



XVII – Volume 34 – Número 2 – Agosto de 2019

PAPÉIS MISTOS DE FIBRAS CURTAS RECICLADAS COM FIBRAS LONGAS DE AÇAÍ MODIFICADAS E NÃO- MODIFICADAS

SOUZA, Rafael Lucas Figueiredo de¹, SILVA, Anthoinny Vitória dos Santos²,
FONSECA, Vitória Nádia Andrade da³, CARVALHO JÚNIOR, Carlos Roberto de
Nazaré⁴; QUEIROZ, Leonardo Oliveira de⁵; SILVA, Luís Rennan da Silva da⁶; LIMA,
Gabiella Alves de⁷, BUFALINO, Lina⁸

RESUMO – (PAPÉIS MISTOS DE FIBRAS CURTAS RECICLADAS COM FIBRAS LONGAS DE AÇAÍ MODIFICADAS E NÃO-MODIFICADAS) O objetivo deste trabalho foi desenvolver papéis mistos de papéis reciclados com fibras longas provenientes do resíduo do açaí. Foram coletados os resíduos de açaí de cinco bateadeiras diferentes em Macapá, Amapá, Brasil. Foi realizado o tratamento alcalino das fibras e a análise morfológica das fibras por microscópio eletrônico de varredura. As micrografias evidenciaram a desobstrução parcial das pontuações das fibras. As fibras possuem menor densidade em relação ao papel reciclado, logo, quanto maior o teor de fibras menor será a densidade do papel. As menores proporções de fibras tratadas e não-tratadas apresentaram melhor aderência e homogeneidade ao papel reciclado.

Palavras-chave: Papéis, reciclagem, resíduos florestais, homogeneidade, aderência.

ABSTRACT – (MIXED PAPERS OF SHORT FIBERS RECYCLED WITH LONG FIBERS OF AÇAÍ MODIFIED AND UNMODIFIED) The aim of the article was to create mixed papers of recycled papers with long fibers from açaí's residues. Açaí residues were collected from five different commercial points in Macapá, Amapá, Brazil. The alkaline treatment of the fibers and the morphological analysis of the fibers were performed by scanning electron microscopy. The micrographs evidenced the partial clearing of the fiber spots. The fibers have lower density than recycled paper, so, the higher the fiber content, the lower the paper density. The lower proportions of treated and untreated fibers presented better adhesion and homogeneity to the recycled paper.

Keywords: Paper, recycle, forest wastes, homogeneity, adhesion.

¹Universidade Federal de Lavras – UFLA – Lavras/MG – Brasil. rafaelflorestal55@gmail.com

²Universidade do Estado do Amapá – UEAP – Macapá/AP – Brasil, vittoria.sntsilva@gmail.com

³Universidade do Estado do Amapá – UEAP – Macapá/AP – Brasil, fonseca.vna@gmail.com

⁴Universidade do Estado do Amapá – UEAP – Macapá/AP – Brasil, croberto1231@gmail.com

⁵Universidade do Estado do Amapá – UEAP – Macapá/AP – Brasil, leoxap94@gmail.com

⁶Universidade do Estado do Amapá – UEAP – Macapá/AP – Brasil, luisrennan.lr@gmail.com

⁷Universidade do Estado do Amapá – UEAP – Macapá/AP – Brasil, florestalgabriella@gmail.com

⁸Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA – Belém/PA – Brasil, linabufalino@yahoo.com.br

1. INTRODUÇÃO

Resíduos de papel são frequentemente dispostos no ambiente de forma inadequada e requerem manejo e desenvolvimento de tecnologias para sua reutilização (JÉSUS; ALDA, 2008). A produção de papel reciclado é uma alternativa de extrema relevância.

Para cada tonelada de papel reciclado pelo menos 30000 l de água deixam de ser gastos e a poluição gerada no processo é 95% menor em relação ao papel convencional (BAJPAI, 2010).

No entanto, normalmente, o papel reciclado apresenta qualidade inferior ao papel convencional. Um dos problemas é que as fibras vegetais de eucalipto, também conhecidas como fibras curtas, podem se tornar muito quebradiças durante processos contínuos de reciclagem, afetando a qualidade final do produto. Uma das formas de minimizar esses problemas é a adição de fibras vegetais “longas” ao papel reciclado. É importante ter uma combinação de fibras curtas e longas para gerar um papel com qualidade aceitável (MISMAN et al., 2008).

Na Amazônia, existe uma alta diversidade de fibras longas não madeireiras com potencial para produção de papel (SANTOS, 2012). Dentre essas pode-se destacar as fibras de natureza lignocelulósica que compõe o resíduo do

açai após seu processamento, sendo facilmente removidas das superfícies das sementes. O açazeiro (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma palmeira tropical nativa da Amazônia que fornece um alimento muito consumido pelas populações regionais (OLIVEIRA, 2011). Dessa forma, os resíduos do processamento da polpa são gerados em grandes quantidades e são atualmente um sério problema de poluição ambiental nos estados onde a fruta é consumida. A alta disponibilidade da fibra na região é uma vantagem significativa para o desenvolvimento viável de novos biomateriais.

Para a produção de papel à partir das fibras lignocelulósicas, o método industrial da polpação kraft é o mais utilizado (RIGATO et al., 2004). Trata-se de uma degradação semi-química da matriz de hemiceluloses e lignina com a utilização de hidróxido de sódio e sulfito de sódio a altas temperaturas na presença de pressão (HAN et al., 2009). No que se refere à morfologia, o processo de tratamento alcalino resulta consequentemente na individualização das fibras (EL SEOUD et al., 2008).

Entretanto, um estudo prévio comprovou que é possível individualizar as fibras residuais de açai e remover parcialmente os componentes não-celulósicos utilizando processo de agitação

mecânica sem pressão e com temperaturas mais amenas (OLIVEIRA et al., 2016). Esse processo simplificado se trata de uma alternativa mais viável para regiões pouco desenvolvidas da Amazônia com alta disponibilidade de fibras de açaí, considerando também que estudos abordando a utilização sustentável desse recurso florestal não madeireiro para aplicação em papel reciclado são escassos até o momento.

Com o presente exposto, o objetivo desse trabalho foi desenvolver papéis mistos de papéis reciclados de fibras curtas com fibras longas provenientes do resíduo do processamento do açaí.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Coleta e preparo das fibras de açaí

Foi realizada a coleta de resíduos de açaí em cinco bateadeiras diferentes em Macapá, Amapá, Brasil. A lavagem do material foi conduzida em água corrente. A retirada das fibras da superfície da semente do açaí será realizada de forma manual.

2.2. Tratamento alcalino das fibras de açaí

Previamente aos tratamentos químicos, 10 g de fibra foram imersas em 1000 mL água destilada por 24 h com intuito de iniciar sua saturação e diminuir

seu volume. As soluções aquosas de NaOH com concentração de 5% do reagente foram aquecidas até a temperatura de 80°C utilizando uma placa de aquecimento. A temperatura foi controlada com auxílio de um termômetro. Ao atingir a temperatura desejada, as fibras foram imersas nas soluções e mantidas sob agitação mecânica por 1 h. Em seguida, as amostras foram lavadas com água corrente até pH neutro. Esse procedimento foi realizado até que não houvesse mais remoção aparente de substâncias das fibras, observado pela coloração da solução extrativa.

2.3. Processo de reciclagem do papel convencional

Foram coletados papéis convencionais residuais na Universidade do Estado do Amapá/Macapá. Os papéis foram primeiramente convertidos em pedaços menores com o auxílio de uma fragmentadora de papel modelo Swingline 130x. O procedimento para obtenção da polpa reciclada foi baseado na metodologia apresentada por Wattanakornsiri et al. (2011). Uma mistura de 100 g de papel picado, 6 g de hidróxido de sódio e 6 g de silicato de sódio foi acondicionada em um recipiente de 2 l que foi preenchido até completar seu volume com água destilada. A mistura foi submetida à agitação mecânica de 800 rpm por 20 min. A polpa

foi disposta em uma peneira de 16 mesh e lavada com água destilada até pH 7,0. As fibras foram secas em condições ambientes.

2.4. Composição das amostras e formação das folhas

Foram preparadas suspensões aquosas com consistência de 2% de fibras em água destilada, de acordo com o plano experimental disposto na Tabela 1.

As suspensões foram vertidas sobre um conjunto papel filtro posicionadas sob uma tela de nylon para filtração com bomba a vácuo conforme figura 1. De cada suspensão, foram obtidas 3 folhas que posteriormente foram secas em estufa a 40°C até evaporação da água.

Tabela 1: Plano experimental para as proporções entre as fibras, onde Fc são as fibras curtas provenientes do papel A4 convencional, Fl_n e Fl_m as fibras de açaí não modificadas e modificadas, respectivamente.

| Tratamento | Fibras curtas de papel reciclado (%) | Fibras de açaí in natura (%) | Fibras de açaí modificadas(%) |
|----------------------|---|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Fc | 100 | - | - |
| 8Fc/2Fl _n | 80 | 20 | - |
| 6Fc/4Fl _n | 60 | 40 | - |
| 4Fc/6Fl _n | 40 | 60 | - |
| 2Fc/8Fl _n | 20 | 80 | - |
| 8Fc/2Fl _m | 80 | - | 20 |
| 6Fc/4Fl _m | 60 | - | 40 |
| 4Fc/6Fl _m | 40 | - | 60 |
| 2Fc/8Fl _m | 20 | - | 80 |



Figura 1: Bomba a vácuo (a) conectada ao kitasato com funil (b) e suspensão aquosa do papel reciclado com fibras de açaí (c).

2.5. Análise das fibras

Para análise morfológica das fibras de açaí, as amostras foram espalhadas sobre fitas adesivas de carbono dupla-face, previamente coladas sobre o porta-amostras de alumínio (stubs), e recobertas com ouro. As micrografias de MEV foram obtidas por um microscópio eletrônico de varredura JMS 6510 (JEOL®) com uma voltagem de 10 kV. Os diâmetros das fibras foram medidos com o auxílio do Software *ImageJ*.

2.6. Densidade aparente dos papéis

A densidade aparente dos papéis foi determinada com a utilização de 6 repetições com as proporções de 80% de papel reciclado e 20% de fibra tratada e não tratada, além de 3 repetições com 100% de papel reciclado como testemunha,

conforme descrito por Rezende et al. (1988), de acordo com a Equação 1:

$$\rho_{\text{pap}} = m_{\text{pap}} / V_{\text{pap}} \quad \text{Eq.1}$$

Onde: ρ_{pap} = densidade aparente, g/cm^3

m_{pap} = massa seca de papel, g;

V_{pap} = volume aparente de papel, g.

2.7. Gramatura dos papéis

A gramatura é descrita como a massa do papel expressa em gramas por centímetro quadrado (g/cm^2), juntamente com o peso da folha são as mais importantes características tanto do ponto de vista da fabricação como do uso do papel. A gramatura exerce grande influência sobre as propriedades de resistência do papel e pode ser calculada pela (equação 2) proposta por (IPT, 1988b, SMOOK, 1992; SCOTT et al., 1995; BIERMANN, 1996).

$$g = \rho_{\text{pap}} / \text{espessura}_{\text{papel}} \quad \text{Eq.2}$$

Onde: g = gramatura, (g/cm^2);

ρ_{pap} = densidade aparente, g/cm^3 .

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Tratamento alcalino e mev das fibras de açaí

Após tratamento químico, as fibras de açaí modificadas apresentaram

individualização dos seus feixes (Figura 2), o tratamento alcalino com hidróxido de sódio atua modificando as ligações de hidrogênio nas moléculas de celulose, enfraquecendo as ligações de hidrogênio (ALBINANTE et al., 2013; MAHJOUB et al., 2014). Esse efeito também é consequência da remoção de hemiceluloses e lignina da parede celular (PIRES et al., 2011). Com isso, tem-se a individualização das fibras, pois a lignina é o agente ligante natural entre as fibras (BENINI, 2015).

Este resultado é considerado vantajoso para a dispersão da fibra na matriz de papel reciclado, porque as mudanças na estrutura e propriedades mecânicas das fibras faz com que apresentem maior superfície de contato, possibilitando maior interação com outros materiais, dando características físicas e mecânicas homogêneas ao produto.

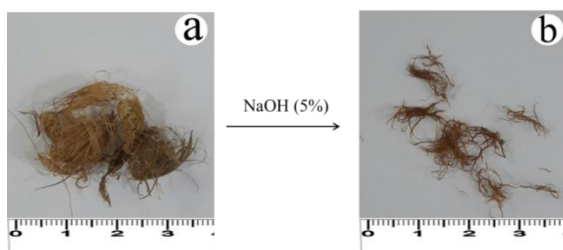


Figura 2: Fibra retirada do caroço de açaí *In natura* (a) após tratamento alcalino a 5% de NaOH (b).

As fibras lignocelulósicas de açaí possuem pontoações na parede celular que através de processos morfofisiológicos amadurecem os frutos, após esse processo as pontoações são obstruídas por estruturas semelhantes a cristais de sílica (IWAKIRI, 2005). O tratamento alcalino desobstruiu parcialmente as pontoações (Figura 3), dando um aspecto poroso e flexível à fibra.

3.2. Densidade básica das fibras

Não houve diferença entre a densidade das fibras *In Natura* e Tratada (Figura 4), o tratamento químico alterou as propriedades mecânicas da fibra sem mudar drasticamente suas características físicas. Manter a integridade da fibra mesmo após o tratamento químico é um resultado desejado para as aplicações tecnológicas, uma vez que é necessário manter a qualidade do material para a produção de novos produtos (WANG, 2005; PIRES et al., 2011). As fibras possuem menor densidade em relação ao papel reciclado, logo, quanto maior o teor de fibras adicionadas, menor será a densidade do papel.

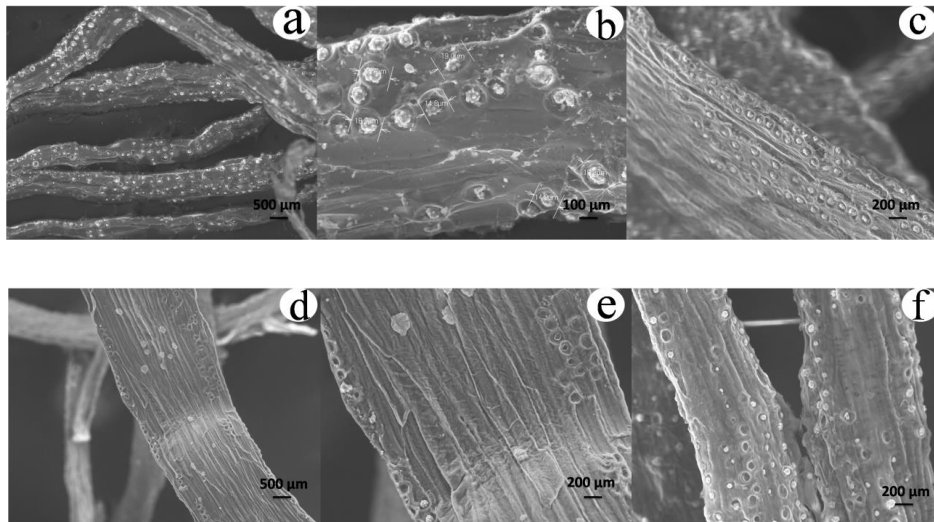


Figura 3: Microscopia eletrônica de varredura (MeV) das fibras de açai *In Natura* (a, b e c) e tratadas (d, e e f).

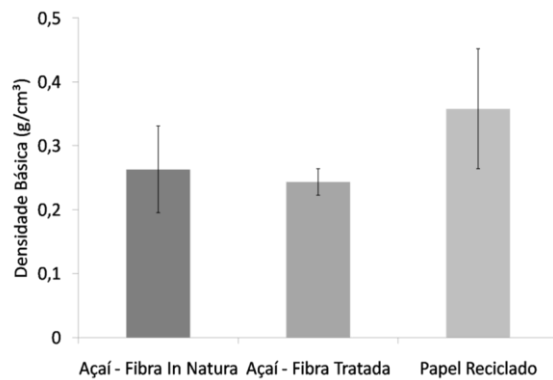


Figura 4: Densidade básica das fibras *In natura*, tratada e o papel reciclado.

3.3. Densidade aparente dos papéis

Os papéis produzidos com fibra tratada e não-tratada possuem menor densidade em relação ao papel convencional (Figura 5). Com o tratamento alcalino houve a remoção de constituintes da parede celular das fibras de açai, diminuindo sua densidade, logo, os papéis mistos produzidos terão menor densidade em relação ao convencional. Entretanto, é

necessário que a proporção da matriz do papel convencional seja superior a quantidade de fibra de açai para que seja possível a formação dos papéis.

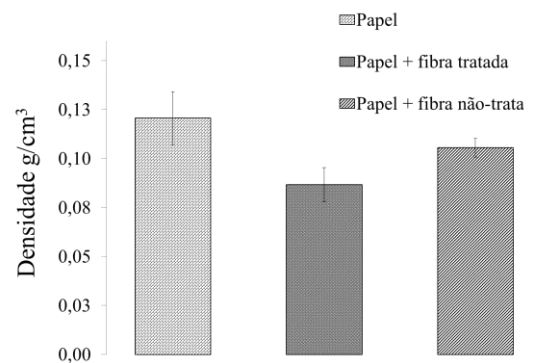


Figura 5. Densidade aparente dos papéis.

As folhas com adição de fibras entre 80 e 60% formaram papéis menos densos, mas impediram a fixação da polpa reciclada. Os teores de fibra entre 40 e 20% apresentaram melhor aderência e

homogeneidade do papel (Figura 6), tornando-o mais flexível por permitir a fixação da matriz de papel reciclado.

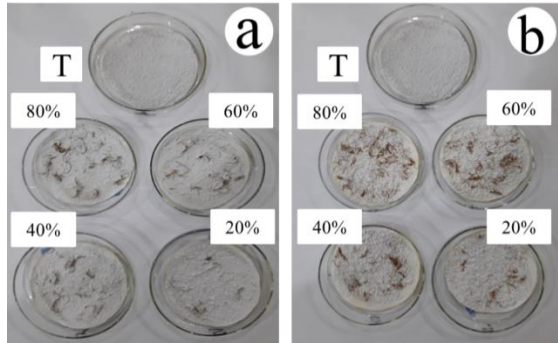


Figura 6: Papéis formados com fibras tratadas (a) e *in natura* (b) e suas respectivas concentrações de fibras em relação ao papel testemunha (T), com 100% de papel reciclado.

3.4. Gramatura dos papéis

A gramatura juntamente com a espessura, que é a distância perpendicular entre as duas superfícies principais do papel, influenciam diretamente o volume específico da folha. Este é definido como o volume em centímetros cúbicos de um grama de papel e pode ser afetado por muitos fatores, tais como o grau de ligação das fibras, presença de materiais não fibrosos que preencham os espaços vazios. Os valores de espessura variaram entre 0,15 - 0,22 mm e volume entre 7,5 - 11,01 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$; as maiores gramaturas foram observadas entre o papel reciclado e o papel com fibra não-tratada (Figura 7), indicando um papel mais pesado e mais

grosso, enquanto o papel com a fibra tratada possui menor gramatura e indica que pode ser destinado para papéis mais finos.

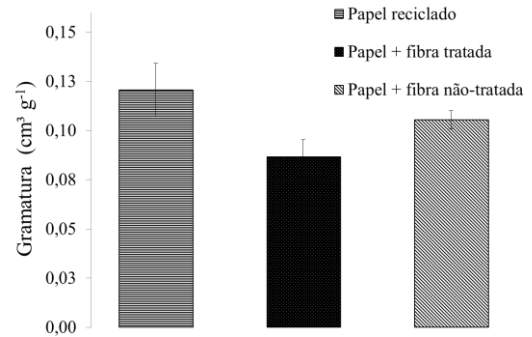


Figura 7. Gramatura do papel reciclado, fibra tratada e não tratada.

4. CONCLUSÃO

Os papéis reciclados com fibras longas de açaí apresentaram melhor aderência e homogeneidade quando as fibras são adicionadas em menores quantidades, entre 80% de papel reciclado e 20% de fibra tratada ou não tratada. 103-1 38875-0

O alto teor de fibras impediu a formação dos papéis com concentração menor de 80% de papel reciclado, por serem muito volumosas e de difícil dispersão. Os valores de gramatura sugerem a utilização dos papéis formados com fibras tratadas ou não tratadas no uso de papéis recicláveis.

5. REFERÊNCIAS

- ALBINANTE, S. R.; PACHECO, E. B. A. V.; VISCONTE, L. L. Y. Revisão dos Tratamentos Químicos da Fibra Natural para Mistura com Poliolefinas. **QuímicaNova**, v. 36, n. 1, p. 114-122, 2013.
- BAJPAI, P. K. Solving the problems of recycled fiber. **BioResources**, v. 5, n. 2, p. 1311-1325, 2010.
- BENINI, K. C. C. C. **Compósitos de nanocelulose/PHBV: manta microfibrilicaporeletrificação**. 2015.166p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2015.
- BIERMANN, C.J. Handbook of pulping and papermaking. **Academic Press**. 2 ed. San Diego, 1996. 754p.
- EL SEOUD, O. A.; FIDALE, L. C.; RUIZ, N.; D'ALMEIDA, M. L.; FROLLINI, E. Cellulose swelling by protic solvents: which properties of the biopolymer and the solvent matter? **Cellulose**, Bucharest, v. 15, n. 3, p. 371-392, 2008.
- HAN, S.; LI, J.; ZHU, S.; CHEN, R.; WU, Y.; ZHANG, X.; YU, Z. Potential applications of ionic liquids in wood related industries. **BioResources**, v. 4, n. 2, p. 825-834, 2009.
- IPT INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica. 2 ed. São Paulo: IPT/SENAI, v.1. 560 p., 1988a.
- IWAKIRI, S. Painéis de Madeira Reconstituída. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p. JÉSUS, A. G.; ALDA, O. de. Feasibility of recycling pulp and paper mill sludge in the paper and board industries. **Resources**, **Conservation and Recycling**, v. 52, n. 7, p. 965-972, 2008.
- MISMAN, M.; ALWI, S. R. W.; MANAN, Z. A. State-of-the-art for paper recycling. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2. **Resumos Selangor**: Universiti Teknologi MARA, 2008.
- MAHJOUR, R.; YATIM, J. M.; SAM, A. R. M.; HASHEMI, S. H. Tensile properties of kenaf fiber due to various conditions of chemical fiber surface modifications. **Construction and Building Materials**, v. 55, p. 103-113, 2014.
- OLIVEIRA, D. N. P. S. de; BUFALINO, L.; CLARO, P. I. C.; TONOLI, G. H. D.; MARCONCINI, J. M.; MENDES, L. M. Alkali modifications in wood and non-wood fibers from the Amazonian region: crystalline and thermal properties. In: **Amazon & pacific green materials congress**, 6., Cali, 2016. Resumos Colômbia: Universidad del Valle, 2016.
- OLIVEIRA, M. do S.P. de. Seleção simultânea em progênies de açaizeiro irrigado para produção e peso de fruto. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, p. 532-539, 2011.
- PIRES, E. N. Efeito do tratamento alcalino de fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi. **Polímeros**, v. 22, n. 4, p. 339-344, 2011.
- REZENDE, M. A.; ESCOBEDO, J.F.; FERRAZ E.S.B. Retratibilidade volumétrica e densidade aparente da madeira em função da umidade. **IPEF**, n.39, p.33-40, ago.1988.
- RIGATO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATOS, J. L. M. Influência dos atributos do solo sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda* para produção de celulose

kraft. R. **Árvore**. Viçosa, 2004. v 28. n 2. p 267-373.

SEGAL, L.; CREELY, J. J.; MARTIN JR., A. E.; CONRAD, C. M. An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer. **Textile Research Journal**, v. 29, n. 10, p. 786-794, 1959.

SANTOS, J. R. **A dinâmica territorial das indústrias de celulose e papel: a expansão no Brasil e a incorporação do Rio Grande do Sul**. 2012. 183p. Tese (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

SMOOK, G. A. Handbook for pulp & paper technologists. 2nd. **Angus Wilde Publications Inc**. Vancouver, 1992. 419p.

SCOTT, W. E.; ABBOTT, J. C.; TROSSET, S. Properties of paper: an introduction. 2 ed. **TAPPI PRESS**. 2ed, p.191, Atlanta, 1995.

WATTANAKORNSIRI, A.; PACHANA, K.; KAEWPIROM, S.; SAWANGWONG, P.; MIGLIARESI, C. Green composites of thermoplastic corn starch and recycled paper cellulose fibers. **Songklanakarin Journal of Science and Technology**, v. 33, n. 4, p. 461-467, 2011.

WANG, W.; SAIN, M.; COOPER, P. A. Hygrothermal weathering of rice hull/HDPE composites under extreme climatic conditions. **Polymer Degradation and Stability**, v. 90, n. 3, p. 540-545, 2005.

A Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal é uma publicação semestral da Faculdade de Ensino Superior e Formação Integral – FAEF e da Editora FAEF, mantidas pela Sociedade Cultural e Educacional de Garça. Rod. Cmt. João Ribeiro de Barros km 420, via de acesso a Garça km 1, CEP 17400-000 / Tel. (14) 3407-8000. www.grupofaef.edu.br – www.faef.revista.inf.br – florestal@faef.br