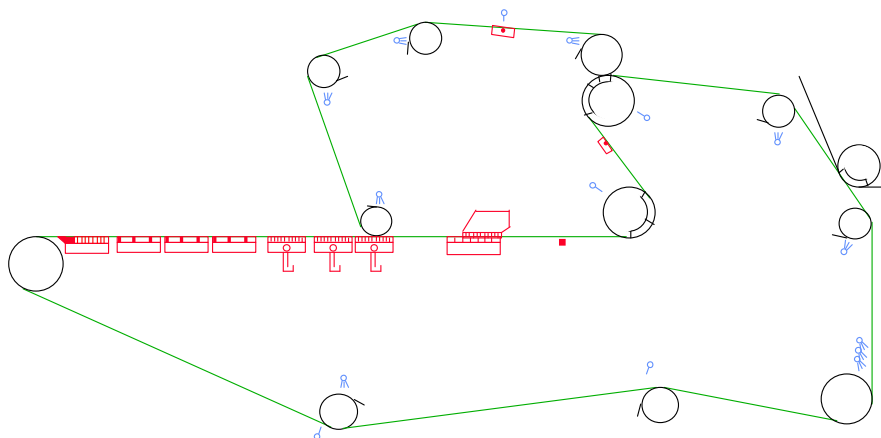
O teor de finos secundários fibrilares pode definitivamente diferenciar uma celulose de mercado de outras. Depende de como o usuário encarar isso como vantagem. Para fabricantes de papel “tissue”, polpa com teor elevado de finos poder ser indesejada. Entretanto, esse mesmo usuário pode receber uma polpa contendo maior teor de finos secundários e por essa razão, ter dispensada a necessidade de refinar a mesma em suas instalações. Ele a trataria como se fosse uma polpa pré-refinada.

Existem duas maneiras fáceis para se obter esse tipo de ganho em teor de finos secundários:

- Pela filtração da água branca para coleta do material que passa através da tela (finos e fibras), conduzindo a seguir essa massa para ser refinada em refinador cativo. Isso pode ser feito até mesmo com recirculações de massa ao refinador, para máxima formação de finos secundários. Em realidade, a quantidade de massa a ser refinada não é grande em relação à massa total. Essa massa refinada e com muitos finos fibrilares poderia ser reconduzida ao sistema (via caixa de entrada) para enriquecer a polpa de mercado com finos secundários. Com isso, as propriedades de ligação da polpa seriam melhoradas, mesmo que os finos secundários sejam secados na folha e depois re-hidratados na fábrica do cliente.
- Pelo uso de finos coletados em máquina de papel para aumentar os finos secundários na fabricação de celulose. Isso tem pouca praticidade para os fabricantes de polpa branqueada de mercado de eucalipto, a menos que eles estejam associados a uma fábrica de papel “tissue”. Nos outros casos, a presença de cargas minerais e de cola, látex, etc., impediria essa reciclagem, pois afetaria negativamente outras qualidades da polpa de mercado. Entretanto, para fabricantes de celulose de mercado de fibra longa não-branqueada, que estejam associados à produção de papel de embalagem kraft (sacos ou papel “linerboard”), pode-se converter em uma alternativa a ser estudada.

=====

GESTÃO DOS FINOS EM FÁBRICAS DE PAPEL



A gestão de finos nas fábricas de papel torna-se cada vez mais uma exigência técnica, econômica e ambiental. Um dos grandes objetivos de todo bom papeleiro nos dias de hoje é a redução do consumo específico de água na sua fábrica. Com essa meta como prioridade, o papeleiro precisa necessariamente se preparar para realizar um eficiente gerenciamento de seus finos de processo, senão terá enormes dores de cabeça e vai dormir muito mal suas noites.

Já vimos que os teores de finos são enormes nas águas e nas massas de fábricas de papel. Eles serão mais abundantes ainda em fábricas que refinam bem a massa e que utilizam altas dosagens de cargas minerais em suas receitas. Também a gramatura influencia na recirculação de finos, sendo tanto menor a retenção, quanto menor for a gramatura. É o caso de papéis "tissue", seda, glassine, etc.

Os teores de finos nas caixas de entrada de máquinas de papel variam entre 35 a 50%, sendo maiores ainda em fábricas de papel de baixa gramatura.

Conforme a proporção de cargas minerais utilizadas na receita do papel, a proporção de finos minerais sobre o total de finos pode chegar a valores entre 40 a 65% do peso. Ou seja, há muitas situações onde estamos muito mais recirculando cargas minerais do que finos celulósicos.

As águas brancas das máquinas de papel são riquíssimas em finos, maior ainda quando o papel contém cargas minerais. São comuns teores de finos entre 80 a 95% (base material seco) nas águas brancas de máquinas de papel branco, com mais de 50% sendo constituído de cargas minerais. Já nas águas brancas de caixas de vácuo e da prensagem a úmido, os valores de finos alcançam nada mais nada menos do que 95 a 99% do total dos sólidos secos presentes.

Qualquer programa de gerenciamento de finos em uma fábrica de papel deve ter os seguintes objetivos:

- Minimizar a geração de finos celulósicos, através adequada refinação da massa e minimização de reciclagem de refugos internos;
- Recuperar e não jogar fora os finos de processo, quer sejam os finos celulósicos, como os minerais;
- Reter e distribuir o melhor possível os finos dentro da folha de papel (direção Z e superfícies);
- Evitar perdas de qualidade da folha de papel e de produtividade da máquina de fabricação;
- Reduzir perdas econômicas;
- Aumentar a ecoeficiência das operações, pelo menor consumo de água, de energia e gerando menos poluição hídrica e de resíduos sólidos.

As principais estratégias para isso envolvem:

- Identificar e quantificar os finos do sistema;
- Entender a composição de cada tipo de finos, tanto de seus constituintes celulósicos, como cargas, resinas, contaminantes químicos, etc.;
- Descobrir a origem de cada tipo de finos e estudar formas de otimizar cada setor para evitar as perversidades que o excesso de finos possa causar, mas também para ter ganho nas vantagens que os finos oferecem (ligações entre fibras, peso na produção, etc.);
- Desenvolver métodos adequados para se refinar a polpa, que desenvolvam resistências sem gerar excessivos finos e sem causar danos demasiados às fibras. Hoje são comuns os discos de refinação para eucalipto com baixíssimas ("ultra-low") intensidades de refino (menor que 0,1 W.s/m) e lâminas muito finas (cerca de 1,3 – 1,5 mm e no máximo 1,8 mm de espaçamento, sem "dams").
- Monitorar constantemente a presença e quantidades de finos, comparando os valores com os estabelecidos como melhores práticas operacionais para cada tipo de produto;

- Controlar para que seja adequada e constante a quantidade de finos indo para cada máquina de papel (via segregação, fracionamento, adição controlada, etc.);
- Manter o nível de finos celulósicos dentro dos limites adequados para desenvolvimento de ligações entre fibras e demais qualidades do papel;
- Manter o nível de finos abaixo dos limites que possam causar problemas para a operação da máquina de papel (drenagem, desaguamento, retenção, consumo de vapor, entupimento de vestimentas, etc.).

A gestão dos finos deve ser sempre feita em associação com a gestão da recuperação de fibras e de águas das máquinas.

Muitas vezes, o sistema de uma determinada máquina de papel pode estar sobrecarregado e os finos causando grandes problemas e maldades. Cabe ao papeleiro buscar alternativas para redirecionar esses finos separados na recuperação de fibras+finos para outras linhas menos sensíveis a eles em sua fábrica. Com isso, ele estará minimizando os problemas na máquina com gargalos operacionais, mas usando esse material em outras, sem perdê-los como poluição e perdas econômicas.

Muitas fábricas de papel produzem diferentes produtos em distintas máquinas e de forma simultânea. Com um estudo criterioso das influências dos finos recuperados em cada uma dessas linhas de produção, podemos perfeitamente trabalhar de forma que um produto absorva os finos problemáticos de outro, sem comprometimento negativo da qualidade e produtividade.

Portanto amigos, soluções e alternativas existem. Lembrem-se apenas que não podemos nunca esquecer de conversar com nossas máquinas e produtos para melhor atuar sobre eles, desenvolvendo oportunidades e minimizando ameaças. Com isso, poderemos com mais sucesso alcançar os níveis de ecoeficiência e sustentabilidade almejados pelo nosso setor.



Minimizar geração de finos também significa adequada refinação da massa, não é mesmo? Fonte: <http://www.aikawagroup.com/html/finebar.html>



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até hoje os fabricantes de papel têm encarado a gestão de finos muito mais como uma gestão de problemas do que de oportunidades. Reconhecemos que uma inadequada atenção aos finos celulósicos nos processos de fabricação do papel, qualquer que seja o tipo fabricado, pode representar um somatório de aspectos negativos para a boa performance operacional. Entretanto, existem duas verdades inquestionáveis nisso tudo. A primeira é que os finos celulósicos existem e sua presença percentual nas polpas e massas que alimentam as máquinas de papel são em proporções apreciáveis. A segunda é que eles são vitais para os processos de ligação entre fibras, exatamente a base fundamental para o desenvolvimento de resistências da folha de papel em condições de fabricação do papel com base no uso da água. Por isso, sugerimos a dupla ótica de encarar os finos como ameaças e oportunidades, como sempre é mais recomendável em todas as avaliações de estratégias empresariais.

Através de adequado monitoramento, controle, gestão e de muito conhecimento técnico podemos potencializar o desenvolvimento de portfólios diferenciados nos produtos papeleiros. Com isso, ao mesmo tempo que minimizamos os problemas operacionais que os finos adicionam aos processos, podemos alavancar os aspectos positivos que eles oferecem para as propriedades dos papéis.

Esse nosso capítulo objetiva exatamente isso - esclarecer a comunidade papeleira sobre os diversos ângulos pelos quais precisamos enxergar os finos celulósicos; oferecer e disponibilizar um significativo número de boas referências bibliográficas para aumento dos conhecimentos nesse tema; e finalmente, atizar e aguçar a criatividade de nossos técnicos do setor de celulose e papel para que passem a fazer uma gestão mais ecoeficaz dos finos do processo. Ao invés de apenas conviver com os finos, procurando se livrar dos pontos negativos que eles trazem em algumas situações, vamos nos parcerizar com eles, entendê-los melhor e obter de sua presença inevitável em nossos processos os benefícios que eles também podem oferecer ao nosso trabalho.

Boa leitura, bons estudos, sucessos e boa sorte nessa gestão.

=====

REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA



Meus amigos, a seguir, estou lhes disponibilizando cerca de 120 textos que guardam relação direta com o que apresentamos nesse capítulo. Muitos desses textos, que são altamente relevantes, podem ser obtidos para leitura ou downloading (total ou resumo) via Web. Outros, mais antigos, ainda da era pré-Internet, só mesmo em bibliografias como revistas, livros ou palestras encontrados em bibliotecas especializadas.

É muito importante que vocês procurem navegar e ler alguns desses documentos. Eles nos esclarecem e complementam com seus textos, figuras e fotos muito daquilo que lhes apresentei nesse capítulo de nosso **Eucalyptus Online Book**.

Divirtam-se navegando e aprendam muito com nossos autores e textos selecionados.

Almeida, D.M.; Sevrini, G.I.; Leodoro, L.M.; Faez, M.S.; Reguera Souto, M.; Kaneko, S.Y. **Tratamento mecânico de fibra curta de eucalipto utilizando discos de refino com maior comprimento efetivo de corte.** 38º Congresso Anual ABTCP - PI. Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 25 slides. (2005)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2008_Finebar%20VCP%20ABTCP%202005.pdf

Alves, E.F.; Oliveira, R.C.; Silva, L.H.M.; Colodette, J.L. **Interação de fibras e elementos de vasos de polpa kraft de eucaliptos com tintas de impressão offset.** O Papel (Março): 54 – 70. (2007)
Disponível em:
http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2001_artigo%20tese%20impress%E3o%20%C9ricka%20Alves.pdf

Ammala, A. **Fractionation of thermomechanical pulp in pressure screening. An experimental study on the classification of fibres with slotted screen plates.** Dissertação Acadêmica. University of Oulu. 107 pp. (2001)

Disponível em:

<http://herkules.oulu.fi/isbn951425919X/isbn951425919X.pdf>

Araújo, J.A.; Unbehend, J.E. **Finos celulósicos catiônicos no gerenciamento da química a úmido**. 25º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 39 pp. (1992)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2003_finos%20celulosicos%20cationicos%20Jo%E3o%20Alfredo%20Araujo.pdf

Bäckstrom, M.; Brännvall, E. **Effect of primary fines on cooking and TCF-bleaching**. Nordic Pulp and Paper Research Journal 14(3): 209 – 213. (1999)

Bambacht, J.P.; Hsu, T.H.; Unbehend, J.E. **Analysis of fines fractions and their influence on sheet properties**. ESPRI Reports. Syracuse. (Sem referência de fonte e data)

Bambacht, J.P.; Nakajima, K. **Effect of wet pressing on fines distribution. Part 1. A study of effects of pressing variables**. ESPRI Reports. Syracuse. (Sem referência de fonte e data)

Bambacht, J.P.; Nakajima, K. **Effect of wet pressing on fines distribution. Part 2. Experimental method**. ESPRI Reports. Syracuse. (Sem referência de fonte e data)

Bamber, R.K. **The wood anatomy of eucalypts and papermaking**. Appita 38(3): 210 – 216. (1985)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=9248608>

Barnett, D.; Grier, L. **Mill closure forces focus on fines retention, foam control**. Journal of Pulp and Paper 70(4): 89 - 95. (1996)

Bergström, J. **Flow field and fibre fractionation studies in hydrocyclones**. Ph.D. Thesis. Royal Institute of Technology. 67 pp. (2006)

Disponível em:

<http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:11075/FULLTEXT01>

Blomstedt, M.; Kontturi, E.; Vuorinen, T. **Modificação da superfície da polpa de eucalipto por carboximetilcelulose: efeitos nas propriedades das fibras e na resistência das folhas**. O Papel (Junho): 51 – 63. (2007)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2004_finos%20fibras%20e%20cmc.pdf

Braaten, K.R.; Wakelin, R.F. **Fiber length fractionation of TMP using pressure screens**. Tappi Journal 82(6): 129 – 135. (1999)

Disponível em:

<http://tappi.micronexx.com/JOURNALS/PDFS/99JUN129.pdf>

Britt, K.W.; Unbehend, J.E. **The significance of fines balance for paper properties**. ESPRI Reports. Syracuse. (Sem referência de fonte e data)

Britt, K.W.; Unbehend, J.E. **Water removal and fines retention in papermaking**. ESPRI Reports. Syracuse. (Sem referência de fonte e data)

Britt, K.W.; Unbehend, J.E. **Fiber fractionation in paper machine systems**. TAPPI Papermakers Conference. p. 271 – 277. (1985)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=8409174>

Byrd, V.L. **How bonds develop during web consolidation**. Paper Technology and Industry 27(6): 240 – 249. (1986)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=7985228>

Campos, E.S.; Martins, M.A.L.; Foelkel, C.E.B.; Frizzo, S.M.B. **Seleção de critérios para a especificação de pastas celulósicas branqueadas de eucaliptos na fabricação de papéis de impressão offset**. Ciência Florestal 10(1): 57 – 75. (2000)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ciencia_florestal/sele%E7%E3o%20de%20crit%E9rios%202000.pdf

Carpim, M.A.; Barrichelo, L.E.G., Claudio-da-Silva Jr., E.; Dias, R.V. **A influência do número de fibras por grama nas propriedades óticas do papel**. 20º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. p. 183 – 205. (1987)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/08_n%FAMero%20fibras%20carpim.pdf

Carvalho, M.G.; Martins, A.A.; Figueiredo, M.M. **Fracionamento de pasta kraft de eucalipto: caracterização físico-química e desempenho papeleiro**. XV Congresso Nacional da Tecnicelpa. p. 220-229. (1996)

Disponível citação em:

<http://ww2.eq.uc.pt/Members/mgc/mariagc>

Carvalho, M.G.; Martins, A.A.; Figueiredo, M.M. **Fracionamento de pasta kraft de eucalipto: caracterização físico-química e desempenho papeleiro**. O Papel (Julho): 83 – 86. (1997)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2007_Fracionamento%20de%20pasta%20eucalipto.pdf

Corson, S.R.; Flowers, A.G.; Morgan, D.G.; Richardson, J.D. **Paper structure and printability as controlled by the fibrous elements**. TAPPI Journal 3(6): 14 – 17. (2004)

Disponível resumo em:

http://www.tappi.org/s_tappi/sec_publications.asp?CID=4641&DID=512441

Costa, M.M.; Borges, C. **Teor de extrativos em frações fibrosas da polpa solúvel marrom de *Eucalyptus citriodora*, para alguns solventes orgânicos neutros**. Riocell DTA. Nota Técnica nº 1162. 11 pp. (1995)

El-Sharkawy, K. **Different approaches to tailoring chemical pulp fibres**. Ph.D. Thesis. Helsinki University of Technology. 64 pp. (2008)

Disponível em:

<http://lib.tkk.fi/Diss/2008/isbn9789512296224/isbn9789512296224.pdf>

Erothides, J. **A influência das telas e feltros na qualidade do papel**. ANAVE. Apresentação em PowerPoint: 59 slides. Fórum ANAVE. (2004)

Fabry, B.; Delagoutte, T.; Kumar, S.; Guyard, A. **From industrial macro-stickies mapping to the identification of mini-stickies**. 42º Congresso Anual ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 38 slides. (2009)

Ferreira, C.R.; Fantini Jr.; M.; Colodette, J.L.; Gomide, J.L.; Carvalho, A.M.M.L. **Avaliação tecnológica de clones de eucalipto. Parte 1 – Qualidade da madeira para produção de celulose kraft**. Scientia Forestalis 70: 161 – 170. (2006)

Disponível em:

<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr70/cap16.pdf>

Ferreira, C.R.; Fantini Jr.; M.; Colodette, J.L.; Oliveira, R.C.; Gomide, J.L.; Carvalho, A.M.M.L. **Avaliação tecnológica de clones de eucalipto. Parte 2 – Qualidade da celulose branqueada kraft para papel de imprimir e escrever**. Scientia Forestalis 71: 09 – 18. (2006)

Disponível em:

<http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr71/cap01.pdf>

Ferreira, P.J.; Henriques, R.A.; Figueiredo, M.M. **Influência dos finos da refinação nas propriedades de pastas kraft de *E.globulus***. Proceedings XVIII Encontro Nacional Tecnicelpa. p. 41-49. (2001)

Disponível citação em:

http://www.eq.uc.pt/centro/Sci_prod.HTM

Ferreira, P.J.; Martins, A.A.; Figueiredo, M.M. **Primary and secondary fines from *Eucalyptus globulus* kraft pulps. Characterization and influence.** Paperi ja Puu – Paper and Timber 82(6): 403 – 409. (2000)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=1475178>

Ferreira, P.J.; Matos, S.; Figueiredo, M.M. **Size characterization of fibres and fines in hardwood kraft pulps.** Particle and Particle Systems Characterization 16(1): 20 – 24. (1999)

Disponível resumo em:

<http://www3.interscience.wiley.com/journal/62502579/abstract?CRETRY=1&SRETRY=0>

Fleming, D. **Fiber and bonds.** Western Michigan State University. Apresentação em PowerPoint: 77 slides. (Sem referência de data)

Disponível em:

<http://www.wmich.edu/pci/staff/courses/fleming/Lec2.ppt>

Florsheim, S.M.B.; Couto, H.T.Z.; Lima, I.L.; Longhi, E.L. **Variação nas dimensões dos elementos anatômicos da madeira de *Eucalyptus dunnii* aos sete anos de idade.** Revista do Instituto Florestal 21(1): 79 – 91. (2009)

Disponível em:

http://www.iflorestal.sp.gov.br/publicacoes/Revista_if/RIF%2021-1/Varia%C3%A7%C3%A3o%20nas%20dimens%C3%B5es...PDF

Foelkel, C. **As fibras dos eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose kraft para a fabricação de papel.** Eucalyptus Online Book. Capítulo 03. 48 pp. (2007)

Disponível em:

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT03_fibras.pdf

Foelkel, C. **Ecoeficiência na gestão das perdas de fibras de celulose e do refugo gerado na fabricação do papel.** Eucalyptus Online Book. Capítulo 06. 97 pp. (2007)

Disponível em:

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT06_fibras_refugos.pdf

Foelkel, C. **Propriedades papeleiras das árvores, madeiras e fibras celulósicas dos eucaliptos.** Eucalyptus Online Book. Capítulo 14. 111 pp. (2009)

Disponível em:

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT14_PropPapeleiras.pdf

Furlan, W.A. **Fracionamento de fibras: conceito, função e operação.** ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 14 pp. (1985)

Garcia, D.A. **A influência da formação nas características físicas e mecânicas do papel.** ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 15 pp. (1995)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2005_forma%E7%E3o%20papel.pdf

Gooding, R.W.; Olson, J.A. **Fractioning in a Bauer-McNett classifier.** Journal of Pulp and Paper Science 27(12): 423 – 428. (2001)

Disponível em:

http://www.api.ubc.ca/people/olson/01-12-05_OlsonGooding_JPPS_Bauer.pdf

Gooding, R.; Olson, J.; Roberts, N. **Parameters for assessing fiber fractionation and their application to screen rotor effects.** TAPPI Journal 3(3). 20 pp. (2004)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=15693890>

Goulet, M.; Stratton, R. **The effect of pulping, bleaching and refining operations on the electrokinetic properties of wood fiber fines.** Ph.D. Thesis. Institute of Paper Science and Technology. 162 pp. (1989)

Disponível em:

http://smartech.gatech.edu/bitstream/1853/5552/1/goulet_mt.pdf

Guay, D.; Sutherland, N.R.; Rantanen, W.; Malandri, N.; Stephens, A.; Mattingly, K.; Schneider, M. **Comparison of fiber length analysers.** TAPPI Practical Papermaking Conference. 30 pp. (2005)

Disponível em:

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf2005/fpl_2005_guay001.pdf

Han, S.T.; Chang, N.L. **Retention of fines in fiber mats.** Tappi Journal 52(4): 688 – 693. (1969)

Hawes, J.M.; Doshi, M.R. **The contribution of different types of fines to the properties of handsheet made from recycled paper.** TAPPI Pulping Conference. p. 613 – 620. (1986)

Disponível em:

<http://smartech.gatech.edu/bitstream/1853/2601/1/tps-178.pdf>

Heikkurinen, A.; Levlin, J.E.; Paulapuro, H. **Principles and methods in pulp characterization – basic fiber properties.** Paperi ja Puu – Paper and Timber 73(5): 411 – 417. (1991)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=19663821>

HERCULES. **Gerenciamento de finos: os pequenos que podem causar um grande impacto.** Workshop “Redução do Uso de Água Fresca – Fechamento de Circuito”. Apresentação em PowerPoint: 23 slides. (2001)

Hinck, J.F.; Wallendahl, U. **Improving sulfite pulp quality and mill operations through the removal of fines.** 1999 TAPPI Pulping Conference. 08 pp. (1999)

Disponível resumo em:

http://www.tappi.org/s_tappi/doc_bookstore.asp?CID=5219&DID=514878

Howland, P. **Stock fractionation potentialities.** Paper 9 April. p. 24 – 26. (1984)

Htun, M.; Ruvo, A. **The implication of fines fraction for the properties of bleached kraft sheet.** Svensk Papperstidning 16: 507 – 510. (1978)

Hubbe, M.A.; Venditti, R.A.; Rojas, O.J. **What happens to cellulosic fibers during papermaking and recycling? A review.** BioResources 2(4): 739 – 788. (2007)

Disponível em:

http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_02/BioRes_02_4_739_788_Hubbe_VR_Recycling_Cellulosic_Fibers_Review.pdf

Jiang, Z.H.; Faubert, M.; Lierop, B.; Berry, R. **Heterogeneous distribution of organic chlorine in bleached pulp among fine and fibre fractions.** Journal of Pulp and Paper Science 32(1): 23 – 27. (2006)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=17766318>

Johnston, R.E; Li, M.; Waschl, R. **Eucalypt fibre size fractions: modelling and measuring their effect on sheet properties.** Appita Journal 50(4): 307 – 312; 318. (1997)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2761361>

Joy, E.; Rintamaki, J.; Weckroth, R.; Tuomelai, P. **Ultra-low intensity refining of short fibered pulps.** African Pulp and Paper Week. (2004)

Disponível em:

http://www.tappsa.co.za/archive2/APPW_2004/Title2004/Ultra-low_intensity_refining/ultra-low_intensity_refining.html

Kallmes, O.J.; Kallmes, P. **The “stock quality monitor”, a new approach to measuring fines.** 81º CPPA Annual Meeting. p. B225 – B231. (1996)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2704364>

Kang, T.; Paulapuro, H. **Characterization of chemical pulp fines**. Tappi Journal 5(2): 25 –28. (2006)

Disponível em:

<http://lib.tkk.fi/Diss/2007/isbn9789512289172/article3.pdf>

Kessel, L.P.M.; Westenbroek, A.P.H. **Fibre raw material technology for sustainable production of paper and board**. Centre of Competence Paper and Board. 69 pp. (2004)

Disponível em:

http://www.senternovem.nl/mmfiles/EETK99006_tcm24-166138.pdf

Kohrs, M. **The applications for fractionation technology**. Paper Technology 33(3). p. 10-12. (1992)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=5057131>

Koran, Z. **New parameters derived from Bauer-McNett classification data**. Pulp and Paper Canada 95(10): 21 – 23. (1994)

Krogerus, B.; Eriksson, L.; Sundberg, A.; Mosbye, J.; Ahlroth, A.; Östlund, I.; Sjöström, L. **Fines in closed circuits – Final report**. KCL Finlândia. 81 pp. (2002)

Disponível em:

http://www.nordicinnovation.net/_img/fines_in_closed_circuits_final_report.pdf

Krogerus, B.; Fagerholm, K.; Tikkaja, E. **Fines from different pulps compared by image analysis**. Nordic Pulp Paper Research Journal (4): 440 – 444. (2002)

Disponível resumo em:

http://d.wanfangdata.com.cn/NSTLQK_NSTL_QK6214263.aspx

Laine, C. **Structures of hemicelluloses and pectins in wood and pulp**. Ph.D. Thesis. Helsinki University of Technology. 63 pp. (2005)

Disponível em:

<http://lib.tkk.fi/Diss/2005/isbn9512276909/isbn9512276909.pdf>

Lee, H.L.; Jung, T.M.; Youn, H.J.; Park, J.H.; Ham, C.H.; Kim, J.D. **Influence of fines on sheet delamination in Condebelt drying and recyclability of Condebelt dried linerboards**. III EcoPaperTech Conference. p. 167 – 175. (2001)

Levlin, J.E. **On the suitability of the Bauer McNett classifier for the fibre – length classification of pulps**. Paperi ja Puu – Paper and Timber 64(4): 213 – 216. (1982)

Liimatainen, H. **Interactions between fibres, fines and fillers in papermaking. Influence on dewatering and retention of pulp suspensions.** University of Oulu. 78 pp. (2009)

Disponível em:

<http://herkules.oulu.fi/isbn9789514292101/isbn9789514292101.pdf>

Lin, T.; Yin, X.; Retulainen, E.; Nazhad, M.M. **Effect of chemical pulp fines on filler retention and paper properties.** Appita Journal 60(6): 469 – 473. (2007)

Disponível citação em:

<http://direct.bl.uk/bld/PlaceOrder.do?UIN=218345693&ETOC=RN&from=searchengine>

Lindström, T.; Glad-Nordmark, G. **Chemical characterization of the fines fraction from unbleached kraft pulps.** Svensk Papperstidning 15: 489 – 492. (1978)

Lott, L.F. **Química da parte úmida.** ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 75 pp. (1965)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2009_quimica%20da%20parte%20umida%20buckman.pdf

Luis, I.; Figueiredo, M.; Martins, A.; Carvalho, G. **Influência do teor de finos nas propriedades papeleiras de pasta kraft de *Eucalyptus globulus*.** O Papel 63 (4): 83 – 89. (2002)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2010_teor%20de%20finos%20em%20E.globulus_Revista%20O%20papel.pdf

Luis, I.; Figueiredo, M.; Martins, A.; Carvalho, G. **Influência do teor de finos nas propriedades papeleiras de pasta kraft de *Eucalyptus globulus*.** XVIII Encontro Nacional da Tecnicelpa. p. 181-190. (2001)

Luukko, K. **On the characterization of mechanical pulp fines.** Paperi ja Puu – Paper and Timber 80(6): 441 – 448. (1998)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2391732>

Marton, J. **Fines and wet end chemistry.** Tappi Journal 57(12): 90 – 93. (1974)

Meyers, J.; Nanko, H. **Effects of fines on the fiber length and coarseness values measured by the Fiber Quality Analyser (FQA).** Tappi Spring Technical Conference. 08 pp. (2005)

Disponível em:

<http://www.cpbis.gatech.edu/research/findings/Effects%20of%20Fines%20on%20Fiber%20Length.pdf>

Mokfienski, A.; Colodette, J.; Gomide, J.L.; Carvalho, A.M.M.L. **A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidratos no rendimento da polpa e na qualidade do produto.** Ciência Florestal 18(3): 401- 413. (2008)

Disponível em:

<http://www.ufsm.br/cienciaflorestal/artigos/v18n3/A13V18N3.pdf>

Mosbye, J. **Fractionation and chemical analysis of fines.** EUCEPA Conference. 05 pp. (1999)

Disponível em:

http://www.chemeng.ntnu.no/research/paper/Publications/1999/Mosbye_EUCEPA-99.pdf

Mosbye, J.; Moe, S.; Laine, J. **The charge of fines originating from different parts of the cell wall.** 11^o International Symposium on Wood and Pulping Chemistry Vol. 2. p. 169 – 172. (2001)

Disponível em:

<http://www.chemeng.ntnu.no/research/paper/Publications/2001/ISWPC-Mosbye.pdf>

Moss, P.A.; Retulainen, E. **The effect of fines on fibre bonding: cross-sectional dimensions of TMP fibres at potential bonding sites.** International Paper Physics Conference. p. 97 – 101. (1995)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=2796885>

Nanko, H.; Hilmann, D.; Button, A. **WOMP – The world of market pulp.** Acesso em 10.11.2009-11-10

Disponível em:

<http://www.worldofmarketpulp.com>

http://www.tappi.org/s_tappi/doc_bookstore.asp?CID=9045&DID=554440

Olgard, G.; Axenfolk, S.I. **Fractioning of pulps with the Johnson fractionator.** Appita Journal 26(2): 123 – 130. (1972)

Olson, J.A. **Fibre length fractionation caused by pulp screening, slotted screen plates.** Journal of Pulp and Paper Science 27(8): 255 – 261. (2001)

Disponível em:

http://www.api.ubc.ca/people/olson/olson_jpps_slots.pdf

Olson, J.; Allison, B.; Friesen, T.; Peters, C. **Fibre fractionation for high porosity sack kraft paper.** Tappi Journal 84(6). 10 pp. (2001)

Disponível em:

http://www.api.ubc.ca/people/olson/sack_tappi.pdf

Ona, T.; Sonoda, T.; Ito, K.; Shibata, M.; Tamai, Y.; Kojima, Y.; Ohshima, J.; Yokota, S.; Yoshizawa, N. **Investigation of relationships between cell and pulp properties in *Eucalyptus* by examination of within-tree property variations.** Wood Science and Technology 35(3): 229 – 243. (2001)

Disponível resumo em:

<http://www.springerlink.com/content/rmv3076f27pfubmp>

Paavilainen, L. **Importance of particle size – fibre length and fines – for the characterization of softwood kraft pulp.** Paperi ja Puu – Paper and Timber 72(5): 516 – 526. (1990)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=19251707>

Paavilainen, L. **The possibility of fractionating softwood sulfate pulp according to cell wall thickness.** Appita Journal 45(5): 319 – 326. (1992)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=4668267>

Pennimann, J.G. **More on the Britt jar drainage test.** Paper Trade Journal (September 15): 41 – 42. (1979)

Pepe, L. **O fracionamento de fibras secundárias.** Nosso Papel. 03 pp. (Sem referência de data)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%2006_fracionamento%20de%20fibras%20secund%20rias.pdf

Pimley, J. **Fractionation of recycled paper and boards.** TAPPSA Journal January. p. 21 – 25. (2001)

PRM – Paper Research Materials Inc. **Description of the Britt dynamic drainage jar.** Website especializado. Acesso em 09.10.2009.

Disponível em:

<http://www.brittjar.com/product.html>

Pulkkinen, I.; Aittamaa, J.; Fiskari, J. **The effect of refining on tranverse dimension distributions of eucalypt pulp species.** III ICEP – International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp. 08 pp. (2007)

Disponível em:

<http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/Eventos/430/2PulkkinenOral.pdf>

Queiroz, S.C.S.; Gomide, J.L. **Efeito das características anatômicas e químicas na densidade básica da madeira de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. O Papel (Junho): 79 – 84. (2003)

Disponível em:

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/Arquivo%202002_artigo%20tese%20Simone%20Queiroz.pdf

RAIZ. **Características relevantes para as utilizações papleiras das pastas**. Sem paginação. Raiz - Instituto de Investigação da Floresta e Papel. Portugal. (1998)

Ratnieks, E.; Massoquete, A.; Demuner B.J.; Robinson D.; DeFoe R. **Ultra low intensity refining of *Eucalyptus* pulp for papermaking**. International Refining Seminar. TKK Finlândia. (2007)

Disponível citação em:

<http://www.tkk.fi/Units/Paper/irs2007/Programme.pdf>

Retulainen, E. **Fibre properties as control variables in papermaking? Part 1. Fibre properties of key importance in the network**. Paperi ja Puu – Paper and Timber 78(4): 187 – 194. (1996)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=3068029>

Retulainen, E.; Moss, P.; Nieminen, K. **Effect of fines on the properties of fibre networks**. Proceedings X Fundamental Research Symposium, Oxford. p. 727 – 769. (1993)

Retulainen, E.; Luukko, K.; Fagerholm, K.; Pere, J.; Laine, J.; Paulapuro, H. **Papermaking quality of fines from different pulps – the effect of size, shape and chemical composition**. Appita Journal 55(6): 457 – 49. (2002)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=14368247>

Richter, H.G.; Dallwitz, M.J. **Commercial timbers: *Eucalyptus globulus* Labill (Blue gum, “globulus”)**. Acesso em 07.11.2009.

Disponível em:

<http://delta-intkey.com/wood/en/www/myreuglo.htm>

Rocha, F.T.; Florsheim, S.M.B.; Couto, H.T.Z. **Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* aos sete anos**. Revista do Instituto Florestal 16(1): 43 – 55. (2004)

Disponível em:

http://www.iflorestal.sp.gov.br/publicacoes/Revista_if/rev16-1pdf/varia%E3%20das%20dimens%C5es.pdf

Rojas, O.J. **Fiber bonding**. North Carolina State University. Department of Wood & Paper Science. Apresentação em PowerPoint: 14 slides. (Sem referência de data)

Romero, J.; Hernando, M.; Francisco, J.L.; Pisabarro, A.; Canaval, J.; Toval, G. **Modificaciones operativas para mejorar la porosidad de las pastas de eucalipto**. CIADICYP. 08 pp. (2004)

Disponível em:

<http://www.riadicyp.org.ar/downloads/ciadi2004/TR026.pdf>

RPA Process Technology. **Why wet end industrial filtration in paper mills is important**. TAPPI Ahead of the Curve. (2005)

Disponível em:

<http://newsmanager.commpartners.com/tappiaotc/issues/2005-08-24.html>

Seifert, P.; Long, K.J. **Fiber fractionation – methods and applications**. Tappi Journal 57(10): 69 – 72. (1974)

Seth, R.S. **The measurement and significance of fines. Their addition to pulp improves sheet consolidation**. Pulp & Paper Canada 104(2): 41 – 46. (2003)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=14630200>

Sirvio, J.; Nurminen, I. **Systematic changes in paper properties caused by fines**. Pulp & Paper Canada 105(8): 39 – 42. (2004)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=16880702>

Skaar, T. **Fractionation: equipment, applications and process control**. TAPPI Pulping Conference. p. 211 – 216. (1984)

Springer, A.M.; Pires, E.C. **Combined effect of fiber fines and dissolved organics on tissue properties**. Tappi Journal 71(4): 141-144. (1988)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=7751607>

Sousa, P.E.L. **Pó superficial em papéis uncoated woodfree: um desafio aos papeleiros**. Bahia Sul Celulose. 15 pp. (Sem referência de fonte e de data)

Sutton, P.; Joss, C.; Crossely, B. **Factors affecting fiber characteristics**. (sem referência de fonte e de data).

Disponível em:

<http://www.danbell.com/uploadfiles/UploadFile/20071814273182.pdf>

TAPPI. **Fines fraction by weight of paper stock by wet screening.** TAPPI Standard T 261 cm-00. Technical Association of the Pulp and Paper Industry. (2000)

Disponível em:

http://www.tappi.org/s_tappi/doc_bookstore.asp?CID=7370&DID=517296

Truong, Y.B.; Shen, W.; Parker, I. **Effect of primary fines and surface charge of hardwood pulps on AKD sizing.** Appita Journal 56(1): 30 – 34. (2003)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=14487615>

Unbehend, J.E. **Pulp fines- Action and reaction. Part 1 – Effects on dewatering.** ESPRI Reports. Syracuse. (Sem referência de fonte e data)

Unbehend, J.E.; Britt, K.W. **Effects of fines content and flocculation on dewatering – A comparison of pilot machine and laboratory measuments.** ESPRI Reports. Syracuse. (Sem referência de fonte e data)

Vollmer, H.; Fredlund, M.; Grundström, K.J. **Characterization of fractionation equipment.** III EcoPaperTech Conference. p. 27-35. (2001)

Xu, Y.; Pelton, R. **A new look at how fines influence the strength of filled papers.** Journal of Pulp and Paper Science 31(3): 147 – 152. (2005)

Disponível resumo em:

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=17159586>

Wandelt, P.; Tarnawski, W.Z.; Perlinska-Sipa, K. **Possibilities for upgrading OCC pulp by its refining and fines management.** Paperi ja Puu – Paper and Timber 87(4): 265 – 269. (2005)

Disponível citação em:

<http://runners.ritsumei.ac.jp/cgi-bin/swets/hold-query-e?mode=1&key=&idxno=21007927>

Wang, X. **Improving the papermaking properties of kraft pulp by controlling hornification and internal fibrillation.** Ph.D. Thesis. Helsinki University of Technology. 51 pp. (2006)

Disponível em:

<http://lib.tkk.fi/Diss/2006/isbn9512282313/isbn9512282313.pdf>

Waterhouse, J.F. **Utilization of recycled fibers. Improved utilization of recycled fines.** Institute of Paper Science and Technology. 92 pp. (1994)

Disponível em:

http://smartech.gatech.edu/bitstream/1853/510/1/F00901_000_121994.pdf

Waterhouse, J.F.; Omori, K. **The effect of recycling on the fines contribution to selected paper properties.** X Fundamental Research Symposium Oxford. 35 pp. (1993)

Disponível em:

<http://smartech.gatech.edu/bitstream/1853/2032/1/tps-477.pdf>

Woo, K.; Jang, H.F.; Huntley, S.; Drummond, J.; Lawrence, V.; Gomes, F. **From forest to product: new solutions for rapid, comprehensive wood and fibre analyses.** III ICEP – International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp. 12 pp. (2007)

Disponível em:

<http://www.celuloseonline.com.br/imagembank/Docs/DocBank/Eventos/430/4ShersonOral.pdf>

Zynger, L.; Barbosa, F.; Armani, E.; Furley, M.; Rocha, C.; Ojala, T. **Ripasa: modern on line wet end controls for fine paper machine – achieved benefits for runnability, speed and paper quality.** 14 pp. (2006)

Disponível em:

[http://www.metso.com/Automation/archive.nsf/WebWID/WTB-060619-2256F-ED347/\\$File/KajaaniNews_1_06.pdf](http://www.metso.com/Automation/archive.nsf/WebWID/WTB-060619-2256F-ED347/$File/KajaaniNews_1_06.pdf)