

Recebido: 02-12-2015 Aceito: 24-05-2016

## Avaliação das propriedades físicas, mecânicas e ópticas da polpa celulósica durante refino

Antônio José Vinha Zanuncio<sup>1</sup>, Amélia Guimarães Carvalho<sup>1</sup>, Renato Augusto Pereira Damásio<sup>1</sup>, Rubens Chaves de Oliveira<sup>1</sup>, Jorge Luiz Colodette<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

**RESUMO** O setor de celulose e papel apresenta crescimento acima da média nacional, entretanto isto não seria possível sem adequar as etapas de produção, como o refino, em relação à matéria prima. Desse modo o objetivo foi avaliar o refino em diferentes polpas de eucalipto. Dez amostras de madeira foram submetidas à polpação e branqueamento, logo após as polpas foram submetidas ao refino e aos testes físicos, mecânicos e ópticos conforme normas da TAPPI. O refino aumentou o consumo de energia e o Grau Schopper Riegler de forma linear. Para as propriedades físicas, a diminuição da espessura pelo refino aumentou o peso específico aparente em detrimento do volume específico aparente. O refino melhorou as propriedades mecânicas, entretanto o índice de rasgo reduziu em polpas submetidas ao refino com maior intensidade. Por fim, o refino piorou as propriedades ópticas do papel. O refino atuou de diferentes formas nas propriedades do papel, sendo assim, a aplicação desta técnica deve ser adaptada à finalidade do produto.

**Palavras-chave:** eucalipto, madeira, papel.

## Evaluation of physical, mechanical and optical properties of pulp through refining

**ABSTRACT** The pulp and paper segment presents growth above the national average, though this would not be possible without control of the production stages, such as refining the material. Thus, the objective was to evaluate the refining in different eucalyptus pulps. Ten wood samples were subjected to pulping and bleaching. Then, the pulps were subjected to refining and physical, mechanical and optical tests, according to TAPPI standards. Refining increased the power consumption and the Schopper Riegler linearly. Regarding physical properties, the decrease of the thickness of the refining increased the specific gravity and reduced the specific volume. The refining improved the mechanical properties, however, the tear index decreased in pulps subjected to stronger refining. Finally, the refining deteriorated the optical properties of the paper. The refining acted differently in the paper properties, so the application of this technique must be adapted to the purpose of the product.

**Keywords:** eucalypt, paper, wood.

### Introdução

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de polpa celulósica e o nono de papel (IBA, 2015). Esta indústria é fundamentada principalmente por madeiras do gênero *Eucalyptus*, sendo *Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* as principais espécies plantadas (IBA, 2015).

A madeira apresenta composição química, física e anatômica distintas (DELUCIS et al., 2013; IWAKIRI et al., 2013; VALENTE et al., 2013). Esta heterogeneidade garante polpas com diferentes propriedades quando submetidas ao mesmo processo produtivo (MOKFIENSKI et al., 2008; QUEIROZ et al., 2004; PEDRAZZI et al., 2013). Além da matéria prima, variáveis do processo também influenciam nas características do produto final (ANDREW et al., 2013;

SIMON et al., 2014; MANFREDI et al., 2012; MANFREDI et al., 2013).

O refino é uma etapa importante na produção de papel, pois durante este processo, a aplicação de um trabalho mecânico em um meio aquoso faz com que a morfologia das fibras e sua estrutura física e química sejam modificadas e o papel adquira algumas propriedades (D'ALMEIDA, 1988). O trabalho mecânico exerce uma força na fibra que elimina parcialmente as camadas S1 e S2 da parede celular, deixando-o permeável, possibilitando o inchamento e a sua fibrilação interna (BIERMANN, 1996). Este processo pode causar efeitos negativos, como quebra e, por consequência, a diminuição do tamanho da fibra. Dentre os benefícios, destacam-se o aumento da superfície específica, o que deixa a fibra mais flexível e macia, melhorando as propriedades mecânicas (SCOTT; ABBOT, 1995).

O processo de fabricação do papel sofre influência das variáveis do processo e da matéria-prima. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi relacionar o desempenho do refino com as alterações das propriedades da polpa celulósica.

## Material e Métodos

Dez diferentes clones de *Eucalyptus* spp. foram utilizados (1M, 2M, 3M, 4M, 5M, 6M, 7M, 8M, 9M, 10M). Foram removidas toras de 50 cm da base, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial para fabricação da polpa celulósica. O cozimento da madeira foi efetuado de forma a obter polpa com número kappa  $18 \pm 0,5$ . As amostras de polpa de eucalipto foram branqueadas pela sequência DualEopDP, que consiste em uma etapa com dióxido de cloro quente (Dual), uma extração com oxigênio e peróxido pressurizado (Eop), um estágio de dioxidação (D) e, por fim, um estágio deperoxidação (P), esta sequência foi utilizada para obtenção de material com alvura  $90 \pm 1\%$  ISO.

As polpas foram hidratadas e submetidas ao esforço mecânico em moinho PFI, de forma a permitir a avaliação das propriedades físicas e mecânicas com a ação da refinação. Os testes físicos, mecânicos e ópticos do material com e sem refino foram realizados conforme norma da Technical Association of Pulp and Paper Industry (Tappi 1992). Para cada tratamento, foram formadas 12 folhas, as quais foram acondicionadas a  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  com de  $50 \pm 2\%$  de umidade relativa do ar e os testes físicos, mecânicos e ópticos foram realizados após a climatização (Tabela 1).

**Tabela 1.** Normas utilizadas para os ensaios.

**Table 1.** Standards used for testing.

Parâmetros	Normas
Refino em moinho tipo PFI	T 248 wd-97
Formação de folhas laboratoriais	T 205 sp-95
Gramatura de papéis	T 220 sp-96
Testes físicos de papéis	T 220 sp-96
Resistência ao rasgo (Elmendorf)	T 414 om-98
Resistência à tração	T 494 om-96
Resistência à passagem de ar	T 536 om-96
Opacidade	T 519 om-96
Coefficiente de dispersão da luz	T 519 om-96

## Resultados e Discussão

Para garantir a avaliação das propriedades da polpa, foram empregados intervalos de revoluções entre 0 e 3500, gerando polpas com Grau Schopper Riegler ( $^\circ\text{SR}$ ) entre 17 e 60 e gasto energético entre 0 e 45 Wh (Figura 1).

O consumo de energia é uma variável importante na indústria de celulose e papel. As polpas demandaram gasto energético entre 25 e 52 Wh para atingir Grau Schopper Riegler entre 50 e 60. O menor gasto energético pode gerar uma grande economia no processo produtivo e por consequência, aumentar a margem de lucro (BIERMANN, 1996).

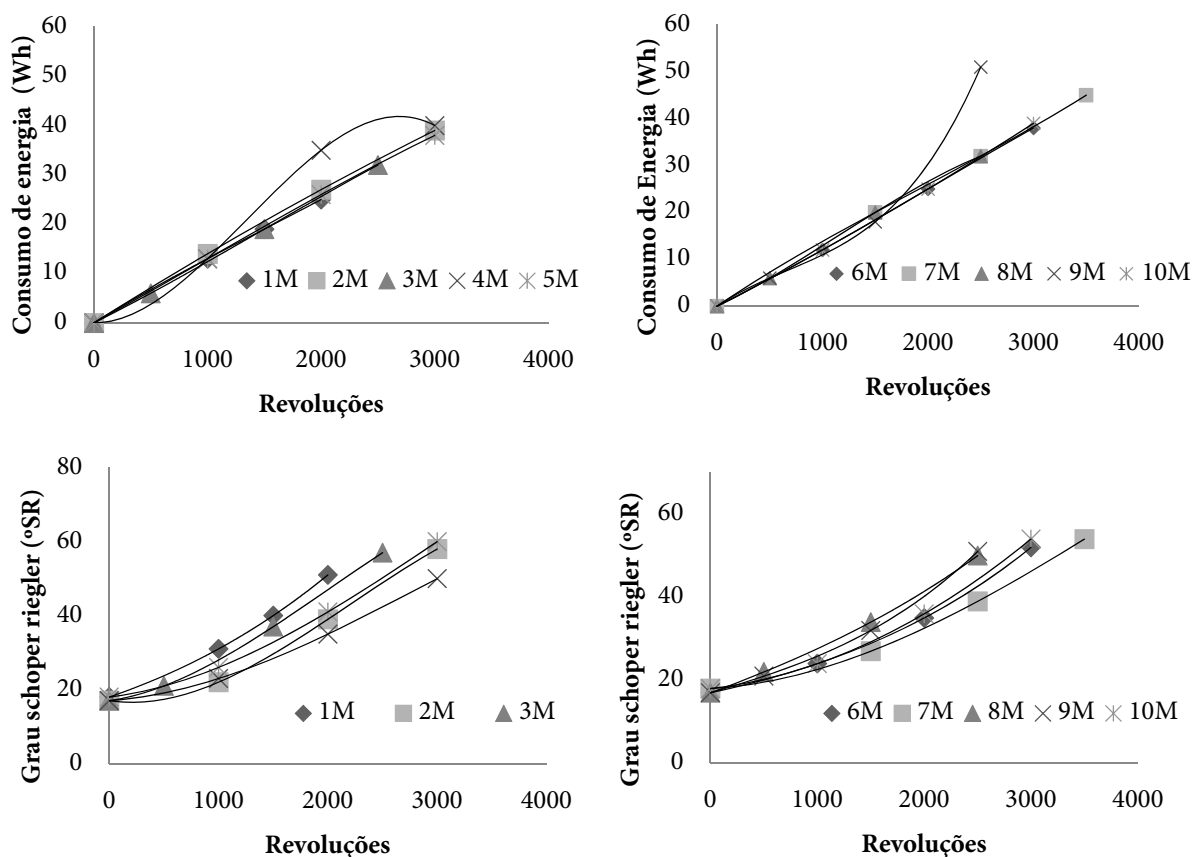
O esforço do refino causa o achatamento das fibras, reduzindo o volume antes ocupado pelo lume da fibra (D'ALMEIDA, 1988). Com isso a espessura da folha diminui, o peso específico aparente (P.E.A.) aumenta e o volume

específico aparente (V.E.A) diminui devido à redução dos espaços vazios por unidade de volume (Figura 2). Para todas as polpas avaliadas, estes fenômenos ocorreram principalmente nos primeiros intervalos de refino, com tendência a estabilização em refino com maior número de revoluções.

Para as propriedades mecânicas, a aplicação do refino melhorou todos os parâmetros avaliados (Figura 3). O refino aumenta o número de ligações entre as fibras em detrimento da degradação das mesmas (SCOTT; ABBOT, 1995; SILVA; OLIVEIRA, 2000). Os parâmetros índice de tração, índice de arrebentamento e resistência à passagem de ar são mais dependentes das ligações entre as fibras e por isso foram favorecidos com o refino em altas rotações.

O índice de rasgo aumentou nos primeiros intervalos de refino devido ao maior número de ligações entre as fibras (D'ALMEIDA 1988). Entretanto, como a lâmina que mede a força para o rasgo corta a fibra e como nos refinados com alta intensidade as fibras se encontram mais degradadas, elas são mais fáceis de serem cortadas, diminuindo o índice de rasgo. Este comportamento também foi relatado por Queiroz et al. (2004) e Pedrazzi et al. (2010).

Para a resistência à passagem de ar, a aplicação de altas revoluções degradou as fibras de forma intensa, aumentando a geração de finos de forma exponencial. Estes finos são pequenas partículas que preenchem os espaços vazios dentro da folha, obstruindo espaços que poderiam ser utilizados para facilitar a passagem de ar (D'ALMEIDA, 1988).



**Figura 1.** Consumo de energia e grau Schoper Riegler (°SR) em função do número de revoluções durante o refino.

**Figure 1.** Energy consumption and Schopper Riegler degree (°SR) as a function of the number of revolutions during the refining.

Mokfienski et al. (2008) relataram alteração de 35,5 para 86,0 Nm/g no índice de tração, 8,1 para 9,8 mN.m<sup>2</sup>/g no índice de rasgo e de 4,36 para 7,3 MN.m/g para o módulo de elasticidade em polpas não refinadas e polpas refinadas até 30 Graus Schopper Riegler. Evidenciando a mesma relação entre propriedades da polpa e grau de refino encontradas neste trabalho.

Os valores de opacidade variaram entre 67,19 e 81,65% e o coeficiente de dispersão de luz entre 22,21 e 47,83 m<sup>2</sup>/kg para as polpas com e sem refino (Figura 2).

As polpas sem refino possuem alta fração de espaços vazios em seu interior, como a luz precisa passar por dois meios, o ar e a parede da fibra, a mesma tende a sofrer difração e se dissipar (SCOTT; ABBOT, 1995). Nas polpas refinadas,

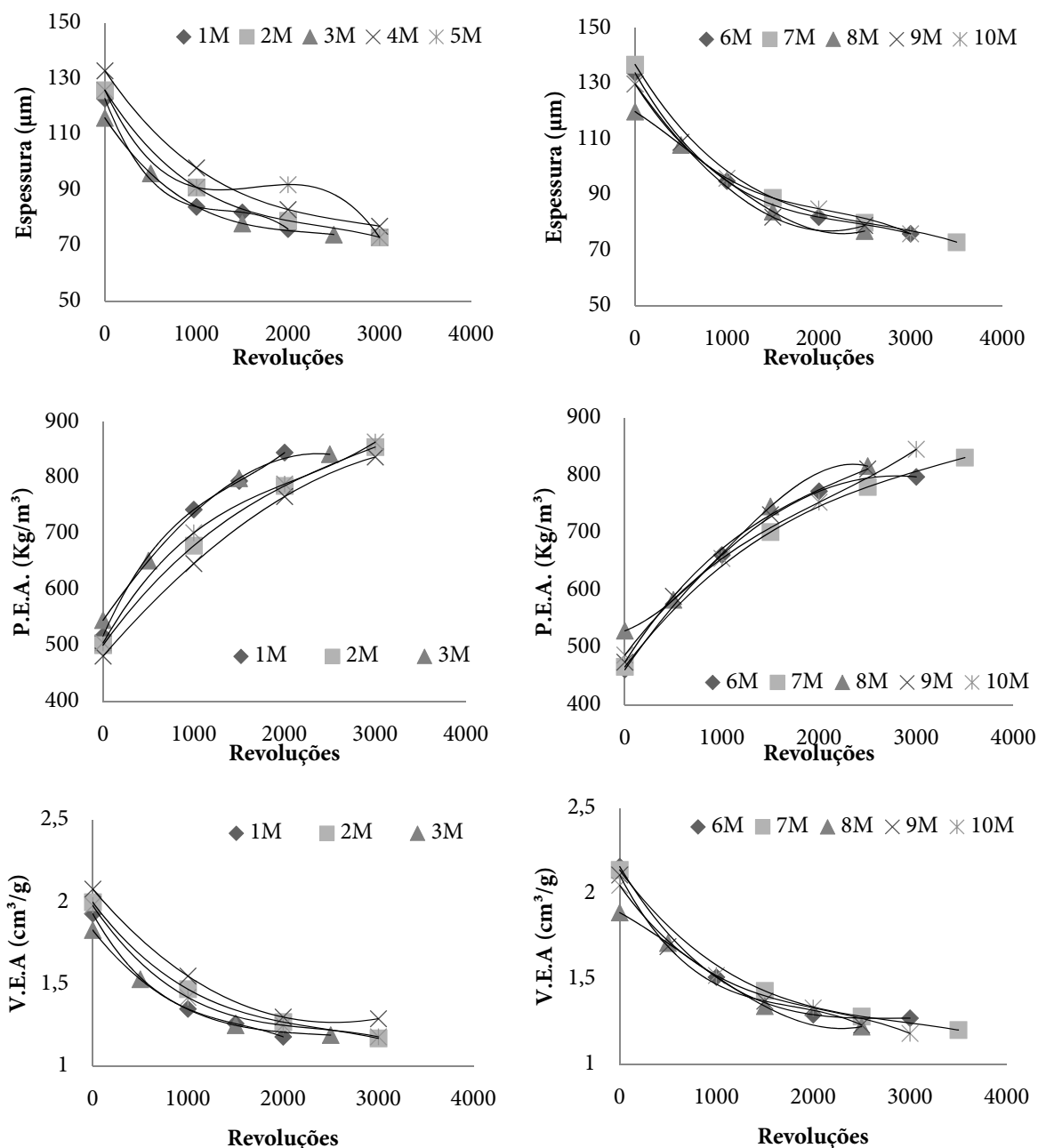


Figura 2. Propriedades físicas do papel em função no número de revoluções durante o refino. P.E.A= Peso específico aparente; V.E.A= Volume específico aparente.

Figure 2. Physical properties of the paper as a function of number of revolutions during the refining. P.E.A = Apparent specific weight; V.E.A. = Apparent specific volume.

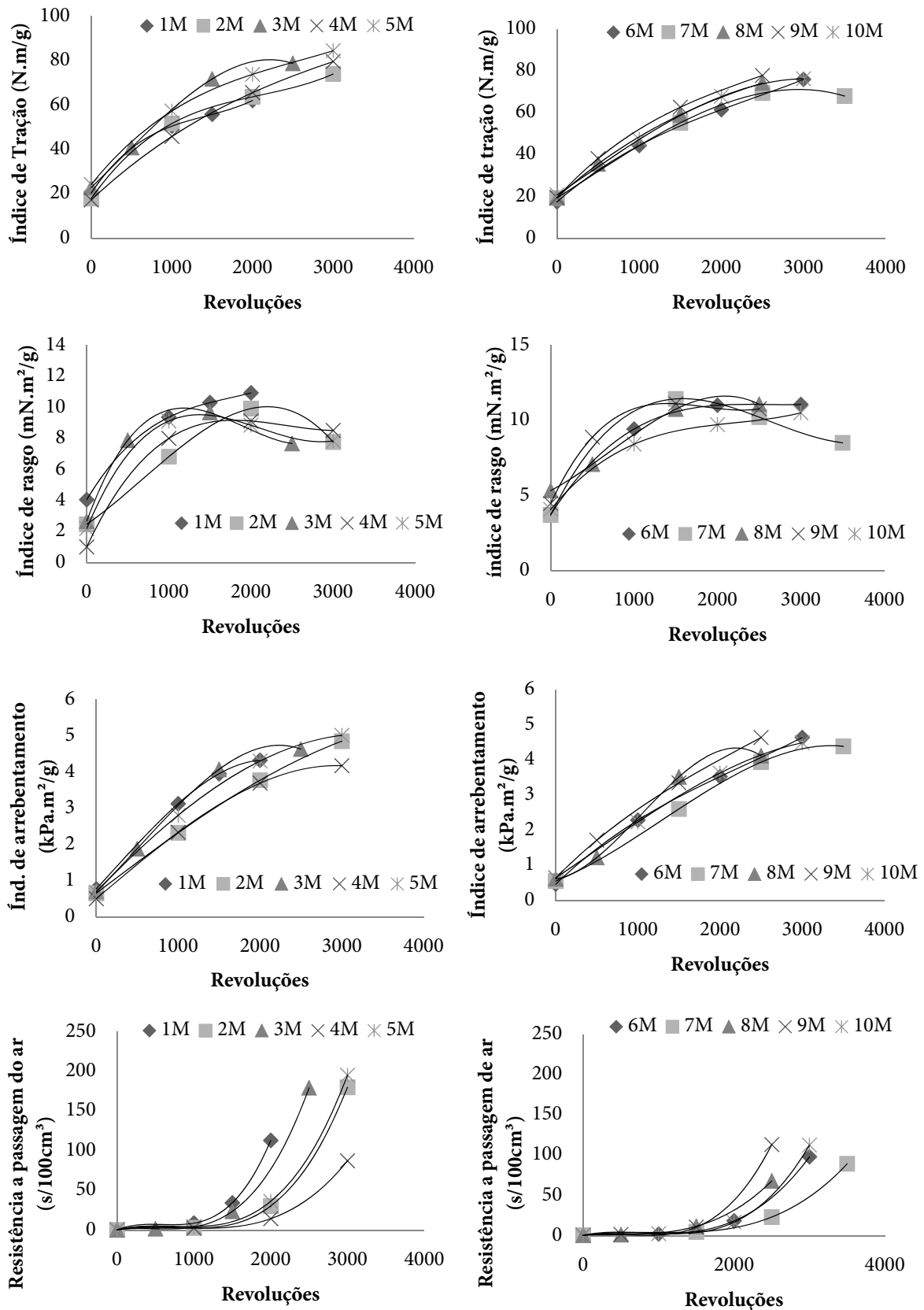


Figura 3. Propriedades mecânicas do papel em função no número de revoluções durante o refino.

Figure 3. Mechanical properties of paper as a function of number of revolutions.

que possuem praticamente apenas parede celular das fibras em seu interior, a luz precisa atravessar apenas um meio, o que torna mais fácil a luz atravessar seu interior e por isso a opacidade e o coeficiente de dispersão de luz diminuem.

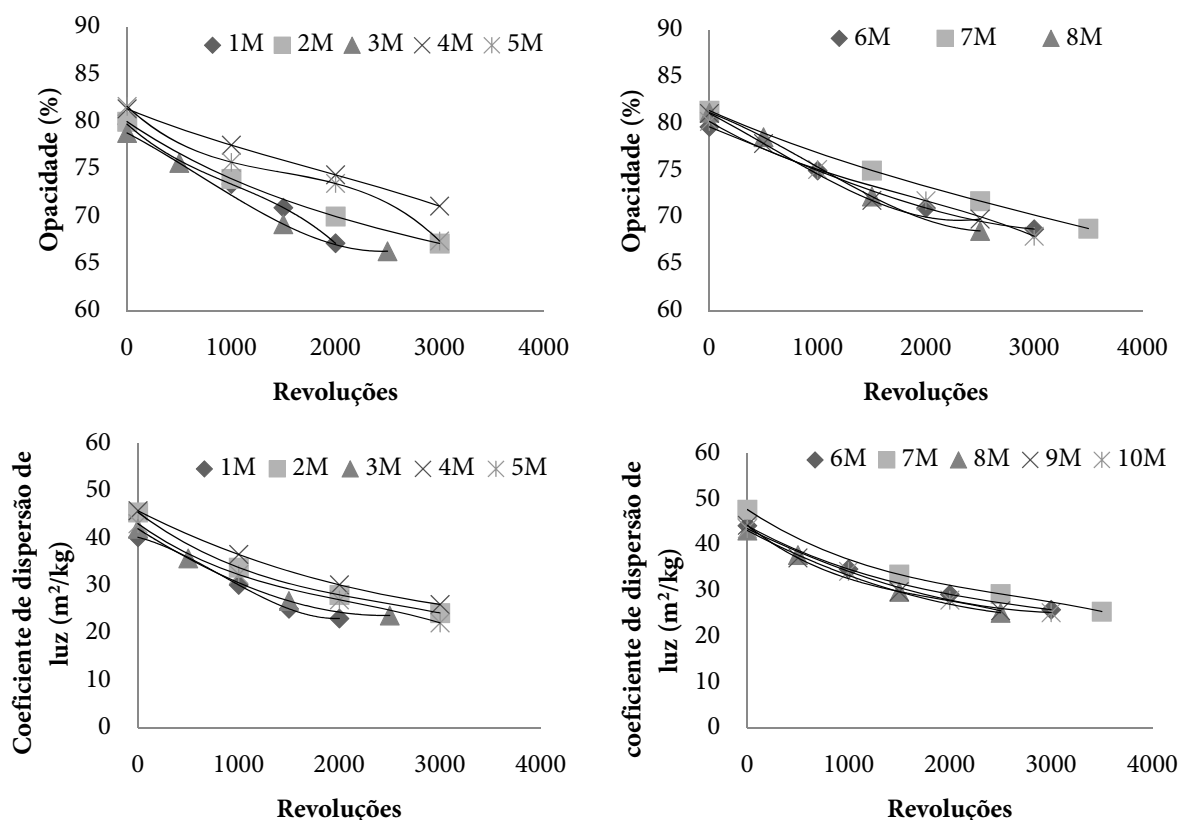
Queiroz et al., (2004), relataram diminuição de 77 para 65 % na opacidade e de 37 para 25  $m^2/kg$  do coeficiente de dispersão de luz em polpas de *Eucalyptus grandis*  $\times$  *Eucalyptus urophylla*. Semelhante a tendência de diminuição da opacidade e coeficiente de dispersão de luz com o refino encontradas neste trabalho.

O efeito do refino atuou de diferentes formas nas propriedades físicas, mecânicas e ópticas do papel. Desse modo, a aplicação desta técnica deve ser adaptada para o destino final do produto.

## Conclusões

O refino alterou as propriedades físicas, mecânicas e ópticas do papel. Para as propriedades físicas, o refino diminuiu a espessura das folhas, aumentando e peso específico aparente e diminuindo o volume específico aparente. Houve aumento da resistência mecânica, entretanto nos tratamentos com alta intensidade de refino, os valores para o índice de rasgo caíram. Por fim, houve piora das propriedades ópticas com a ação do refino.

O refino interage de maneira diferente nas propriedades do papel, desse modo, o seu uso e sua intensidade devem ser padronizados para a finalidade do produto.



**Figura 4.** Propriedades ópticas do papel em função do número de revoluções durante o refino.

**Figure 4.** Optical properties of the paper as a function of number of revolutions during the refining.

## Referências

- ANDREW, J.E.; JOHAKIMU, J.; NGEMA, N.E. Ozone bleaching of South African *Eucalyptus grandis* kraft pulps containing high levels of hexenuronic acids. **Tappi journal**, v. 12, n.8, p.9-16, 2013.
- BIERMANN, C. J. Handbook of pulping and papermaking 2nd ed. San Diego, CA: Academic Press. 1996.
- D'ALMEIDA, M. L. O. Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2.ed., São Paulo: IPT, 1988. p. 45-106.
- DELUCIS, R.A.; GATTO, D.A.; STANGERLIN, D.M.; CADEMARTORI, P.H.G.; WEINERT, L.C.; VEGA, R.A. Segregação e variação radial de propriedades físicas da madeira juvenil e adulta de cedro (*Cedrela fissilis* Vellozo). **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 100, p. 549-556, 2013.
- IBA. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Anuário Estatístico da IBA 2015. Ano Base 2014, 64 pp, 2015. Disponível: [http://www.iba.org/images/shared/iba\\_2015.pdf](http://www.iba.org/images/shared/iba_2015.pdf)
- IWAKIRI, S.; MATOS, J.L.M.; TRIANOSKI, R.; PRATA, J.G.; ROCHA, V.Y.; IWAKIRI, V.T. Estimativa do módulo de elasticidade dinâmico nas diferentes posições do tronco das árvores de *Tectona grandis* utilizando método de ondas acústicas. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 100, p. 523-532, 2013.
- MANFREDI, M.; OLIVEIRA, R.C.; SILVA, J.C. Melhoria das propriedades de papéis reciclados através da ultrassonificação das fibras e adição de xilanas. **Revista Árvore**, v.36, n.4, p.777-785, 2012.
- MANFREDI, M.; OLIVEIRA, R.C.; SILVA, J.C.; REYES, R.I.Q. Ultrasonic treatment of secondary fibers to improve paper properties. **Nordic Pulp & Paper Research Journal**, v. 28, p. 297-301, 2013.
- MOKFIENSKI, A; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, A.M.L.A. A importância relativa da densidade de madeira e do teor de carboidratos no rendimento de polpa e na qualidade do produto. **Ciência Florestal**, v.18, n.3, p.407-419, 2008.
- PEDRAZZI, C.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, R.C.; MUGUET, M.C.S.; GOMIDE, J.L. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de polpas produzidas por novas sequências de branqueamento. **Ciência Florestal**, v.20, n.1, p.123-135, 2010.
- PEDRAZZI, C.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, R.C.; WILLE, V.K.D. Avaliação morfológica das fibras de polpas Kraft de Eucalipto com diferentes conteúdos de Xilanas. **Scientia Forestalis**, v.41, n.100, p.515-522, 2013.
- QUEIROZ, S.C.S.; GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, R.C. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Árvore**, v.28, n.6, p.901-909, 2004.
- SCOTT, W.; ABBOT, J.C. Properties of paper: an introduction. Atlanta: Tappi Press, 1995. p.15-39.
- SILVA, R. P.; OLIVEIRA, R. C. Efeitos da ação do refino e da reciclagem nas propriedades de papéis de pinus e eucalipto. **Revista Árvore**, v. 24, n.2, p.349-360, 2000.
- SIMON, M.; BROSTAUX, Y.; VANDERGHEM, C.; JOUREZ, B.; PAQUOT, M.; RICHEL, A. Optimization of a formic/acetic acid delignification treatment on beech wood and its influence on the structural characteristics of the extracted lignins. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, v.89, n.1, p.128-136, 2014.
- VALENTE, B.M.R.T.; EVANGELISTA, W.V.; SILVA, J.C.; DELLA LUCIA, R.M. Variabilidade radial e longitudinal das propriedades físicas e anatômicas da madeira de angico-vermelho. **Scientia Forestalis**, v.41, n.100, p.485-496, 2013.
- TAPPI - TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY- TAPPI test methods: 1992-1993. Atlanta, 1992.