

COMPARAÇÕES ENTRE AS FIBRAS DE CELULOSE DE EUCALIPTO, PINUS E DA CANA-DE-AÇÚCAR NA PRODUÇÃO DE PAPEL

Apresentado no
4º Congresso de Pós-Graduação do IFSP
27 e 28 de novembro de 2019- Sorocaba-SP, Brasil

RESUMO: O bagaço de cana-de-açúcar é um resíduo gerado da indústria sucroalcooleira, rico em componentes de materiais lignocelulósicos, como a celulose e hemicelulose. Estes podem ser empregados como matéria-prima no segmento de papel e celulose, porém pouco aplicados no ramo papelero pela disponibilidade das fontes tradicionais que são o *Eucalyptus* e *Pinus*. O objetivo desse trabalho foi comparar as propriedades físicas e mecânicas dos papéis obtidos a partir da celulose extraída da cana-de-açúcar, *Eucalyptus* e *Pinus* pelo método *Kraft*. Foram utilizadas quatro amostras de papéis: celulose obtida 100% de fibra de cana-de-açúcar (I), celulose obtida 100% de fibra de *Eucalyptus* (II), 75% celulose de *Eucalyptus* + 25% celulose de *Pinus* (III) e 75% celulose de bagaço de cana-de-açúcar + 25% de celulose de *Pinus* (IV). Foram realizados testes físicos e mecânicos de acordo com as metodologias que regulamentam o setor papelero. Os resultados indicam que o papel obtido a partir da celulose da cana-de-açúcar possui características físicas e mecânicas semelhantes ao papel tradicional produzido com *Eucalyptus*. Características particulares como boa resistência ao rasgo e tração, maior porosidade e umidade podem ser ajustadas para adequar o papel dessa fonte ao seu uso apropriado. De modo geral, a celulose de cana-de-açúcar demonstra-se como uma opção frente ao uso do *Eucalyptus* e *Pinus* na obtenção de papéis de qualidade sustentável, tornando-se uma alternativa para a utilização de um resíduo agrícola.

PALAVRAS-CHAVE: Lignocelulósicos; setor papelero; método kraft.

COMPARISON BETWEEN EUCALYPTUS, PINUS AND SUGAR CANE CELLULOSE FIBERS IN PAPER PRODUCTION

ABSTRACT: Sugarcane bagasse is a residue generated by the sugar-alcohol industry, rich in components of lignocellulosic materials, such as cellulose and hemicellulose. These can be used as raw material in the pulp and paper segment, but little applied in the paper branch due to the availability of the traditional sources that are *Eucalyptus* and *Pinus*. The objective of this work was to compare the physical and mechanical properties of the papers obtained from the cellulose extracted from sugarcane, *Eucalyptus* and *Pinus* by the Kraft method. Four paper samples were used: cellulose obtained 100% sugar cane fiber (I), cellulose obtained 100% *Eucalyptus* (II) fiber, 75% *Eucalyptus* cellulose + 25% *Pinus* (III) cellulose and 75% cellulose of sugarcane bagasse + 25% of cellulose of *Pinus* (IV). Physical and mechanical tests were performed based on regulatory methodologies of the paper industry. The results indicate that the paper obtained from the sugarcane cellulose has physical and mechanical characteristics similar to the traditional paper with *Eucalyptus*. Particular features such as good tear and tensile strength, increased porosity and moisture can be adjusted to suit the role of this source to its proper use. In general, sugarcane pulp is an option for the use of *Eucalyptus* and *Pinus* in obtaining sustainable quality paper, making it an alternative for the use of agricultural residue.

KEYWORDS: Lignocellulosics; paper sector; kraft method.

INTRODUÇÃO

A produção de celulose e papel é de grande importância na economia dos Países, pela grande demanda desse material no cotidiano das pessoas. O uso desse material de fonte renovável leva a uma constante preocupação com o meio ambiente, por isso há o aumento pela procura de métodos que utilizam resíduos agrícolas para obtenção de novos produtos com maior valor agregado (Associação dos Registradores Imobiliários de São Paulo - ARISP, 2018).

O Brasil é um dos principais produtores de celulose e papel e a indústria brasileira é mundialmente competitiva no setor. Verifica-se que o setor florestal tem contribuído com parcelas cada vez maiores para a economia brasileira (SALLES et al., 2011). No Brasil, a celulose destinada

para a produção de papel é proveniente de duas espécies vegetais: *Eucalyptus* e *Pinus*, dependendo das características do produto final requeridas (MIRANDA, 2008).

Como alternativa às fontes tradicionais utilizadas para a produção da celulose, destacam-se as fibras provenientes do bagaço de cana-de-açúcar, muito acessíveis no Brasil, por ser líder mundial de fornecimento de todo açúcar comercializado no mundo (Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos - DEPEC, 2017). As fibras provenientes do bagaço de cana-de-açúcar apresentam porcentagem significativa de celulose em sua composição, propiciando a produção de papéis totalmente recicláveis, o que acarretaria a diminuição de resíduos descartados na natureza (ARISP, 2018).

Para o setor florestal brasileiro, a temática socioambiental é de especial relevância (BORSATO et al., 2010), assim o presente trabalho objetivou comparar as propriedades físicas e mecânicas de papéis obtidos a partir de celuloses extraídas de *Eucalyptus*, *Pinus* e cana-de-açúcar através do método *Kraft*.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção das celuloses e Preparo das folhas de papel

As celuloses empregadas nos testes foram obtidas a partir de extração *Kraft* e foram fornecidas pelas empresas Fibria Papéis – Jacareí - SP e GCE Papéis - São Paulo - SP. As amostras foram codificadas com o número 1 (fibras 100% celulose de *Eucalyptus*), 2 (fibras 100% celulose de bagaço de cana-de-açúcar), 3 (fibras 75% celulose de *Eucalyptus* + 25% celulose de *Pinus*) e 4 (fibras 75% celulose de bagaço de cana + 25% de celulose de *Pinus*).

A preparação das folhas de papel foi desenvolvida em conformidade com a Norma Brasileira Regulamentadora, International Organization for Standardization, Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR ISO ABNT) 5269-1 (ABNT, 2006a). As fibras de celulose recebidas das empresas foram desagregadas em água com agitação intensa por um *hidrapulper*, em seguida receberam uma carga de aditivos composta por 20% (p:p) de carbonato de cálcio + 10% (p:p) agente de colagem Hi-phase + 10% (p:p) sulfato de alumínio. A massa celulósica obtida foi enviada ao formador, onde a água em excesso foi drenada, restando assim somente o percentual fibroso. Por fim, o material foi prensado e seco em esteira secadora até massa constante. Todas as análises posteriores foram realizadas em ambiente climatizado (23°C e 50% de Umidade Relativa).

Determinação da gramatura e espessura

Para a gramatura cortou-se o corpo de prova na medida de 17cm x 17cm e calculou-se a área do mesmo. Posteriormente, pesou-se o corpo de prova em balança semi analítica com precisão de 0,001g. O resultado é expresso pela massa da amostra dividido por sua área. O procedimento foi realizado em triplicata. A metodologia seguiu o procedimento descrito na ABNT NBR NM ISO 536 (ABNT, 2002). Após esta análise, as gramaturas dos papéis foram fixadas para os demais testes, pois essa medida impacta diretamente em todos os demais resultados. Na etapa de formação das folhas, calculou-se a consistência da massa e estabeleceu-se a mesma proporção de gramatura para todos os papéis.

Para a determinação da espessura foi verificado se o micrômetro se encontrava posicionado na escala “zero”. Em seguida a folha de amostra foi posicionada e o disco móvel foi baixado com resolução de 5 µm e exatidão de ± 2,5µm) até encostar na folha de papel. O procedimento foi realizado em triplicata. A metodologia seguiu o procedimento descrito na ABNT NBR NM ISO 534 (ABNT, 2006b).

Determinação de opacidade e porosidade

Para a opacidade, as amostras de papel foram posicionadas sobre uma superfície reta e preferencialmente de material cerâmico, e realizou a leitura com equipamento de refletância difusa de resolução 1% e exatidão de +/- 5% (% unidade de escala do equipamento – valor absoluto). O procedimento foi realizado em triplicata. A metodologia seguiu o procedimento descrito na ABNT NBR NM ISO 2471 (ABNT, 2001a).

Para o ensaio de porosidade foi utilizada a metodologia de Gurley descrita pela ABNT NBR NM ISO 5636-5 (ABNT, 2006c). As amostras foram posicionadas entre os discos, vedadas e na sequência o tempo no equipamento foi ajustado para a passagem de 100 mL de ar e realizou-se a leitura no visor do equipamento. O procedimento foi realizado em triplicata.

Resistência ao rasgo, à tração (úmida e seca) e teor de umidade

Para a determinação da resistência ao rasgo, um dinamômetro acoplado a guilhotina foi ajustado conforme ABNT NBR NM ISO 1974 (ABNT, 2001b). A amostra de papel foi dobrada em duas partes e posicionada no equipamento, com posterior acionamento do gatilho para destravar o contrapeso (pêndulo), a fim de que o rasgo ocorresse e a guilhotina fosse travada no retorno para que não haja alteração na posição do ponteiro. As leituras obtidas na escala graduada foram indicadas pelo ponteiro. O procedimento foi realizado em triplicata. Os testes foram realizados em dois sentidos, longitudinal (LO) e transversal (TR), em decorrência da formação fibrosa das folhas quando preparadas.

Para os ensaios de tração úmida e seca, utilizou-se um dinamômetro com exatidão de $\pm 0,1$ kgf entre 0 e 5,9 kgf e de $\pm 0,2$ kgf acima de 5,0 kgf). O ensaio foi realizado conforme a ABNT NBR NM ISO 14874 (ABNT, 2008) e ABNT NBR NM ISO 1924-1 (ABNT, 2001c), respectivamente. Para tanto, mergulhou-se o corpo de prova em recipiente contendo água destilada por 20 ± 2 segundos. Depois, colocou-se o corpo de prova entre folhas de papel absorvente e removeu-se o excesso de água pressionando o maço de folhas absorventes contra o mesmo.

O corpo de prova foi disposto no dinamômetro, evitando tocar com os dedos a parte que iria ficar entre as garras de fixação. Liberou-se o gancho de fixação do pêndulo e aplicou-se a carga, pressionando para baixo a alavanca de comando; anotou-se a leitura assim que houve a ruptura do corpo de prova, ao observar o ponteiro na escala de leitura de tração. O procedimento foi realizado em triplicata.

Para a determinação do teor de umidade (base úmida), certificou-se que a estufa estivesse mantida à temperatura de 105 ± 3 °C. Pesou-se o corpo de prova e o dispôs na estufa por um período de no mínimo 30 minutos, quando a massa é considerada constante; retirou-se o corpo de prova da estufa e pesou-se novamente. A umidade (em porcentagem) foi determinada. O procedimento foi realizado em triplicata. A metodologia seguiu o procedimento descrito na ABNT NBR NM ISO 287 (ABNT, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho realizaram-se testes comparativos entre as fibras de *Eucalyptus*, *Pinus* e bagaço de cana-de-açúcar. Os valores médios das propriedades obtidos dos testes realizados nas amostras de papel produzidas constam na Tabela 1.

TABELA 1. Resultados das propriedades obtidas dos testes realizados nas amostras de papel produzidas.

| Propriedades | Unidades | Amostras | | | | |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Gramatura | g m ⁻² | 120,67±3,21 | 122,40±1,04 | 121,70±1,05 | 125,37±2,02 | |
| Espessura | Mm | 2,42±0,02 | 2,16±0,03 | 2,35±0,12 | 2,29±0,03 | |
| Opacidade | % | 90,66±0,57 | 87,63±1,33 | 88,16±1,94 | 83,53±3,75 | |
| Porosidade | Seg 100cc ⁻¹ | 2,41±0,03 | 6,00±0,11 | 5,12±0,65 | 8,43±0,50 | |
| Resistência ao rasgo | LO | MNm ² g ⁻¹ | 14,43±0,30 | 19,16±0,11 | 16,16±0,21 | 23,67±0,77 |
| | TR | MNm ² g ⁻¹ | 15,97±0,11 | 23,16±0,05 | 20,80±0,20 | 25,40±1,04 |
| Resistência à tração úmida | LO | MNm ² g ⁻¹ | 0,40±0,00 | 0,23±0,05 | 0,23±0,15 | 0,23±0,15 |
| | TR | MNm ² g ⁻¹ | 0,33±0,05 | 0,20±0,00 | 0,26±0,05 | 0,30±0,00 |
| Resistência à tração seca | LO | MNm ² g ⁻¹ | 8,50±0,20 | 4,83±0,05 | 3,40±0,36 | 6,06±0,05 |
| | TR | MNm ² g ⁻¹ | 5,50±0,00 | 6,50±0,17 | 4,10±0,43 | 4,90±0,20 |
| Umidade | % | 6,06±0,05 | 7,23±0,05 | 6,73±0,21 | 7,56±0,05 | |

Amostra 1: 100% celulose de *Eucalyptus*; 2: 100% celulose de bagaço de cana-de-açúcar; 3: 75% celulose de *Eucalyptus* + 25% de *Pinus*; e 4: 75% celulose de bagaço de cana + 25% de *Pinus*.

Os resultados indicaram que o papel composto apenas por fibras de *Eucalyptus* foi o menos poroso, porém quando misturado às de *Pinus* na proporção de 3:1 apresentou uma porosidade

semelhante àquele composto apenas por bagaço de cana-de-açúcar. Já o papel composto pela mistura de bagaço de cana-de-açúcar e *Pinus*, na mesma proporção, foi o que apresentou a maior porosidade, o que pode acarretar em baixa permeabilidade do papel. Papéis com alta porosidade estão sendo utilizados como alternativas às membranas nitrocelulósicas e microcapilares para ensaios biológicos (HANSSON et al., 2016). Apesar dessa possibilidade de mercado, ressalta-se que o papel obtido com 100% de cana-de-açúcar (amostra 2) apresentou porosidade semelhante ao tradicional formado pela mistura de *Pinus* e *Eucalyptus* (amostra 3).

A resistência ao rasgo (ou fratura), assim como à tração (ou alongamento) do papel foi relacionada com o comprimento das fibras que o compõem. Quanto mais longa a fibra, mais resistente será o papel. Algumas pesquisas indicam que as fibras mais finas dão uma maior resistência do que as mais espessas (SETH, 1996; YU, 2001; HILTUNEN, PAULAPURO, 2011).

Neste sentido, para o ensaio de resistência ao rasgo, a mistura entre as fibras curtas do bagaço da cana-de-açúcar apresentou efeito sinérgico com as longas de *Pinus* (amostra 4). O mesmo não foi observado entre a mistura de fibras de *Eucalyptus* e *Pinus* (amostra 3). Quanto às amostras contendo 100% de fibras mais curtas, a de bagaço de cana-de-açúcar (amostra 2) apresentou maior resistência à ruptura, quando comparada à de *Eucalyptus* (amostra 1), indicando que apenas o comprimento da fibra não pode explicar a característica de resistência (ANDRADE et al., 2013). Este fato foi confirmado pela observação dos resultados do ensaio de resistência à tração, quando o papel com maior resistência foi o composto 100% de fibras curtas (amostra 1). No entanto, as amostras não apresentaram diferença significativa no ensaio de tração úmida.

As propriedades de tração são também influenciadas pelo módulo de elasticidade, que não é dependente no comprimento da fibra, e sim da ativação de segmentos específicos da fibra, como ligação interfibra e resistência das fibras (HILTUNEN et al., 2002).

CONCLUSÕES

Os resultados indicaram que bagaço de cana-de-açúcar é promissor para a utilização na indústria papelreira. Dentre as principais características do papel obtido pela substituição do *Eucalyptus* pelo bagaço da cana-de-açúcar se destaca as melhores resistências ao rasgo e à tração e melhores valores de porosidade e umidade.

Tendo em consideração os resultados da pesquisa e a disponibilidade do bagaço da cana-de-açúcar no Brasil, mais estudos devem ser realizados com vistas à incorporação dessas fibras em aplicações no setor papelreiro.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A.S.; HERNANDEZ, J. A.; KLOCK, U. Polpa e Papel. 3.ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR ISO - 14874: Pastas celulósicas – Determinação da resistência à tração zero-span, a úmido ou a seco. Rio de Janeiro: 2008.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR ISO – 5269-1: Pastas celulósicas - Preparação de folhas em laboratório para ensaios físicos - Parte 1: Método do formador de folhas convencional. Rio de Janeiro: 2006a.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR ISO - 534: Papel e cartão – Determinação da espessura, densidade e volume específico. Rio de Janeiro: 2006b.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR ISO – 5636-5: Papel e cartão – Determinação da permanência e resistência ao ar (faixa média) – Parte 5: Método Gurley. Rio de Janeiro: 2006c.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBRNM ISO - 536: Papel e cartão – Determinação da gramatura. Rio de Janeiro: 2002.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBRNM ISO - 2471: Papel e cartão – Determinação da opacidade (fundo de papel) – Método da reflectância difusa. Rio de Janeiro: 2001a.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBRNM ISO - 1974: Papel – Determinação da resistência ao rasgo – Método Elmendorf. Rio de Janeiro: 2001b.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBRNM ISO – 1924-1: Papel e cartão – Determinação das propriedades de tração – Parte 1: Método da velocidade constante de carga. Rio de Janeiro: 2001c.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBRNM ISO – 287: Papel, cartão e papelão – Determinação da umidade por secagem em estufa. Rio de Janeiro: 2012.

ARISP - Associação dos Registradores Imobiliários de São Paulo. Relatório de sustentabilidade [Internet]. 2018 [cited 2019 August 20]. Available https://s3-us-west-2.amazonaws.com/ungc-production/attachments/cop_2018/470192/original/Relat%C3%B3rio_Sustentabilidade_ARISP_2018.pdf?1544554898

BORSATO, R., KAUCHAKJE. S., ROCHADELLI, R. Rede de responsabilidade socioambiental: uma metodologia para análise no setor de celulose e papel. Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.34, n.2, p.355-365, 2010.

DEPEC - Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos do Banco Bradesco. Papel e Celulose. Disponível em: <https://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_acucar_etanol.pdf> Acesso em: 24 set. 2017.

HANSSON, J., YOSUGA; HARALDSSON, T.; Wouter van der wijngaart. synthetic microfluidic paper: high surface area and high porosity polymer micropillar arrays. *Lab Chip*, 2016, 16, 298–304.

HILTUNEN, E.; KETTUNEN, H.; LAINE, J.E.; PAULAPURO, H. (2002): Behaviour of Reinforcement Fibres in TMP-Based Paper. *Pap. Puu* 84 (4) 269-273.

HILTUNEN, E.; PAULAPURO, H. Effect of long-fibred reinforcement pulp on mechanical properties of short fibred-based paper. *O PAPEL* vol. 72, num. 8, pp. 42 - 48 AUG 2011.

MIRANDA, R.E.S. Impactos ambientais decorrentes dos resíduos gerados na produção de papel e celulose [dissertação]. Seropédica, RJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2008.

SALLES, T.T.; SILVA, M.L.; SOARES, N.S., MORAES, A.C. Exportação brasileira de papel e celulose: sua dinâmica pela equação gravitacional. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.35, n.3, p.573-580, 2011.

SETH, R. S. (1996): Optimizing reinforcement pulps by fracture toughness. *Tappi Journal*, vol. 79, no 1, pp. 170-178.

YU, Y. (2001): The effect of fiber raw material on some toughness properties of paper. Doctoral thesis, Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland.