

IMPACTO DE VARIÁVEIS DE REFINO E DA ADIÇÃO DE FIBRAS VIRGENS NA RECUPERAÇÃO DA QUALIDADE DE PAPÉIS DE EUCALIPTO DECORRENTES DA RECICLAGEM

Rubens Chaves de Oliveira¹
Luciano Sabioni¹

¹Universidade Federal de Viçosa

Resumo

Neste estudo, um programa extensivo de pesquisa a nível laboratorial foi executado, tendo como objetivo, estudar o efeito da reciclagem nas propriedades de papéis obtidos de celulose kraft de eucalipto e, o potencial de restauração das perdas de propriedades com a adição de fibras virgens e procedimentos de refinação. O procedimento de reciclagem foi realizado em 4 ciclos. O procedimento de restauração das propriedades se procedeu com adição de 3 níveis de fibras virgens e 3 níveis de intensidade de refino realizados em pH 5 e 9 nas consistências de 4 e 7%. Ficou evidenciado, entre outras observações, que a queda de qualidade das fibras virgens de eucalipto, em razão da ação da reciclagem, causa significativa redução na maioria das propriedades dos papéis produzidos. As maiores perdas acontecem com o primeiro e segundo ciclo, tendendo a uma estabilização após o quarto ciclo. Porém, foi também observado que a qualidade das fibras recicladas apresentam um grande potencial de recuperação, e que se as fibras recicladas forem tratadas tecnologicamente sobre um mais adequado controle do processo de refinação, aliado ao processo de misturas com fibras virgens, as propriedades dos papéis poderão ser restauradas. Paralelamente, polpas branqueadas de eucalipto tem sido uma das mais cobiçadas pelo mercado consumidor para produção de papéis absorventes do tipo tissues, porém nestes casos a técnica de refinação não é comumente recomendada, pois são também responsáveis pela redução de propriedades estruturais da folha, as quais são fundamentais para a comercialização destes tipos de papéis e nestes casos, a adição de fibras virgens poderá contribuir para parcial restauração das propriedades.

Palavras - chave: Refino; Reciclagem; Qualidade; Papéis; Eucalipto.

1. Introdução.

Reciclagem de papéis, certamente não é uma nova atividade e vem acontecendo até mesmo dentro das próprias indústrias que utilizam fibras virgens, que dependendo das características e/ou habilidade operacionais relativas à cada fábrica, pode chegar a reciclar uma substancial quantidade de sua capacidade produtiva, quer seja, na forma de aparas ou de seu próprio produto acabado. Na realidade, este processo de reutilização já vem acontecendo desde centenas de anos atrás. Especialmente, durante tempos de grande demanda de material fibroso, aumentar a reciclagem de fibras é um método utilizado para satisfazer a crescente demanda de fibras de madeira, assim como, a de reduzir o desperdício de material o qual já é uma matéria prima em potencial.

A maioria dos papéis e seus produtos normalmente tem vida útil curta, que após sua utilização é geralmente descartado para o meio ambiente tornando-se uma fonte poluidora, mas que pode ser considerada de grande valor quando utilizada em um processo produtivo e de recuperação para a produção de muitos tipos de papéis e produtos. Devido sua potencialidade como recurso renovável e de baixos custos quando comparados com fibras virgens, papéis reciclados ou fibras secundárias tem se tornado progressivamente uma das mais importantes fontes de fibras para as indústrias papeleiras.

As razões e motivações para o crescimento da reciclagem são convincentemente demonstradas em uma publicação de Franklin do "Midwest Research Institute-USA"(1). Provavelmente, sendo um dos mais compreensivos estudos documentado do ponto de vista político, econômico, sociológico e tecnológico dos benefícios advindos da reciclagem. De

acordo com "Winscosin Consumer Packaging Council-USA"(2), a fabricação de produtos a partir de papéis reciclados, produz 74% a menos de poluição do ar e 35% a menos de poluição das águas do que os processos de produção de papéis a partir de fibras virgens. Além disso, 58% a menos de água industrial e 64% a menos de energia é consumido na fabricação de papéis a partir de fibras recicladas quando comparados com a fabricação de papéis de fibras virgens de madeira.

A reciclagem por ser uma das mais complexas e diversificadas técnicas da área de produção é algumas vezes denominadas pelos recicladores como a "arte do possível", o que basicamente, significa em fabricar os papéis novamente e novamente ..., com a mesma, similar e/ou com diferentes características da matéria prima anterior. O material é submetido à influência das consecutivas variáveis do processo de fabricação, o que contribuem para mudanças nas propriedades do produto final após cada ciclo de produção.

Embora, em bibliografias(4) publicadas em países com tecnologia mais avançada conter mais de 1100 citações relacionadas ao tópico de fibras recicladas, apenas algumas estão relacionadas à propriedades dessas fibras. No Brasil, pouco se tem publicado à respeito, principalmente relacionado à polpa de eucalipto, o que, infelizmente causa deficiência de informações técnicas para as indústrias do setor(7, 17, 18).

De acordo com o anuário estatístico publicado pela revista técnica "Pulp & Paper International"(3), o Brasil recuperou no período de 1995 e 1997 um total de 3,65 milhões de toneladas em reciclagem de papéis, o que representa 31,3 % da produção nacional de papéis. Foi também registrado um consumo de papéis reciclados de ordem similar, ou seja 3,63 milhões de toneladas. Um número bastante expressivo para as indústrias brasileiras. No Brasil, de acordo com o relatório estatístico da Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose-ANFPC(4), o superávit do setor celulósico-papeleiro de US\$928 milhões contribuiu para reduzir o déficit da balança comercial brasileira de 1996. O faturamento do setor atingiu US\$7,54 bilhões, participando com 1,0% do PIB, e gerou impostos diretos da ordem de US\$932 milhões. As vendas domésticas, incluindo o consumo próprio das empresa integradas, absorveram 59,8 e 80,4% da celulose e papel produzidos, respectivamente. Também foi verificado que em 1996, a produção nacional de papel atingiu um volume de 6,2 milhões de toneladas, representando 6,9% acima do ano anterior. O consumo de papel cresceu 10,7%, atingindo 5,9 milhões de toneladas. O consumo per capita foi de 37,3 kg, representando um crescimento de 9,4%. O crescimento do consumo de aparas nos últimos dez anos foi de 47,8%, sendo registrado um crescimento de 19,6% no consumo em 1996. Neste contexto, o Brasil ocupa a 7ª e a 11ª posição no ranking internacional dos maiores produtores mundiais de celulose e papel, respectivamente e, seus produtos são reconhecidos no país e no exterior, por sua competitividade em custos e qualidade.

No processo de reciclagem o material é submetido à influência de consecutivas variáveis do processo de fabricação, que contribuem para mudanças nas propriedades do produto final, após a utilização, em cada ciclo de produção, conseqüentemente, ocasionando perdas do potencial tecnológico dos novos papéis produzidos(12-14,18), . Em razão das perdas de propriedades, as fibras que compõem sua estrutura de formação, passam a ser denominadas "fibras secundárias", ou seja, fibras de qualidade inferior em relação às fibras virgens ou ainda não recicladas.

A crescente utilização de fibras de eucalipto nos mercados internacional e nacional é evidente e a quantidade de papéis de eucalipto disponíveis para serem reciclados demonstram o grande potencial destas fontes de fibras como matéria-prima para inúmeras indústrias nacionais(8,). O aumento da diversificação das aplicações de papéis e seus produtos tem requerido constante conhecimento sobre suas propriedades mecânicas, em vários aspectos, desde sua fabricação até a utilização final no mercado(9, 10, 11).

Portanto, com base no exposto, é que propusemos estudos, visando combinar à adição de fibras virgens com os efeitos de duas variáveis de refino como controladores do potencial de recuperação das propriedades das fibras recicladas de eucalipto, as quais têm se comportado diferentemente de outros tipos de fibras reutilizadas na fabricação de papéis.

2. Material e Métodos.

O material utilizado para este estudo foi uma polpa branqueada de eucalipto, produzida industrialmente. A polpa, em quantidade suficiente para a realização da pesquisa, foi refinada à 40°SR em moinho laboratorial do tipo jokro, para posterior formação das folhas de papéis. Os papéis foram fabricados em laboratório utilizando formadores do tipo Tappi com

sistema de retorno de água, o qual permitiu um controle mais rigoroso de finos nos procedimentos de reciclagem. Uma quantidade suficiente de papel foi produzida de tal forma que uma parte deste papel foi utilizada para a realização de testes físico-mecânicos e a outra parte foi hidratada, desagregada em polpeador laboratorial e utilizada novamente para formação de novas folhas de papéis, completando o primeiro ciclo de reciclagem. O mesmo procedimento foi utilizado para a complementação dos ciclos subsequentes. Um total de 4 ciclos foi realizado completando nosso procedimento de reciclagem. O número de quatro ciclos foi escolhido devido ao fato que as maiores perdas de propriedades ocorrem dentro dos primeiros ciclos, com tendência à estabilização após o quarto ciclo (5). Após a realização do quarto ciclo, foram introduzidos aos papéis reciclados, 3 níveis percentuais de fibras virgens (25, 50 e 75%), e que, após desagregação, foram refinados, considerando, 2 níveis de consistência (4 e 7%) e 2 níveis de pH (pH 5 e 9). Portanto, após a etapa experimental de reciclagem a pesquisa foi conduzida obedecendo um fatorial experimental de (3 adições de fibras virgens x 2 níveis de consistência x 2 níveis de pH x 4 níveis de refino), os quais perfazem um total de 48 tratamentos. Durante o tratamento experimental, foi realizado, um controle do teor de finos, que normalmente são gerados no processo de refinação, de forma a minimizar suas perdas no procedimento de reciclagem durante a fase de formação das folhas de papéis.

Durante a fase de reciclagem e para cada nível dos tratamentos experimentais, os testes foram realizados em ambiente climatizado e de acordo com as normas TAPPI(6).

O comportamento físico-mecânico dos papéis sob condições de tensão e deformação foi analisado através de uma série de testes uniaxial de tração com aplicações de forças até a ruptura total da amostra. Os testes foram realizados em equipamento do tipo *instron*, o qual nos permite controlar a taxa de aplicação de força e de deformação. A leitura dos valores das forças aplicadas se procedeu através do uso de célula de carga e, a determinação das deformações foi feita através do deslocamento da barra de tracionamento do referido equipamento, ambos os quais são conectados através de um sistema de aquisição de dados controlados por computador, o qual, inclusive, permitiu o controle automatizado do sistema responsável pela coleta de dados e derivação das propriedades. Das interrelações das curvas tensão-deformação, as seguintes propriedades foram analisadas: Tensões e deformações ao limite de proporcionalidade, módulo de elasticidade, tensões e deformações ao ponto de ruptura, índice de tração, energia de deformação-TEA.

A opacidade dos papéis foi determinada com o auxílio do equipamento ótico do tipo *data color* com aquisição de dados computadorizada.

Propriedades estruturais como gramatura, espessura, densidade e volume específico aparente foram determinadas com o auxílio de balança eletrônica e micrômetros.

As outras propriedades importantes que caracterizam o material do ponto de vista papeleiro foram determinadas conforme a seguir: Resistência a passagem de ar, lisura e Maciez foi determinada utilizando o *porosímetro de Gurley*. Índice de arrenbentamento foi determinado utilizando o equipamento do tipo *Mullen* e Índice de rasgo, utilizando o equipamento *ellmendorf*.

3. Resultados e Discussão.

3.1. Considerações Gerais.

Os resultados das propriedades físico-mecânicas dos papéis produzidos com fibras virgens e os produzidos em cada ciclo dos procedimentos de reciclagem, assim como os resultados advindos dos procedimentos de restauração de propriedades pela adição de fibras virgens às fibras recicladas e por ação da técnica de refinação são apresentados nas Tabelas 1 a 3 do Apêndice. Para facilitar a discussão dos resultados, as propriedades obtidas dos tratamentos experimentais foram arranjadas em forma de gráficos e mostradas nas Figuras 1 a 10. Nestas Figuras, pode ser observado que alterações nas propriedades com o aumento do número de ciclos dos procedimentos de reciclagem acarretam, para a maioria das propriedades, substanciais perda das propriedades dos papéis, sendo que a maior taxa de redução ocorre até o terceiro ciclo tendendo a uma estabilização nos ciclos adicionais.

O decréscimo no potencial de qualidade das fibras é atribuído às alterações das características físico-químicas das superfícies das fibras, reduzindo o potencial de formação de ligações inter-fibrilares por pontes de hidrogênio, principais responsáveis pelo

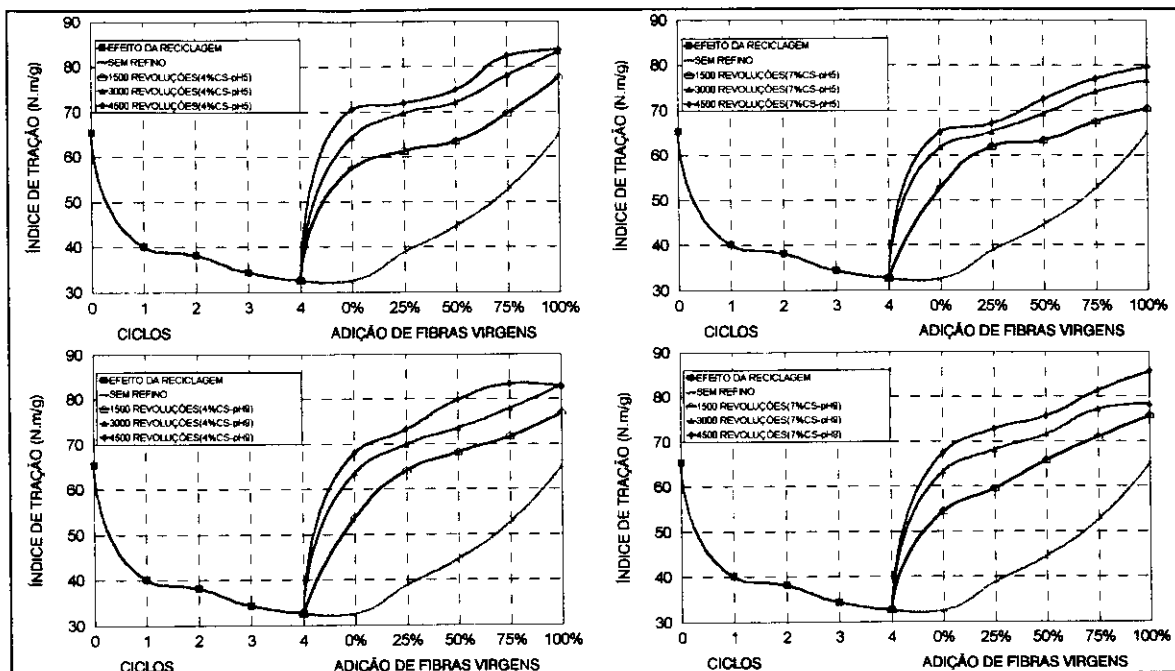


Figura 1: Efeito da reciclagem no índice de tração e, sua restauração por adição de fibras virgens e refinação em dois níveis de consistência e pH.

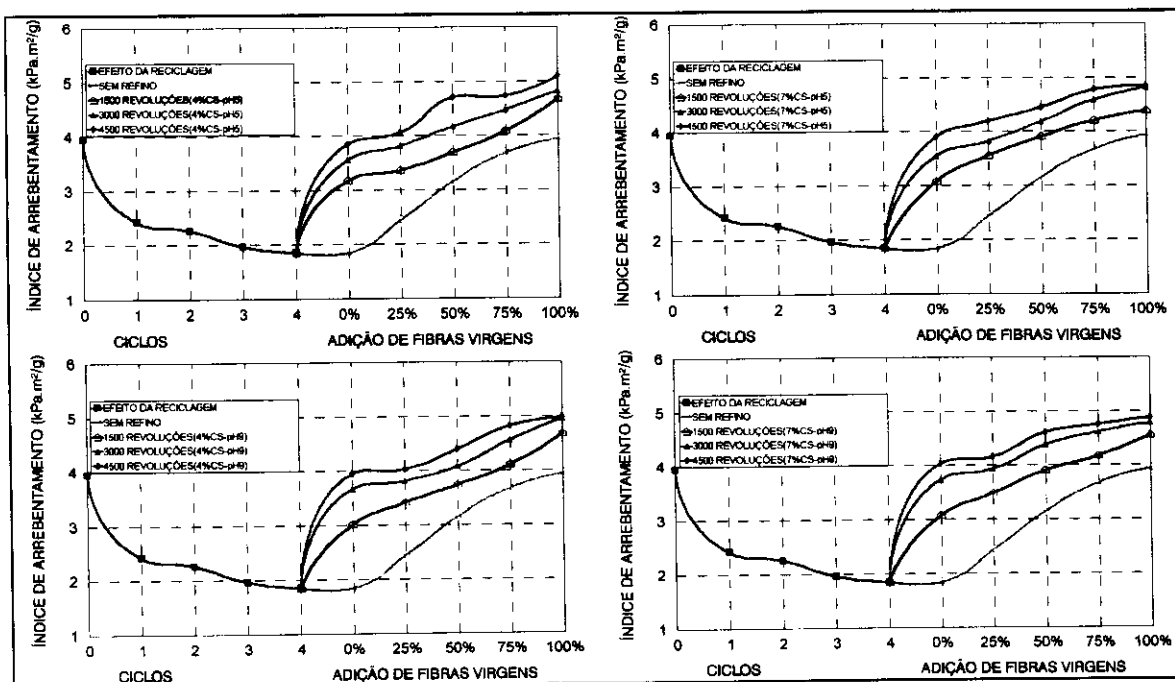


Figura 2: Efeito da reciclagem no índice de arrebetamento e, sua restauração por adição de fibras virgens e refinação em dois níveis de consistência e pH.

desenvolvimento de propriedades no papel(5, 12-14, 17). Com o aumento da frequência da reciclagem, as fibras perdem o potencial de flexibilidade em meio úmido, tornando-se mais rígidas e com potenciais para menores áreas para contato e conseqüentemente, reduzindo sua habilidade de formar ligações inter-fibras na formação da folha de papel(19). Estes fenômenos estão relacionados com os que afetam a camada S_2 da parede celular secundária das fibras durante a reciclagem, pois com sucessivas secagens, ocorre uma delaminação da camada S_1 afastando-a da camada S_2 devido ao diferencial de contração entre as duas camadas. Isto leva a formação de rachaduras ao longo da seção transversal de toda a fibra, causando redução do seu potencial de ligação. Com a consecutiva ação da secagem, as fibrilas desenvolvidas com a refinação são depositadas de volta à superfície das fibras reduzindo, portanto o potencial de ligações inter-fibrilares(5, 19).

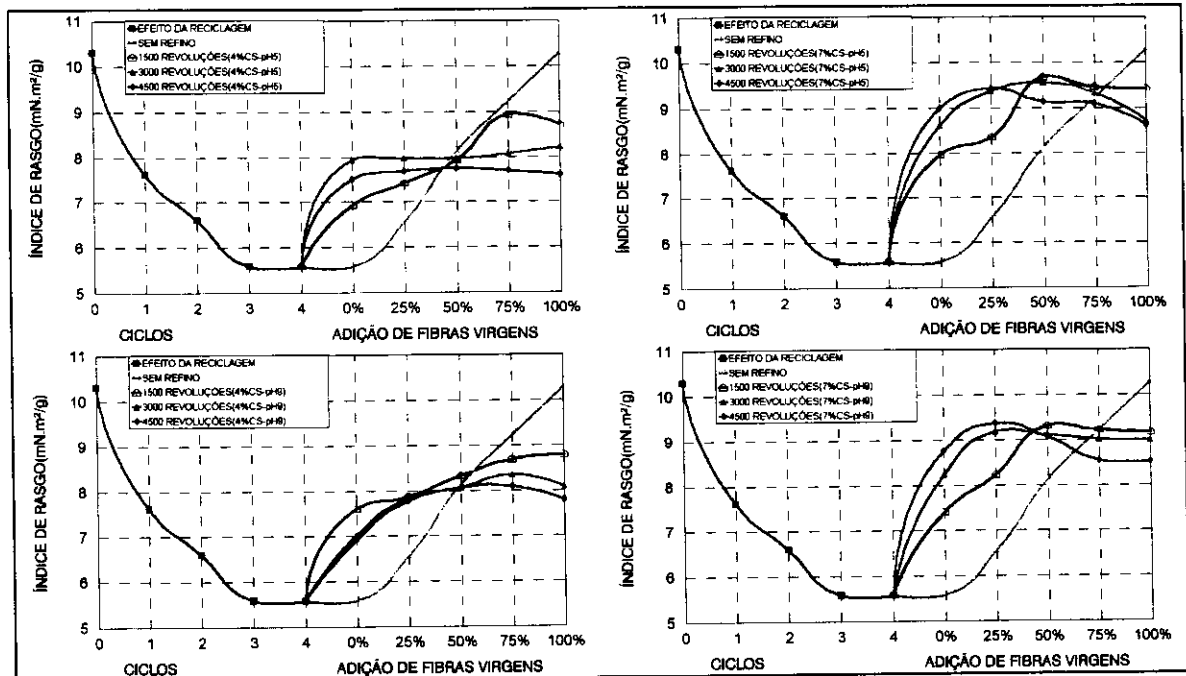


Figura 3: Efeito da reciclagem no índice de rasgo e, sua restauração por adição de fibras virgens e refinação em dois níveis de consistência e pH.

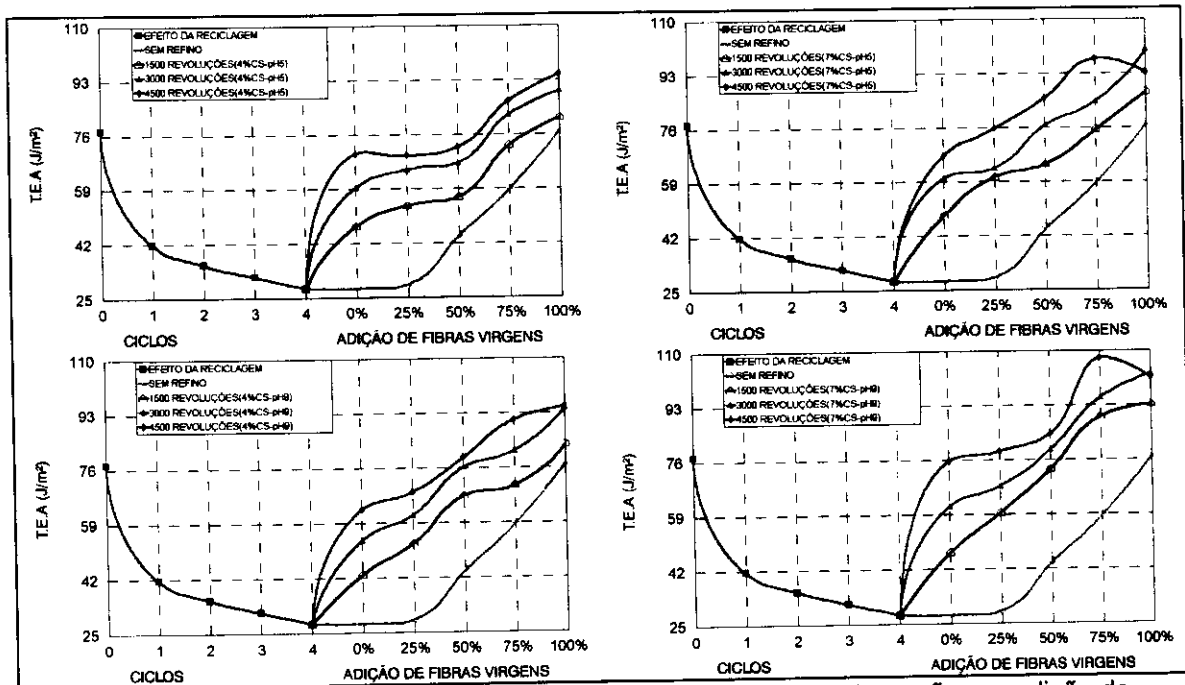


Figura 4: Efeito da reciclagem na energia de deformação e, sua restauração por adição de fibras virgens e refinação em dois níveis de consistência e pH.

Nas respectivas Figuras, observa-se também que o potencial de restauração de propriedades das fibras recicladas depende da propriedade a ser restaurada, do percentual de fibras virgens e suas interações com as variáveis de refino a ser controlada. Com a adição de 50 a 75% de fibras virgens e o controle apropriado das variáveis de refino (pH e consistência) é suficiente, na maioria dos casos para reustaurar as baixas propriedades relativas ao quarto ciclo para às equivalentes propriedades do primeiro ou segundo ciclo. As propriedades mecânicas obtidas após o quarto ciclo mostradas nas Figuras 1 - 6, tais como índice de tração, arrematamento, rasgo, energia de deformação (T.E.A.), tensão ao limite de elasticidade e módulo de elasticidade foram em média reduzidos à cerca de 50% de seus respectivos valores iniciais obtidos com fibras virgens. A resistência à passagem de ar e lisura mostradas na Figuras 7 e 8, tiveram reduções de 88% e 40%, respectivamente quando comparados aos papéis produzidos com fibras virgens. A propriedade estrutural, volume

específico aparente (mostrada no Quadro 1, do Apêndice) , ao contrario das propriedades mecânicas, teve um aumento de 23% com a ação da reciclagem. Isto contribuiu para o significativo acréscimo de 224% na maciez gurley e para o pequeno aumento de 2.5% na opacidade dos papéis reciclados (Figuras 8 e 9, respectivamente). A drenabilidade dos papéis desagregados, representada pelo grau schopper riegler mostrada na Figura 10, foi beneficiada em 43.5% com a ação da reciclagem.

O efeito da reciclagem no potencial de ligações inter-fibras é drástico, o qual pode ser interpretado pelos resultados relativos à recuperação das propriedades obtidas com o controle das variáveis de refino ou sua interação com a adição de fibras virgens às fibras recicladas. Neste último caso foi possível recuperar totalmente as perdas de propriedades decorrentes da reciclagem.

Embora haja diferenças de equipamentos e de operacionalidade dos sistemas industriais, as maiores modificações que ocorrem na estrutura das fibras são de natureza química e física de sua constuição e os fenômenos são significativamente mais intensos quando a relação água/fibra esta próximo a 1, na fase de secagem do papel(5). Os fenômenos da prensagem do papel e o perfil de temperatura ao longo da secagem têm demonstrado menos importância.

As ligações intra-fibra, ou seja, ligações eletrostáticas via pontes de hidrogênio entre as moléculas de carboidratos, internamente e intrínsecas à própria fibra, assim como as ligações inter-fibras são responsáveis por inúmeras propriedades de resistência do papel. Porém, acreditamos que em algum ponto crítico do processo de secagem, as fibras que compõem a estrutura do papel, ao se contraírem com a ação da secagem, são geradas forças de tensões internas que causam delaminação das camadas que compõem as paredes das fibras, e estas tensões conduzem ao mecanismo de plasticidade em suas interfaces devido as próprias características de descontinuidade física das paredes celulares. Estes fenômenos causam um aumento de rigidez nas fibras tomando-as menos flexíveis e com menor elasticidade. Também, durante o processo de reciclagem, e portanto com sucessivas ações de secagem, ocorrem rearranjos físicos das cadeias poliméricas de carboidratos que compõem a estrutura das microfibrilas e conseqüentemente das fibras, gerando maior cristalinidade nessas cadeias, portanto, reduzindo seu número de regiões amorfas. Assim, a proporção de regiões cristalinas/amorfas ao longo da estrutura molecular dos carboidratos (celulose e hemiceluloses) nas fibras exercem significativo efeito na intensidade e características de refino que a fibras sofrem.

A operação de refino ou moagem é bem conhecida nos meios celulósico-papeleiros e é definida como o tratamento mecânico através do qual as fibras celulósicas sofrem modificações estruturais que resultam em melhoria global das propriedades do papel. Os efeitos do refino ou efeitos do tratamento mecânico sobre as fibras envolvem complexas forças de tração, compressão, torção, cizalhamento, dobramento e outras, causando alterações na estrutura das fibras que aqui são resumidas nos seguintes itens:

- Quebra de ligações moleculares, conforme descrito anteriormente, com conseqüente separação das camadas internas das paredes das fibras causando o desfibrilamento interno.
- Delaminação das camadas externas das paredes das fibras causando desfibrilamento externo e formação de finos.
- Dissolução de carboidratos, principalmente hemiceluloses com conseqüente formação de uma suspensão coloidal em interação com os finos.
- Redução do comprimento da fibra por ação de corte.

Estudos anteriores mostram que a maior flexibilidade e conformabilidade das fibras quando no processo de formação do papel, atingidas através do controle da refinação, são as principais responsáveis pelo aumento do potencial de ligações inter-fibras via ligações por ponte de hidrogênio entre cadeias de carboidratos de fibras adjacentes causando melhoria de propriedades mecânicas do papel. No entanto, quando no processo de reciclagem onde as fibras sofrem alterações, conforme descrito anteriormente, ocasionadas principalmente por sucessivas ações de secagem, os efeitos benéficos do refino se revertem, principalmente com a deposição de fibrilas de volta à parede das fibras. Este fenômeno causa perdas do potencial de ligações entre fibras quando na formação do novo papel, inclusive, causando ligações internas irreversíveis entre as cadeias adjacentes de carboidratos nas próprias fibras.

O simples re-umidecimento não é suficiente para restaurar o potencial de ligações intra e inter-fibras necessárias ao desenvolvimento de propriedades dos papéis produzidos com fibras recicladas, quando comparados com os produzidos de fibras virgens(15, 16, 20). Embora, o potencial de recuperação das propriedades dependam do quanto as fibras foram danificadas no processo de reciclagem, um novo refino e o controle de suas variáveis ou suas interações com a adição de fibras virgens, podem restaurar as propriedades dos papéis reciclados a um nível compatível aos produzidos com fibras virgens.

As variáveis como: tipo de celulose, consistência, pH e outras, associadas à equipamentos, tais como: potência, velocidade, área de refinação e comprimento específico de corte são geralmente relacionadas a economia de energia na operação de refino e à facilidade da ação dos elementos refinadores sobre as fibras para promover ou manter as propriedades do papel. Estas por sua vez, podem estar associadas aos fenômenos de umedecimento, hidratação, inchamento, formação de flocos, desfibramento e corte de fibras. Portanto, merecendo a devida atenção para o estabelecimento dos procedimentos operacionais.

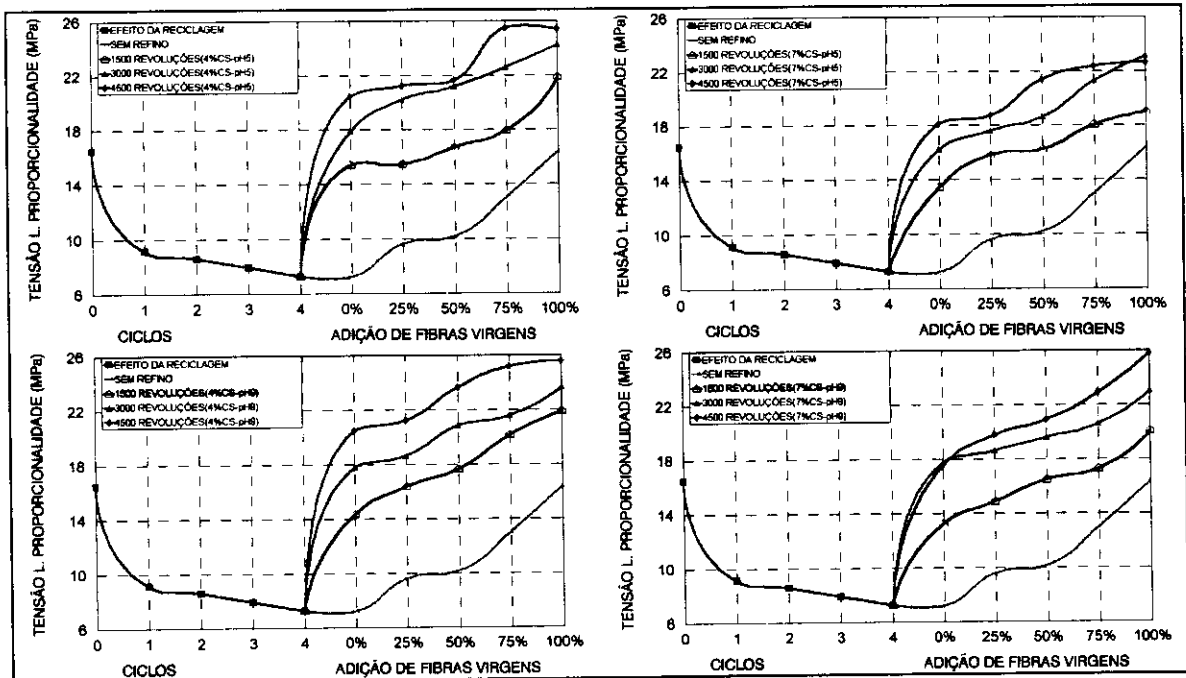


Figura 5: Efeito da reciclagem na tensão ou "stress" ao limite de elasticidade e, sua restauração por adição de fibras virgens e refinação em dois níveis de consistência e pH.

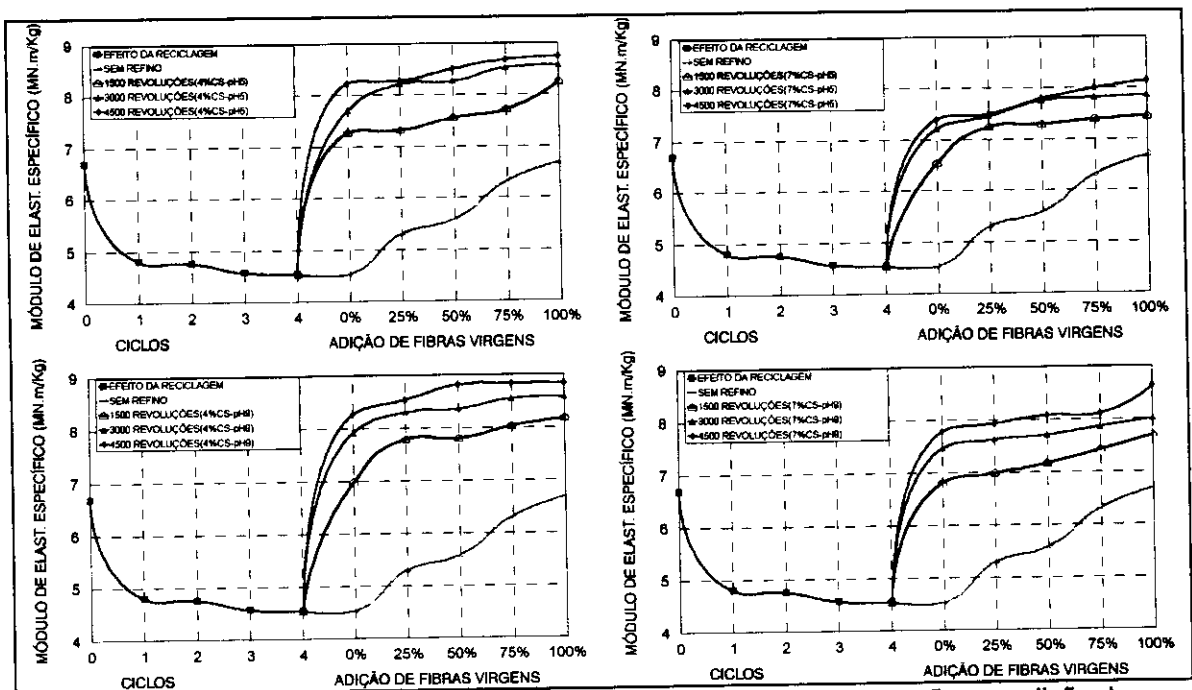


Figura 6: Efeito da reciclagem no módulo de elasticidade e, sua restauração por adição de fibras virgens e refinação em dois níveis de consistência e pH.

3.2. Efeito da consistência de refino.

A consistência de refino é uma das variáveis mais importantes no controle dos processos de refinação, pois está relacionada com a ação dos elementos refinadores sobre as fibras, consequentemente associada à qualidade do refino e consumo de energia para a sua realização, consumo este bastante significativo nas indústrias papeldeiras.

Estudos anteriores(21) mostram que a utilização de consistência mais alta nos processos de refinação tem sido suficiente para favorecer o desfibrilamento interno e externo à fibra, permitindo melhor aproveitamento e distribuição da energia de refino e, como consequência, menor heterogeneidade do tratamento, com reflexos diretos nas propriedades dos papéis produzidos com fibras de eucalipto. Altas consistências de refino reduzem a ocorrência de corte e formação de finos e, quando combinadas com baixas intensidades de refino, podem ser efetivas na redução dos problemas causados pelo arrancamento de elementos de vasos em papéis de impressão, um problema crítico na comercialização de polpas de eucalipto. Em outras palavras, a variação da consistência de refino permite um controle dos efeitos da refinação na estrutura das fibras, possivelmente influenciando o potencial de recuperação de propriedades dos papéis produzidos a partir de fibras recicladas.

O potencial de hidratação, o qual é um fator significativamente importante na efetividade das ações benéficas do refino na estrutura das fibras, é prejudicado pelas modificações nas estruturas das fibras causadas pelos fenômenos da reciclagem. No entanto, como se sabe, a hidratação das fibras é dependente do equilíbrio de trocas iônicas do meio e da intensidade das ligações fibrilares ocorridas pelas formações de pontes de hidrogênio entre moléculas de carboidratos adjacentes, podendo ocorrer fenômenos de histereses, causados principalmente pelas sucessivas secagens das fibras nos procedimentos de reciclagem. Neste caso, as fibras perdem higroscopicidade, pela formação irreversível de ligações eletrostática transversais ao longo das cadeias poliméricas dos carboidratos, responsáveis pela formação estrutural das fibras.

Neste estudo, o efeito da consistência de refino na restauração das propriedades, não se mostrou tão pronunciado. Das propriedades analisadas, apenas o índice de rasgo se mostrou com maior potencial de recuperação quando os procedimentos de refino foram realizados em consistência mais elevada (Figura 3). O índice de rasgo por ser uma propriedade expressivamente influenciada pela resistência intrínseca da fibra, provavelmente foi beneficiada pelos efeitos da refinação pela menor possibilidades de cortes das fibras e formação de finos quando processados à consistência mais elevada. Este efeito é observado para os dois níveis de pH utilizados nos procedimentos de restauração das propriedades pela ação do refino.

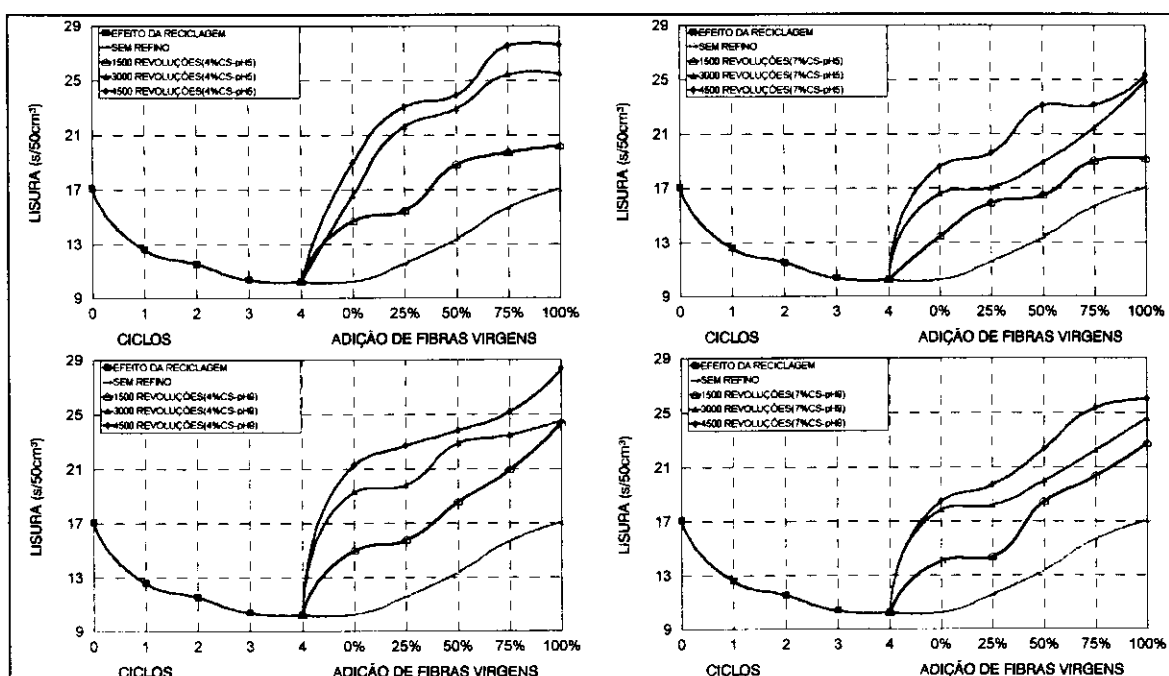


Figura 7: Efeito da reciclagem na lisura superficial dos papéis e, sua restauração por adição de fibras virgens e refinação em dois níveis de consistência e pH.

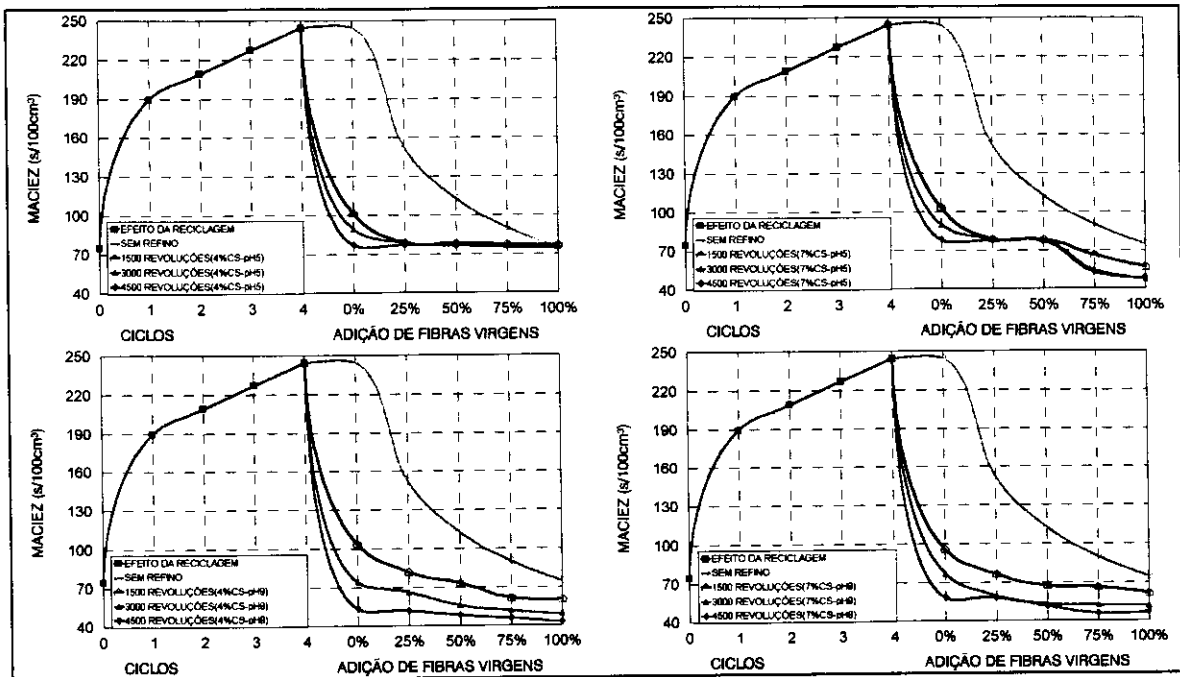


Figura 8: Efeito da reciclagem na maciez gurley dos papéis e, sua restauração por adição de fibras virgens e refinação em dois níveis de consistência e pH.

O índice de tração, arrenbamento, energia de deformação(T.E.A.), lisura, maciez, opacidade e drenabilidade($^{\circ}$ SR), em termos práticos, apresentaram comportamento similares de evolução de restauração para os dois níveis de consistências utilizadas, respectivamente mostrados nas Figuras 1, 2, 4 e 7-10.

Ao contrário do índice de rasgo (Figura 3), as propriedades derivadas do teste de tração, tais como, tensão ao limite de elasticidade e módulo de elasticidade (Figuras 5 e 6, respectivamente), as quais são indicativos de rigidez dos papéis, apresentaram maior potencial para restauração quando os procedimentos de refino foram realizados em consistência mais baixa e em níveis de refino mais elevados, ou seja à 3000 e 4500 revoluções do moinho.

3.3 Efeito do PH de refino.

A importância do pH na operação de refino é prover um melhor controle do equilíbrio de trocas iônicas do meio, de forma a restaurar o potencial de hidratação e, conseqüente, inchamento das fibras refletindo em economia de energia e melhor controle da intensidade e dos efeitos da refinação na estrutura da fibras com conseqüentes reflexos nas propriedades dos papéis.

O controle de pH, tem sido na produção de papéis, de grande importância, não só no controle dos procedimentos de colagens ácidas e alcalinas, assim como em técnicas de revestimentos, no controle do envelhecimento e do potencial de durabilidade dos papéis, principalmente dos papéis utilizados para impressão. São ainda poucos os estudos relacionando os efeitos dessa variável com a operação de refino, assim como, a faixa ideal a ser utilizada que depende significativamente do tipo e características tecnológicas das fibras(21).

Os resultados deste estudo mostram que a utilização de pH 5 ou de pH 9 no refino não causou diferenças expressivas no potencial de restauração das propriedades dos papéis. Salvo algumas exceções, como o índice de tração e módulo de elasticidade mostrados nas Figuras 1 e 6, respectivamente, que apresentaram maior potencial de restauração em pH alcalino, porém apenas quando refinados em consistência mais alta e em níveis de refino mais elevados, ou seja 4500 revoluções do moinho. Uma outra exceção foi a propriedade de maciez (Figura 8), que apresentou menor redução e melhor estabilidade de perdas com a evolução do refino em pH ácido.

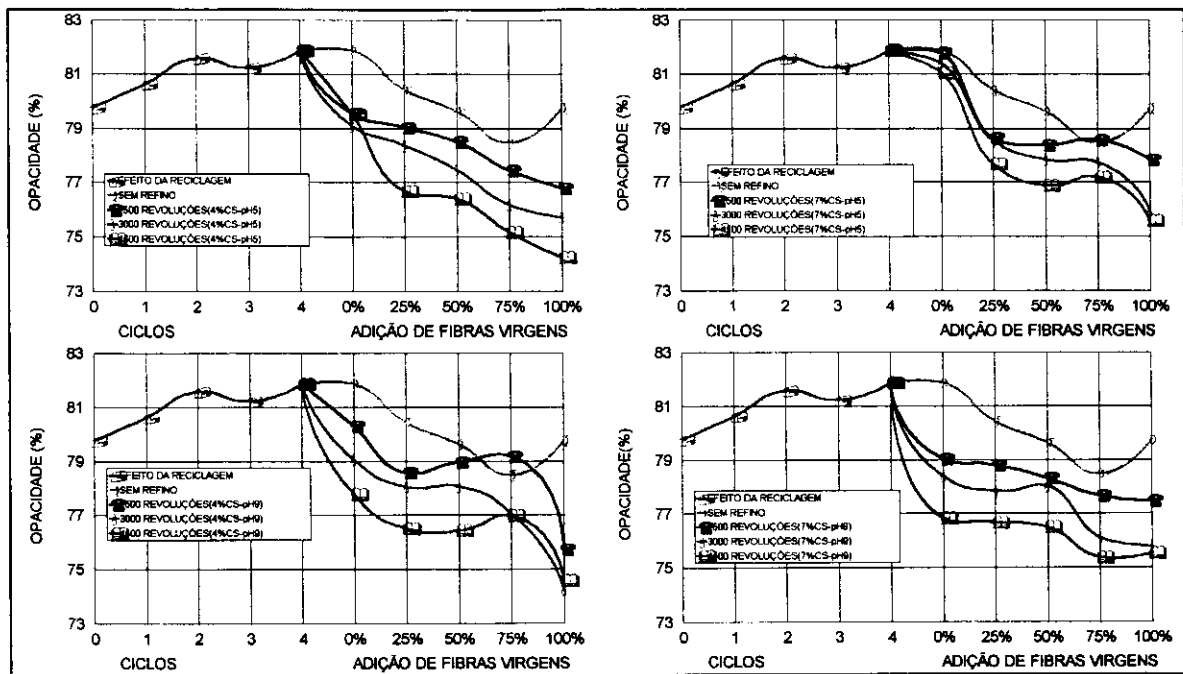


Figura 9: Efeito da reciclagem na opacidade dos papéis e, sua restauração por adição de fibras virgens e refinação em dois níveis de consistência e pH.

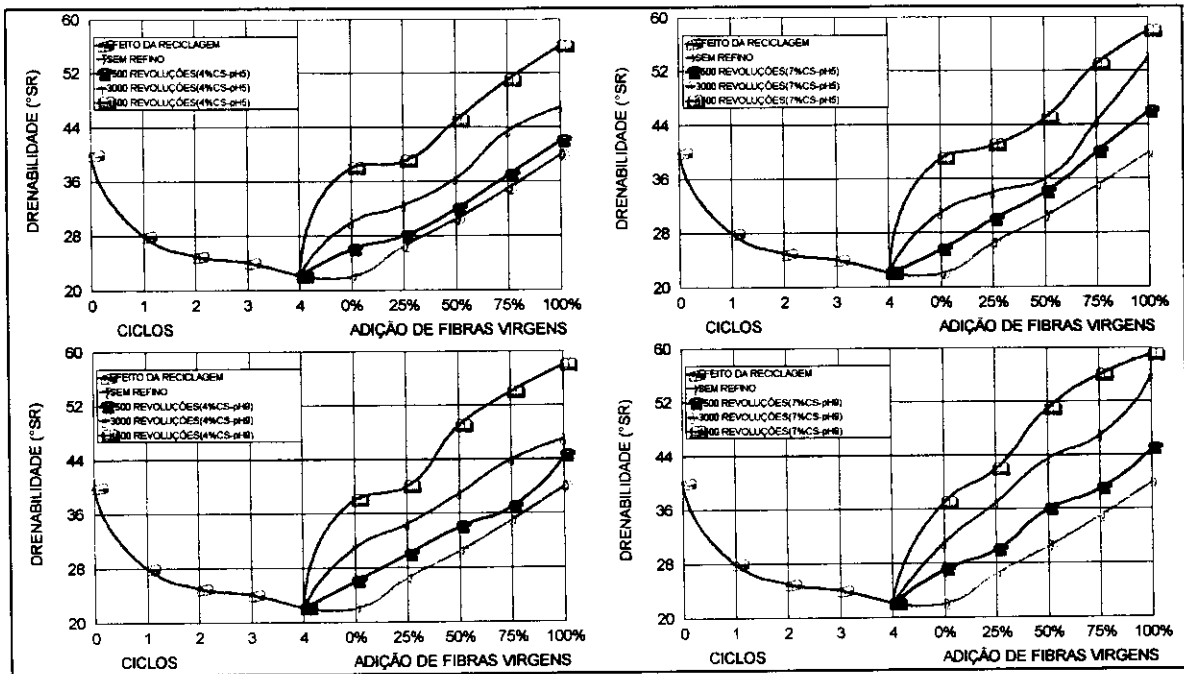


Figura 10: Efeito da reciclagem na drenabilidade das polpas e, sua restauração por adição de fibras virgens e refinação em dois níveis de consistência e pH.

4. Conclusão.

A queda de qualidade das fibras virgens de eucalipto, em razão da ação da reciclagem, causa significativa redução na maioria das propriedades dos papéis produzidos. A maior perda acontece com o primeiro e segundo ciclo, tendendo à uma estabilização após o quarto ciclo. Com a ação da refinação e adição de fibras virgens às fibras recicladas é possível restaurar as propriedades dos papéis, prejudicadas pela ação da reciclagem. O potencial de restauração depende da proporção de fibras virgens, da intensidade de refino e do controle de variáveis do procedimento de refino.

A reciclagem traz prejuízo para determinadas propriedades, principalmente as propriedades que dependem mais intensamente do potencial de ligações inter-fibras, porém pode beneficiar outras, principalmente as propriedades estruturais que se relacionam com o

volume específico aparente("bulk"), tais como, opacidade e maciez, assim como o potencial de drenabilidade dos papéis.

3. Literatura citada.

1. Franklin, W. E. **Paper recycling: the art of the possible 1970-1985; summary and overview.** Kansas City, MO, Midwest Research Institute, 1973. 181p.
2. ANNUAL REVIEW- Word trend & trade. **Pulp & Paper International**, 144 p. July 1989.
3. ANNUAL REVIEW-Brazil: Rising domestic consumption fuels output growth. p.80. **Pulp & Paper International**, 108 p. July 1994.
4. ANFPC-Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose. Relatório Estatístico 1988. São Paulo, 1989.
5. Oliveira, R. C. de.; Sabioni, L. **Estudo do efeito da reciclagem nas propriedades físico-mecânicas de papéis.** Projeto executado via convênio UFV/FAPEMIG/CNPq no período de 1992 a 1994, relatório técnico submetido à FAPEMIG. Viçosa-MG, 1995.
6. **TAPPI TEST METHODS - T 200 a T1210, 1996-1997.**
7. D'Almeida, M. L. Reciclagem do Papel. **O Papel**. 131-135p. Novembro 1991.
8. Kenny, J. The brazilian expansion seems to just grow on and on. **Pulp & Paper International**, 23-27p. March 1997.
9. Mauranen. P. The paper industry's research needs. **Word Pulp & Paper Technology**. 29-30p. Global Environmental issues, 1997.
10. Daste, M. R. M. de. Brazil: Latin America's paper superpower. **Papermaker**. 29-31p. August 1996.
11. Matussek, H. et al. Record run unbroken as Asia overtakes European output. **Pulp & Paper International**, 20 and 77p. July 1997.
12. Bouchard, J. ; Douek, M. The effects of recycling on the chemical properties of pulps. **Journal of Pulp and Paper Science**. J131-j136p. Vol 20: No.5 May 1994.
13. Law, K. N. et al. Effects of recycling on papermaking properties of mechanical and high yield pulps: Part 1: Hardwood pulps. **Tappi Journal**. 167-174p. Vol 79: No. 3 March 1996.
14. Bobalek, J. F.; Chaturvedi, M. The effects of recycling on the physical properties of handsheets with respect to specific wood species. **Tappi Journal**. 123-125p. June 1989.
15. Minor, J. L. et al. Improving interfibre bonding of recycled fibres. **Journal of Pulp and Paper Science**. J152-j155p. Vol 19: No.4 July 1993.
16. Bhat, G. R. et al. Novel techniques for enchacing the strength of secondary fiber. **Tappi Journal**. 151-157p. September 1991.
17. Bugajer, S. O efeito da reciclagem de fibras secundárias sobre as propriedades do papel kraft. **O Papel**. 108-112p. Dezembro 1976.
18. Cullinan, H. T. A distribuição de idade da fibra reciclada. **O Papel**. 53-56p. Janeiro 1993.
19. Howard, R. C. The effects of recycling on paper quality. **Paper Technology**. 20-25p. April 1991.
20. Minor, L. et al. Restoring bonding strength to recycled fibers. **Recycling Symposium**, USDA Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin, USA. Tappi notes: 379-385p. 1993.
21. Carvalho, H. G. Efeito da idade de corte da madeira e de variáveis de refino nas propriedades da celulose kraft branqueada de eucalipto. Tese de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG. 103p. Outubro 1997.

APÊNDICE

Quadro 1: Efeito da reciclagem nas propriedades dos papéis.

Ciclo	Revolução	°SR	Gramatura g/m ²	Índice Tração N.m/g	Índice Arreb. kPa.m ² /g	Índice Rasgo mN.m ² /g	Alongamento %	Resist. P.Ar s/100cm ³	Peso Esp. Aparente kg/m ³	Vol. Esp. Aarente cm ³ /g	T.E.A. J/m ²	T.L.P. MPa	Lisura s/50cm ³	Maciez s/100cm ³	Opacidade %	M.O.E. MN.m/kg
00	00	40.0	63.80	65.39	3.95	10.30	2.61	20.89	625.50	1.60	77.41	16.47	17.08	74.67	79.77	6.69
01	00	28.0	63.35	40.07	2.42	7.62	2.26	5.11	572.92	1.89	41.69	9.13	12.60	189.55	80.64	4.80
02	00	25.0	62.20	38.16	2.26	6.61	2.08	3.97	518.33	1.93	35.41	8.58	11.53	209.15	81.59	4.75
03	00	24.0	63.00	34.33	1.96	5.59	1.99	2.98	516.39	1.94	31.53	7.91	10.36	226.94	81.24	4.57
04	00	22.0	63.00	32.67	1.85	5.59	1.87	2.33	508.06	1.97	27.93	7.26	10.25	244.51	81.87	4.54

Quadro 2: Recuperação das propriedades por adição de fibras virgens.

Adição de fibras virgens	Revolução	°SR	Gramatura g/m ²	Índice Tração N.m/g	Índice Arreb. kPa.m ² /g	Índice Rasgo mN.m ² /g	Alongamento %	Resist. P.Ar s/100cm ³	Peso Esp. Aparente kg/m ³	Vol. Esp. Aarente cm ³ /g	T.E.A. J/m ²	T.L.P. MPa	Lisura s/50cm ³	Maciez s/100cm ³	Opacidade %	M.O.E. MN.m/kg
25%	00	26.5	63.30	38.94	2.45	6.58	1.69	3.64	527.50	1.89	29.21	9.65	11.61	152.10	80.43	5.31
50%	00	30.5	62.30	44.72	3.16	8.14	2.19	5.61	541.74	1.85	44.36	10.22	13.40	112.76	79.63	5.59
75%	00	35.0	63.50	52.89	3.68	9.23	2.42	9.31	593.48	1.69	58.83	13.08	15.74	90.20	78.49	6.32

Quadro 3: Recuperação das propriedades por ação da refinação.

Consistência / pH	Revolução	°SR	Gramatura g/m ²	Índice Tração N.m/g	Índice Arreb. kPa.m ² /g	Índice Rasgo mN.m ² /g	Alongamento %	Resist. P.Ar s/100cm ³	Peso Esp. Aparente kg/m ³	Vol. Esp. Aarente cm ³ /g	T.E.A. J/m ²	T.L.P. MPa	Lisura s/50cm ³	Maciez s/100cm ³	Opacidade %	M.O.E. MN.m/kg
4%/pH5	1500	26.0	62.85	57.46	3.18	6.94	1.87	4.87	628.50	1.50	47.36	15.43	14.72	101.44	79.57	7.27
4%/pH5	3000	30.0	62.20	64.43	3.56	7.94	2.10	8.36	654.74	1.53	59.44	17.87	16.59	89.12	79.11	7.70
4%/pH5	4500	38.0	62.00	70.55	3.85	7.51	2.23	17.74	688.89	1.45	70.03	20.44	18.96	76.96	79.54	8.23
4%/pH9	1500	26.0	63.60	53.77	3.02	7.61	1.80	4.93	636.00	1.57	43.15	14.37	14.99	103.83	80.31	6.98
4%/pH9	3000	31.0	63.00	63.60	3.67	7.03	1.91	8.63	656.25	1.52	53.77	17.77	19.31	74.37	79.07	7.92
4%/pH9	4500	38.0	62.50	68.10	3.95	6.93	2.08	17.38	686.81	1.46	63.16	20.46	21.29	53.67	77.79	8.27
7%/pH5	1500	25.5	63.60	52.78	3.08	7.97	2.04	4.34	605.00	1.65	48.48	13.46	13.47	103.33	83.78	6.54
7%/pH5	3000	31.0	63.00	61.83	3.55	8.61	2.19	6.41	630.00	1.59	60.21	16.22	16.59	89.98	81.40	7.21
7%/pH5	4500	39.0	62.50	65.23	3.91	8.99	2.31	13.76	657.89	1.52	67.34	18.11	18.60	78.11	81.06	7.40
7%/pH9	1500	27.0	62.30	54.51	3.08	7.42	1.99	4.17	588.57	1.70	47.32	13.28	14.07	95.73	79.05	6.81
7%/pH9	3000	31.0	62.70	63.38	3.74	8.24	2.18	7.36	646.39	1.54	61.70	17.75	17.87	77.01	78.40	7.46
7%/pH9	4500	37.0	61.80	67.49	4.04	8.77	2.52	11.67	662.76	1.50	75.75	17.58	18.51	58.31	76.84	7.78

Quadro 4: Recuperação das propriedades por ação da refinação e adição de fibras virgens.

Consistência / % Fibras Virgens / pH	Revolução	°SR	Gramatura g/m²	Índice Tração N.m/g	Índice Arreb. kPa.m²/g	Índice Rasgo mN.m²/g	Alongamento %	Resist. P.Ar s/100cm²	Peso Esp. Aparente kg/m³	Vol. Esp. Aarente cm³/g	T.E.A. J/m²	T.L.P. MPa	Lisuras/50cm³	Maciez s/100cm³	Opacidade %	M.O.E. MN.m/kg
4%/25%/pH5	1500	28.0	62.00	61.40	3.37	7.43	2.01	7.79	613.86	1.63	53.74	15.48	15.50	93.35	79.05	7.32
4%/25%/pH5	3000	32.5	62.20	69.73	3.82	7.97	2.12	11.42	683.51	1.46	65.08	20.21	21.64	63.75	78.39	8.21
4%/25%/pH5	4500	39.0	60.80	72.01	4.06	7.69	2.23	15.91	690.90	1.44	69.42	21.23	23.05	42.08	76.67	8.28
4%/50%/pH5	1500	32.0	62.00	63.59	3.70	7.94	2.05	11.03	632.65	1.58	56.46	16.72	18.86	72.06	78.51	7.56
4%/50%/pH5	3000	36.5	62.60	72.17	4.17	7.97	2.12	19.26	695.56	1.44	67.18	21.18	22.94	57.31	77.47	8.27
4%/50%/pH5	4500	45.0	61.80	74.93	4.31	7.75	2.21	25.73	710.34	1.41	72.15	21.66	23.91	49.64	76.39	8.51
4%/75%/pH5	1500	37.0	62.00	69.78	4.09	8.94	2.38	18.17	652.63	1.53	72.65	17.95	19.74	68.85	77.46	7.72
4%/75%/pH5	3000	43.5	62.60	78.13	4.48	8.08	2.38	29.45	703.37	1.42	82.19	22.61	25.46	56.74	76.18	8.53
4%/75%/pH5	4500	51.0	61.20	82.36	4.74	7.70	2.43	40.15	737.35	1.36	86.46	25.50	27.55	49.20	75.16	8.69
4%/100%/pH5	1500	42.0	61.78	77.75	4.68	8.71	2.41	33.68	686.44	1.46	81.21	21.91	20.21	56.80	76.80	8.26
4%/100%/pH5	3000	47.0	61.44	83.39	4.83	8.22	2.49	43.51	722.82	1.38	89.60	24.28	25.52	52.06	75.72	8.57
4%/100%/pH5	4500	56.0	60.36	83.70	5.10	7.60	2.64	71.03	754.50	1.33	94.86	25.40	27.62	44.35	74.24	8.75
4%/25%/pH9	1500	30.0	60.90	64.12	3.42	7.88	1.93	6.04	609.00	1.64	52.77	16.39	15.80	81.90	78.58	7.79
4%/25%/pH9	3000	34.5	61.20	69.95	3.82	7.83	2.04	9.86	658.06	1.51	61.50	18.65	19.83	66.18	78.06	8.30
4%/25%/pH9	4500	40.0	61.30	73.30	4.03	7.78	2.15	17.11	688.76	1.45	68.61	21.24	22.74	51.84	76.51	8.54
4%/50%/pH9	1500	34.0	62.10	68.30	3.74	8.33	2.24	13.85	653.68	1.53	67.36	17.68	18.59	73.18	78.98	7.80
4%/50%/pH9	3000	39.0	62.10	73.62	4.08	8.07	2.34	22.11	690.00	1.45	76.23	20.85	22.89	56.08	78.08	8.36
4%/50%/pH9	4500	49.0	61.10	79.90	4.40	8.06	2.29	35.24	718.82	1.39	79.28	23.67	23.82	48.63	76.44	8.82
4%/75%/pH9	1500	37.0	62.50	71.74	4.11	8.69	2.24	23.29	686.81	1.46	70.64	20.17	20.95	61.61	79.19	8.03
4%/75%/pH9	3000	44.0	61.45	78.01	4.56	8.35	2.39	31.97	690.45	1.45	81.35	21.58	23.51	51.94	77.08	8.55
4%/75%/pH9	4500	54.0	61.2	83.44	4.82	8.09	2.51	46.01	737.35	1.35	90.88	25.20	25.22	45.91	76.98	8.84
4%/100%/pH9	1500	44.5	61.00	77.03	4.68	8.79	2.51	36.80	693.18	1.44	83.30	21.91	24.37	60.63	75.74	8.18
4%/100%/pH9	3000	47.0	61.35	83.20	4.96	8.08	2.63	52.70	721.76	1.39	94.74	23.67	24.53	49.12	74.26	8.57
4%/100%/pH9	4500	58.0	60.85	82.78	4.98	7.79	2.63	79.60	760.63	1.31	94.97	25.58	28.37	42.93	74.58	8.84
7%/25%/pH5	1500	30.0	62.80	62.08	3.56	8.36	2.20	7.31	609.71	1.64	60.46	15.82	15.93	77.54	78.65	7.25
7%/25%/pH5	3000	34.0	61.50	65.38	3.83	9.37	2.23	9.24	640.63	1.56	63.41	17.62	17.06	69.95	78.56	7.46
7%/25%/pH5	4500	41.0	61.50	67.27	4.20	9.43	2.53	16.21	668.48	1.50	75.75	18.75	19.60	61.70	77.69	7.51

Quadro 4: Recuperação das propriedades por ação da refinação e adição de fibras virgens(Continuação...)

Consistência / % Fibras Virgens / pH	Revo- lução	°SR	Gram- tura g/m ²	Índice Tração N.m/g	Índice Arreb. kPa.m ² /g	Índice Rasgo mN.m ² /g	Alonga- mento %	Resist. P.Ar s/100cm ³	Peso Esp. Aparente kg/m ³	Vol. Esp. Aarente cm ³ /g	T.E.A. J/m ²	T.L.P MPa	Lisura s/50cm ³	Maciez s/100cm ³	Opaci- dade %	M.O.E. MN.m/kg
7%/50%/pH5	1500	34.0	62.00	63.46	3.91	9.68	2.31	9.30	620.00	1.61	64.52	16.25	16.49	76.13	78.40	7.30
7%/50%/pH5	3000	36.0	62.60	69.36	4.19	9.55	2.46	14.28	658.95	1.52	76.79	18.62	18.93	69.63	77.85	7.76
7%/50%/pH5	4500	45.0	61.50	72.57	4.45	9.14	2.66	22.23	683.33	1.46	85.36	21.41	23.10	58.69	76.89	7.80
7%/75%/pH5	1500	40.0	62.35	67.69	4.21	9.46	2.51	11.15	649.48	1.54	75.44	18.07	19.04	66.14	78.60	7.40
7%/75%/pH5	3000	44.5	62.20	74.15	4.59	9.32	2.57	23.89	676.09	1.48	84.34	21.30	21.49	54.47	77.75	7.82
7%/75%/pH5	4500	53.0	62.60	77.10	4.78	9.09	2.82	37.56	703.37	1.42	97.75	22.40	23.15	53.07	77.20	8.01
7%/100%/pH5	1500	46.0	63.40	70.53	4.39	9.43	2.74	31.74	689.13	1.45	87.27	19.02	19.17	57.11	77.85	7.45
7%/100%/pH5	3000	54.0	62.20	76.72	4.82	8.71	2.93	40.97	723.25	1.38	100.6	23.13	24.91	47.96	75.94	7.86
7%/100%/pH5	4500	58.0	60.95	79.63	4.85	8.61	2.71	43.49	725.00	1.38	93.27	22.64	25.35	48.67	75.59	8.15
7%/25%/pH9	1500	30.0	62.10	59.62	3.49	8.24	2.27	6.56	608.82	1.64	59.72	14.92	14.38	76.22	78.81	6.99
7%/25%/pH9	3000	37.0	61.80	68.25	3.94	9.19	2.28	9.42	650.53	1.54	68.03	18.64	18.22	59.51	77.84	7.63
7%/25%/pH9	4500	42.0	61.40	72.93	4.17	9.38	2.46	14.60	667.39	1.50	78.78	19.80	19.71	58.19	76.68	7.93
7%/50%/pH9	1500	36.0	63.20	65.89	3.91	9.32	2.48	11.71	632.00	1.58	73.26	16.52	18.48	67.46	78.32	7.17
7%/50%/pH9	3000	43.5	61.70	71.68	4.38	9.12	2.52	16.86	656.38	1.52	79.33	19.61	20.02	53.42	78.03	7.71
7%/50%/pH9	4500	51.0	61.50	75.77	4.61	9.07	2.54	24.50	683.33	1.46	84.25	20.91	22.38	51.70	76.50	8.08
7%/75%/pH9	1500	39.0	63.70	71.09	4.18	9.22	2.77	17.08	643.43	1.55	89.57	17.31	20.37	66.26	77.66	7.42
7%/75%/pH9	3000	47.0	62.30	77.28	4.62	9.02	2.79	25.58	692.22	1.44	95.54	20.61	22.26	52.62	76.12	7.86
7%/75%/pH9	4500	56.0	61.50	81.47	4.76	8.55	3.01	35.62	698.86	1.43	107.9	22.91	25.38	45.99	75.38	8.11
7%/100%/pH9	1500	45.0	61.10	75.80	4.56	9.17	2.83	32.54	671.42	1.48	93.39	20.09	22.74	61.31	77.48	7.70
7%/100%/pH9	3000	56.0	61.50	78.35	4.79	8.99	2.97	45.00	716.47	1.40	103.0	23.07	24.62	51.82	75.79	8.01
7%/100%/pH9	4500	59.0	60.90	85.71	4.89	8.53	2.74	49.01	716.47	1.40	101.8	25.82	26.05	47.48	75.54	8.64

NOTA: Revolução= n° de revoluções do refinador, T.E.A.= Energia absorvida pelo corpo de prova em regime de tração, T.L.P.= Tensão ao limite de proporcionalidade, M.O.E.= Módulo de elasticidade específico.