

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS FIBRAS DE  
*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják PARA  
A PRODUÇÃO DE PAPÉIS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Vania Karine Dick Wille**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS FIBRAS DE  
*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják PARA A  
PRODUÇÃO DE PAPÉIS**

**Vania Karine Dick Wille**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia da Madeira, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Florestal**.

**Orientador: Prof<sup>a</sup>. Cristiane Pedrazzi**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Dissertação de Mestrado**

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS FIBRAS DE  
*Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják PARA A PRODUÇÃO  
DE PAPÉIS**

elaborada por  
**Vania Karine Dick Wille**

como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Engenharia Florestal**

**COMISSÃO EXAMINADORA:**

---

**Cristiane Pedrazzi, Dr<sup>a</sup>.**  
(Presidente/Orientador)

---

**Érika da Silva Ferreira, Dr. (UFPel)**

---

**Arci Dirceu Wastowski, Dr. (UFMS campus Frederico Westphalen)**

**Santa Maria, 21 de fevereiro de 2014.**

***Aos meus pais, Gervásio e Clenir Beatriz e ao meu irmão,  
Vander Ricardo, por sempre me apoiarem e serem minha  
fonte de força, amor e carinho.***

***Dedico este trabalho!***

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter guiado e iluminado mais essa etapa da minha vida.

À minha família, a base de tudo, sem a qual eu nada seria. Aos meus pais e ao meu irmão, pelo apoio incondicional, pela força, pelas palavras e atitudes de carinho, amor e afeto, por sempre me incentivarem e acompanharem em mais essa etapa.

Aos tios (as), primos (as), vó Elda e demais familiares por me apoiarem.

À minha orientadora, Professora Dr. Cristiane Pedrazzi, que me ajudou e acreditou em mim, no nosso trabalho. Ela, que além de professora e orientadora se tornou minha amiga. Ao esposo da Profe Cristiane, o Fábio, que me ajudou nas coletas de junco em meio aos banhados de Pelotas.

Ao professor, Dr. Darci Alberto Gatto, por ter coorientado minha pesquisa.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de mestrado.

À Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV), por confiarem e colaborarem com o meu trabalho, por ajudar na execução da pesquisa disponibilizando os laboratórios. Agradeço especialmente ao Laboratório de Celulose e Papel (LCP) da UFV.

Ao professor, Dr. Jorge Luiz Colodette, e, ao professor Dr. Rubens Chaves, que me orientaram no período que realizei minha pesquisa no LCP da UFV em Viçosa-MG.

À todos os técnicos dos laboratórios pelos quais passei desenvolvendo a pesquisa. Agradeço a técnica do laboratório da UFPel, a Cristiane, e a todos os técnicos da UFV, os quais não vou citar nomes, pois foram vários que me auxiliaram e ajudaram durante o período que passei pelo LCP.

Aos colegas do Laboratório de Produtos Florestais (LPF) da UFSM, com os quais convivi praticamente dois anos de mestrado.

Agradeço aos demais membros do quarteto fantástico da graduação (Taís, Vagner e Renan) e a minha “mana” de coração Aline Stürmer, que mesmo à distância sempre estiveram me apoiando e animando.

À todos os meus amigos(as) que me apoiaram, que quando eu estava cansada não me deixaram desistir, muito pelo contrário, me animavam a seguir em

frente. Não vou citar os nomes de todos os amigos que me ajudaram, pois sei que eles sabem da importância que tiveram nessa etapa da minha vida. *“Amigos são irmãos de coração, são irmãos que escolhemos ter em nossa vida”*.

Por fim, a todos os familiares, amigos e conhecidos que de alguma forma contribuíram e acreditaram na realização e conclusão deste trabalho.

À todos, muito obrigada!

## RESUMO

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Universidade Federal de Santa Maria

### **CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DAS FIBRAS DE *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják PARA A PRODUÇÃO DE PAPÉIS**

AUTORA: VANIA KARINE DICK WILLE

ORIENTADORA: Dra. CRISTIANE PEDRAZZI

Local e Data da Defesa: Santa Maria, 21 de fevereiro de 2013.

O Brasil é um grande produtor de papel, destacando-se mundialmente por produzir e abastecer os mercados com expressivos volumes de papel de embalagem, papéis de imprimir e escrever e papel-cartão. Apesar de a madeira ser a principal fonte de matéria prima utilizada nas indústrias de celulose no Brasil, o emprego de fibras não madeireiras pode ser uma alternativa satisfatória para a fabricação de papéis com propriedades diferenciadas e especiais. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade, morfologia, anatomia e composição química das fibras, assim como as propriedades dos papéis produzidos de polpas celulósicas de *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják (popularmente conhecido como junco), puros e misturados com polpa de eucalipto. Realizou-se análise química, morfológica e de produtividade. Desta forma foram realizados cozimentos pelo processo kraft e produção de papéis em diferentes tratamentos. Por meio das pesquisas e análises, pode-se constatar que o junco apresentou baixa produtividade e fibras curtas. As análises químicas demonstraram que as fibras de junco apresentam alto teor de extrativos e de sílica, o que o torna uma matéria prima desfavorável para a produção de polpa celulósica, por outro lado, o processo de polpação kraft do junco resultou em polpas com baixo teor de ácidos hexenurônicos, fator satisfatório para o branqueamento da polpa. As propriedades de resistência dos papéis foram afetadas negativamente pela adição de polpa de junco nos papéis e os mais altos valores de volume específico aparente e opacidade foram alcançados com os menores níveis de refino das polpas. Foi concluído que o junco não apresentou características satisfatórias para a produção de papéis de alta resistência.

**Palavras-chave:** Junco. Maceração. Caracterização química. Processo kraft. Propriedades do papel.

## ABSTRACT

Master Dissertation  
Post-Graduate Program in Forest Engineering  
Federal University of Santa Maria

### **CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF THE *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják FIBER FOR THE PRODUCTION OF PAPERS**

AUTHOR: VANIA KARINE DICK WILLE

ADVISER: Dra. CRISTIANE PEDRAZZI

Place and Date of Presentation: Santa Maria, February 21<sup>ST</sup>, 2013.

Brazil is a major producer of paper, highlighted worldwide for producing and supplying the markets with large volumes of paper packaging, printing and writing paper and cardboard. Although the wood is the main source of raw material used in cellulose industries in Brazil, the use of non-timber fiber may be a satisfactory alternative for manufacturing of papers with different and special properties. In this sense, the objective of this study was to evaluate the productivity, morphology, anatomy and chemical composition of the fibers, as well as the properties of the pulps produced papers of *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják (popularly known as reed), pure or mixed with eucalyptus pulp. We conducted chemical, morphological and productivity analysis. Thus the kraft pulping process and production roles in different treatments were performed. Through research and analysis, it can be noted that reed had low productivity and short fibers. Chemical analysis showed that the fibers have a high level of the reed extractives and silica, which makes it a favorable raw material for pulp production, on the other hand, the kraft pulping process resulted in reed pulp with low contents of hexenuronic acid suitable for the bleaching of pulp factor. The strength properties of the papers were negatively affected by the addition of reed pulp papers and the highest values of bulk and opacity were achieved with the lowest levels of refining of the pulps. It was concluded that reed did not show satisfactory for the production of papers of high strength characteristics.

**Keywords:** Reed. Maceration. Chemical Characterization. Kraft Process. Paper properties.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Resultados médios da massa específica básica nos dois pontos medidos ao longo do comprimento de cada ramete.....	40
Tabela 2 –	Resultados das medições de comprimento e largura das fibras de <i>Schoenoplectus californicus</i> com valor médio, maior e menor, desvio padrão e coeficiente de variação para cada posição avaliadas da parte interna e externa .....	43
Tabela 3 –	Procedimentos analíticos para caracterização química das fibras de junco .....	53
Tabela 4 –	Condições dos cozimentos para as fibras de junco .....	55
Tabela 5 –	Procedimentos empregados para análises do licor negro e das polpas celulósicas .....	57
Tabela 6 –	Relação das proporções das misturas das polpas de junco e eucalipto .....	58
Tabela 7 –	Análise físico-mecânica dos papéis produzidos das polpas de junco e eucalipto .....	61
Tabela 8 –	Caracterização química da amostra de <i>Schoenoplectus californicus</i> .....	62
Tabela 9 –	Resultados da análise e quantificação dos compostos inorgânicos presentes nas amostras de <i>Schoenoplectus californicus</i> .....	65
Tabela 10 –	Fatores de caracterização das polpas obtidas nas diferentes porcentagens de álcali ativo (AA) testados nos cozimentos.....	66
Tabela 11 –	Características da polpa celulósica de junco.....	67
Tabela 12 –	Análise de quantificação de ácido hexenurônico nos diferentes tratamentos/polpas .....	68
Tabela 13 –	Resultados das análises realizadas no licor negro .....	69
Tabela 14 –	Dimensões das fibras das polpas de junco .....	71

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Floração e cortes do caule do <i>Schoenoplectus californicus</i> .....	19
Figura 2 –	Juncal em área de alagadiço .....	21
Figura 3 –	Divisões da botânica para as principais fontes de matéria prima da indústria de celulose e papel.....	27
Figura 4 –	Mapa de localização da Ilha dos Marinheiros e foto do juncal em área de alagadiço no local .....	34
Figura 5 –	Balança hidrostática e uma sub amostra usadas na determinação da massa específica .....	35
Figura 6 –	Parte interna e externa da sub amostra de <i>Schoenoplectus californicus</i> .....	37
Figura 7 –	A) Tubos de ensaio com a solução fibras/ácido em banho-maria; B) Tubos de ensaio com fibras dissociadas após o processo de maceração .....	38
Figura 8 –	A) Preparação das lâminas para leitura de comprimento e espessura das fibras; B) Sistema microscópio + computador do laboratório de Anatomia da Madeira da UFPel usado para as medições .....	39
Figura 9 –	A) Fibra de junco fotografada com objetiva 4X para medir comprimento; B) Fibra fotografada com objetiva 40X para medir largura.....	39
Figura 10 –	Imagem microscópica com objetiva 4x demonstrando a organização interna dos rametes de <i>Schoenoplectus californicus</i> .....	41
Figura 11 –	Comportamento do comprimento das fibras da parte interna e externa do junco com relação às diferentes posições avaliadas .....	44
Figura 12 –	Comportamento da largura das fibras da parte interna e externa do junco com relação às diferentes posições avaliadas .....	44
Figura 13 –	Amostras de <i>Schoenoplectus californicus</i> : (A) Cavacos; (B) serragem .....	52
Figura 14 –	A) Digestor rotativo Regmed; B) Cavacos de junco no interior dos reatores e adição do licor de cozimento; C) Reatores fechados para o cozimento e em destaque o sensor de temperatura ligado ao reator “1” .....	54
Figura 15 –	A) Descarga das fibras dos reatores; B) Coleta de licor negro; C) Lavagem das fibras com água a temperatura ambiente; D) Desfibramento no hidrapulper; E) Descarga das fibras do hidrapulper; F) Depuração das fibras; G) Resíduos sobre o depurador; H) Polpa celulósica após lavagem, desfibramento e depuração ..	56
Figura 16 –	Conjunto microscópio, câmera acoplada e computador para mensuração das fibras usando o Programa Image-Pro Plus .....	58
Figura 17 –	Moinho PFI (A) com fotos demonstrando a parte interior vazia (B), a disposição das fibras antes do refino (C) e depois do refino (D) .....	59

Figura 18 – Folhas formadas nos diferentes tratamentos diferentes intensidades de refino.....	60
Figura 19 – Resistência a passagem de ar para os papéis produzidos em função do consumo de energia no refino nos diferentes tratamentos .....	73
Figura 20 – Relação do consumo de energia no refino pelo índice de arrebatamento das folhas de papel produzidas nos diferentes tratamentos ..	75
Figura 21 – Relação do consumo de energia no refino pelo índice de rasgo das folhas de papel produzidas nos diferentes tratamentos .....	77
Figura 22 – Relação do consumo de energia no refino pelo índice de tração das folhas de papel produzidas nos diferentes tratamentos .....	78
Figura 23 – Relação do consumo de energia no refino pelo RCT nas folhas de papel produzidas nos diferentes tratamentos .....	79
Figura 24 – Relação do consumo de energia no refino pelo CMT nas folhas de papel produzidas nos diferentes tratamentos .....	81
Figura 25 – Relação do consumo de energia no refino pelo volume específico aparente das folhas de papel produzidas nos diferentes tratamentos .....	82
Figura 26 – Relação do consumo de energia no refino pela opacidade das folhas de papel produzidas nos diferentes tratamentos .....	84

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1 Descrições botânica e morfológica do <i>Schoenoplectus californicus</i>.....</b>	<b>18</b>
2.1.1 Usos e generalidades do junco.....	19
<b>2.2 Processos de produção de celulose .....</b>	<b>21</b>
2.2.1 Processo de cozimento kraft.....	23
<b>2.3 Produção de polpas celulósicas a partir de fibras não madeiras.....</b>	<b>26</b>
<b>2.4 Produção e propriedades dos papéis .....</b>	<b>29</b>
<b>3 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DAS FIBRAS DE <i>Schoenoplectus californicus</i> .....</b>	<b>32</b>
<b>3.1 Introdução .....</b>	<b>32</b>
<b>3.2 Material e métodos.....</b>	<b>34</b>
<b>3.2 Resultados e discussões .....</b>	<b>40</b>
<b>3.4 Conclusão.....</b>	<b>46</b>
<b>3.5 Referências Bibliográficas .....</b>	<b>47</b>
<b>4 INFLUÊNCIA DAS FIBRAS DE <i>Schoenoplectus californicus</i> NA QUALIDADE DE PAPÉIS .....</b>	<b>50</b>
<b>4.1 Introdução .....</b>	<b>50</b>
<b>4.2 Material e métodos.....</b>	<b>52</b>
<b>4.3 Resultados e discussões .....</b>	<b>62</b>
4.3.1 Caracterização química do <i>Schoenoplectus californicus</i> .....	62
4.3.2 Cozimentos experimentais para produção e procedimentos analíticos para caracterização da polpa celulósica de <i>Schoenoplectus californicus</i> .....	66
4.3.4 Análises morfológicas das fibras das polpas de <i>Schoenoplectus californicus</i> .....	71
4.3.5 Propriedades físico-mecânicas e óptica dos papéis .....	72
4.3.5.1.1 Resistência à passagem de ar.....	73
4.3.5.1.2 Resistência ao arrebatamento .....	75
4.3.5.1.3 Resistência ao rasgo .....	76
4.3.5.1.4 Resistência à tração .....	77
4.3.5.1.5 Resistência à compressão do anel – RCT .....	79
4.3.5.1.6 Resistência à compressão da onda do papel – CMT.....	80
4.3.5.2 Propriedades físicas .....	82

4.3.5.2.1 Volume Específico Aparente – VEA.....	82
4.3.5.3 Propriedade óptica.....	83
<b>4.4 Conclusão.....</b>	<b>84</b>
<b>4.5 Referências bibliográficas .....</b>	<b>85</b>
<b>5 CONCLUSÃO GERAL E RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS.....</b>	<b>91</b>
<b>Os resultados obtidos neste estudo permitem as seguintes conclusões: .....</b>	<b>91</b>
<b>Referências bibliográficas.....</b>	<b>92</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>97</b>
<b>Apêndice A – Resultados das análises físico-mecânicas e ópticas dos papéis produzidos apenas com polpa de junco (T0). .....</b>	<b>97</b>
<b>Apêndice B – Resultados das análises físico-mecânicas e ópticas dos papéis produzidos com polpa de junco (75%) e polpa de eucalipto (25%) (T1). .....</b>	<b>98</b>
<b>Apêndice C – Resultados das análises físico-mecânicas e ópticas dos papéis produzidos com polpa de junco (50%) e polpa de eucalipto (50%) (T2). .....</b>	<b>99</b>
<b>Apêndice D – Resultados das análises físico-mecânicas e ópticas dos papéis produzidos com polpa de junco (25%) e polpa de eucalipto (25%) (T3). .....</b>	<b>100</b>
<b>Apêndice E – Resultados das análises físico-mecânicas e ópticas dos papéis produzidos apenas com polpa de eucalipto (T4). .....</b>	<b>101</b>
<b>Apêndice F - Gramatura .....</b>	<b>102</b>
<b>Apêndice G - Espessura.....</b>	<b>103</b>
<b>Apêndice H – Resistência a passagem de ar .....</b>	<b>104</b>
<b>Apêndice I - Índice de arrebatamento .....</b>	<b>105</b>
<b>Apêndice J - Índice de rasgo .....</b>	<b>106</b>
<b>Apêndice K - Índice de tração.....</b>	<b>107</b>
<b>Apêndice L - RCT .....</b>	<b>108</b>
<b>Apêndice M - CMT .....</b>	<b>109</b>
<b>Apêndice N - Volume Específico Aparente (VEA) .....</b>	<b>110</b>
<b>Apêndice O - Opacidade.....</b>	<b>111</b>

# 1 INTRODUÇÃO

De acordo com Ródes (1984), historicamente, os primeiros papéis para escrita foram produzidos a partir de fibras não madeiras, ou denominadas de plantas anuais. Essas plantas representam uma alternativa para países com baixa disponibilidade de madeiras, e também àqueles que dispõem de resíduos agrícolas fibrosos ou culturas de plantas fibrosas não-madeiras.

Segundo Foelkel (2009), a produção de celulose se origina de uma matéria prima desuniforme, pois a madeira difere em densidade básica, porosidade, permeabilidade, composição química, dimensões dos elementos anatômicos, etc. Diante disso, essa desuniformidade deve ser bem conhecida, entendida, compensada e absorvida pelos produtores de celulose e papel e pelos seus processos industriais.

A madeira é a principal fonte de fibras nas indústrias de celulose e papel no mundo (aproximadamente 95% da produção), pois, além de gerar elevado volume de fibras com características químicas e anatômicas satisfatórias, produz celulose de excelente qualidade, que, por sua vez, serve para a produção de diferentes tipos de papéis. Por outro lado, a busca por matérias primas alternativas de melhor qualidade pelas indústrias de celulose e papel que atendam de forma satisfatória o mercado consumidor, cada vez mais exigente, vêm sendo alvo de pesquisas em todo o mundo (OSORIO, 2007).

O mercado mundial de polpa celulósica demanda não apenas polpa de fibra curta, mas também polpas de fibra longa, utilizadas principalmente para produção de papéis de elevada resistência destinados a embalagens (FERNÁNDEZ, 2010). De acordo com Fuzeto (2003), a produção de pasta celulósica é feita basicamente de madeiras, sendo o eucalipto a principal matéria prima com 65%, seguida pelo pinheiro com 30%. As outras matérias primas, tais como sisal, rami, bagaço de cana e bambu, respondem por menos de 5% do total de celulose produzida.

O Brasil é um grande produtor de papel, destacando-se mundialmente por produzir e abastecer os mercados com expressivos volumes de papel de embalagem, papéis de imprimir e escrever e papel-cartão. Nos últimos dez anos, o país aumentou sua produção em 27%, com crescimento médio de 2,7% ao ano,

acompanhando as mudanças da economia brasileira. Em 2010, o setor posicionou-se como 10º maior produtor mundial de papel e, em 2012, produziu 10,3 milhões de toneladas do produto (BRACELPA, 2013).

O desenvolvimento socioeconômico e o aumento de renda da população contribuíram com a elevação desse índice, uma vez que proporcionaram a inserção de novos consumidores que buscam por livros, cadernos, jornais e revistas no mercado. Além disso, convém lembrar que o papel está presente nas embalagens para alimentos, remédios e itens de higiene pessoal.

O papel é um dos materiais mais importantes e versáteis que conhecemos e é difícil imaginar como seria o nosso dia-a-dia sem ele. Suas propriedades químicas e físico-mecânicas permitem inúmeras aplicações. Por exemplo, papéis de imprimir e escrever devem ser lisos e opacos; aqueles usados na produção de jornais não precisam ter grande durabilidade com relação à alvura, mas devem resistir à tração a que são submetidos nas máquinas de impressão. Já os papéis tissue devem ser macios ao passo que os papéis usados em embalagens devem apresentar boa resistência mecânica, pois não devem se romper com facilidade. Os fatores que determinam essas propriedades estão relacionados à matéria prima, aos reagentes químicos e aos processos de polpação empregados para sua produção (SANTOS et al., 2001).

Apesar de a madeira ser a principal fonte de matéria prima utilizada nas indústrias de celulose do Brasil, o emprego de fibras não madeireiras, encontradas muitas vezes em abundância em determinadas regiões do país, pode ser uma boa alternativa para a fabricação de papéis com propriedades diferenciadas e especiais.

O emprego de gramíneas na produção de polpas celulósicas, como o bambu, já foi investigado por alguns autores (BONFATTI JR, 2010; AZZINI et al., 1987; BARRICHELO e FOELKEL, 1975). Por outro lado, trabalhos publicados sobre a família Cyperaceae, família a qual pertence o junco, para o sul do Brasil são escassos. Dados e informações sobre Cyperaceae encontram-se principalmente em levantamentos florísticos, geralmente restritos a citações de espécies da família em situações locais. O uso das fibras de *Schoenoplectus californicus* em processos industriais é uma prática interessante, uma vez que é uma espécie de ciclos de crescimento anual e de menor custo comparado à madeira.

Segundo Roessing (2007), a anatomia celular do junco é pouco estudada e os conhecimentos em relação à produção dessa espécie são restritos a alguns produtores, que produzem sem a base científica, mas sim empírica. Sendo assim, observa-se a importância de estudos científicos que avaliem essa planta visando mudanças tecnológicas, em termos de matérias primas utilizadas nas indústrias.

De encontro ao contexto apresentado, o presente estudo buscou investigar a morfologia, anatomia, composição química e produtividade das fibras da monocotiledônea *Schoenoplectus californicus* e testar sua aplicação como matéria prima única e/ou complementar para a fabricação de polpa celulósica destinada a produção de papéis.

Para melhor entendimento, o trabalho foi dividido em dois capítulos: 1) Avaliação da produtividade e descrição morfológica das fibras de *Schoenoplectus californicus*; e 2) Influência das fibras de *Schoenoplectus californicus* na qualidade de papéis.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Descrições botânica e morfológica do *Schoenoplectus californicus*

A macrófita aquática usada neste estudo, a *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják, em uma nomenclatura anterior denominada *Scirpus californicus* (LOMBARDO, 1984), pertencente a família Cyperaceae, é popularmente conhecida como junco, e pode ser conhecida também como tiririca ou palha-cortadeira. Ela é abundante em todo o continente americano, especialmente em lagunas, margens de rios e pântanos de água doce (CORDAZZO e SEELIGER, 1988). Pode ser encontrada em grande quantidade na Planície Costeira do Rio Grande do Sul e na América desde o sul dos Estados Unidos até a Patagônia, na Argentina (ROSSI e TUR, 1976 *apud* GIOVANNINI, 1997).

O junco é uma planta perene, de rizoma horizontal robusto, lenhoso e coberto de escamas. Os seus caules medem de 60 a 200 centímetros de altura e 2 centímetros de diâmetro na base, além disso são lisos, triangulares, de lados convexos e de coloração verde escura (FIGURA 1). Suas folhas são reduzidas a bainhas, com lâminas rudimentares e inflorescência em antena composta subterminal, multirradiada. Apresenta também espiguetas de 12 mm, lanceolado-oblongas, glumas ovaladas, de coloração ferruginosa ou castanho-avermelhadas (CORDAZZO e SEELIGER, 1988; LOMBARDO, 1984; SELLOWIA, 1960).



Figura 1 – Floração e cortes do caule do *Schoenoplectus californicus*.

Fonte – Site Lake Calavera Preserve: Carlsbad, California (<http://waynesword.palomar.edu/calavera1.htm>).

A família Cyperaceae é, em sua maioria, composta por herbáceas perenes que apresentam as flores agrupadas em espiguetas, as quais são geralmente bissexuadas, podendo ocorrer flores unissexuadas em plantas monóicas e, mais raramente, plantas dióicas (SILVEIRA e LONGHI-WAGNER, 2008; SELLOWIA, 1960), o fruto, por sua vez, é do tipo aquênio. Cerca de 500 espécies de Cyperaceae foram mencionadas por diferentes autores como de importância econômica, sendo que as referências de ciperáceas infestantes se sobrepõem às referências de aproveitamento econômico (KISSMANN, 1997).

A espécie floresce e frutifica na primavera e verão respectivamente (IRGANG e GASTAL Jr., 1996), de setembro a janeiro (LOMBARDO, 1984). As sementes servem de alimento para aves aquáticas e pequenos pássaros (TRINDADE et al., 2010; CORDAZZO e SEELIGER, 1988).

### 2.1.1 Usos e generalidades do junco

Os ecossistemas aquáticos continentais brasileiros, em sua maioria com extensas regiões litorâneas, são propícios à ocorrência de comunidades de

macrófitas aquáticas. Essas comunidades desempenham um papel estrutural e funcional de grande importância ecossistêmica em ambientes límnicos de águas rasas, como: contribuição para a diversidade biológica, elevada biomassa, alta produtividade, estabelecimento de uma forte ligação entre o sistema aquático e o ambiente terrestre que o circunda. Esses ambientes, lagos rasos e banhados, são comuns na planície costeira do Rio Grande do Sul (TRINDADE et al., 2010).

As plantas aquáticas são conhecidas pelos pesquisadores como macrófitas aquáticas (macro que equivale a grande e fita que equivale a planta) e habitam desde brejos até ambientes totalmente submersos. As macrófitas aquáticas são, em sua grande maioria, vegetais terrestres que, ao longo de seu processo evolutivo, se readaptaram ao ambiente aquático, por isso apresentam algumas características de vegetais terrestres e uma grande capacidade de adaptação a diferentes tipos de ambientes (PLANTAS AQUÁTICAS, 2010).

Nesse sentido, no Brasil, a região litorânea, principalmente margens de lagoas, é considerada área de proteção permanente; no entanto, a extração da macrófita *S. californicus* é realizada para confecção de artesanato, como atividade econômica alternativa pelas comunidades associadas a esses ecossistemas. Este corte, em pequena escala, nessas regiões, exerce pouco efeito, pois a fauna de áreas adjacentes pode colonizar as áreas perturbadas por esta atividade (SILVEIRA, 2007).

Na porção norte da planície costeira do Rio Grande do Sul, os rametes de *S. californicus* são coletados por agricultores e pescadores em banhados e beiras de lagoa para confecção de produtos artesanais. A coleta é feita de forma tradicional, realizando-se o corte dos rametes a uma altura de aproximadamente 30 cm, deixando-as enraizadas permitindo seu rebrote (SILVEIRA, 2007). O material coletado é utilizado para confecção de peças artesanais por agricultores, constituindo-se em uma fonte de complementação de renda para as famílias das encostas da serra e das beiras das lagoas no litoral norte do Rio Grande do Sul (SOUZA, 2003).

De acordo com a legislação ambiental, os juncais (localizados nos banhados, restingas, etc figura 2) estão enquadrados dentro das Áreas de Preservação Permanente – APP (Lei Federal 4771/65, 6902/81, Lei Estadual 11.520/00). Assim, as margens de lagoas também são consideradas áreas de proteção permanente

pela legislação brasileira (CONAMA, Resolução nº 303), portanto, têm uso restrito. Assim, com prévia autorização legal, agricultores do litoral norte do estado do Rio Grande do Sul, coletam, nestas áreas rametes de *S. californicus* para utilizá-los como matéria prima na confecção de artesanato (SOUZA, 2003).



Figura 2 – Juncal em área de alagadiço.  
Fonte – Arquivo pessoal.

Roessing (2007) relata que outro fator relevante é a utilização dessa planta como potencial fitorremediador das águas e solos, que sofrem com a crescente contaminação, produto da atividade humana. No caso do junco, além da característica de fitorremediação, ele proporciona o embelezamento do ambiente no qual estão inseridos, podendo se associar a uma atividade econômica rentável, que é a produção agrícola.

## **2.2 Processos de produção de celulose**

A produção de polpa celulósica de madeira foi desenvolvida, inicialmente, em algumas regiões da Europa e da América do Norte, em que os principais países produtores historicamente são Suécia, Finlândia, Rússia, Estados Unidos e Canadá.

Todavia, outras localidades do mundo vêm se destacando como grandes produtores de celulose. Dentre esses países se encontram o Brasil, Indonésia, China, Índia e Chile (BOECHAT, 2010).

Em concordância com Barrichelo e Brito (1979), do ponto de vista tecnológico, qualquer matéria prima fibrosa é passível de ser utilizada na produção de celulose. Porém, quando ela é analisada sob o aspecto econômico, uma série de fatores devem ser considerados: porcentagem de fibras; características anatômicas, morfológicas, físicas e químicas; quantidade disponível em local de fácil acesso; possibilidade de regeneração a prazos curtos ou médios; custo relativamente baixo, existência de mercado para o tipo de celulose a ser produzida, dentre outros fatores.

A maioria das fibras utilizadas na fabricação de pastas celulósicas e papel pertencem ao reino vegetal. Atualmente, as de maior importância econômica são as fibras de madeira de árvores do grupo das dicotiledôneas arbóreas (Angiospermae) e das coníferas (Gymnospermae) (D'ALMEIDA, 1988a).

Desse modo, a obtenção da polpa celulósica constitui a primeira etapa da produção de papel. Sob o ponto de vista técnico, o termo “polpa celulósica” compreende o resíduo fibroso proveniente da deslignificação parcial ou total da matéria prima vegetal empregada (FOELKEL e BARRICHELO, 1975 *apud* SOFFNER, 2001). Nesse sentido, Santos et al. (2001) complementa-o, apresentando uma definição para o papel, dizendo que ele é formado por fibras celulósicas que se entrelaçam umas com as outras, garantindo a sua resistência. Assim, o processo de polpação da matéria prima que originará o papel tem como objetivo facilitar a separação das fibras e melhorar suas propriedades para a fabricação do papel (SANTOS et al., 2001).

Wastowski (2009) vem ao encontro de Santos et al. (2001), argumentando que os processos de produção de celulose podem ser classificados de acordo com o tipo de energia utilizada, os quais são divididos em: processos químicos (soda, kraft e sulfito) e processos de alto rendimento (mecânico, termomecânico, químico-mecânico e químico-termomecânico). Os autores Barrichelo e Brito (1979), por sua vez, asseguram que todos esses processos visam transformar a madeira em uma forma desfibrada ou desintegrada sem a remoção da lignina ou com remoção parcial dela. A madeira transformada recebe o nome de pasta, polpa ou celulose.

A qualidade da celulose é definida por um grupo de atributos que podem variar de acordo com a qualidade da madeira, com o processo de deslignificação e produção de celulose e ainda com as operações particulares do processo de produção de papel. Destaca-se que a qualidade da celulose é, por essa razão, muito dependente da cadeia produtiva que os produtores estão gerenciando. Diante disso, a qualidade de polpa é construída ao longo de toda essa cadeia de valor (FOELKEL, 2007).

### 2.2.1 Processo de cozimento kraft

O processo kraft é o meio dominante de produção de celulose química. Desde sua descoberta em 1879, e posterior patente de Carl Dahl em 1884, esse processo tem sido imbatível em termos de promover a separação das fibras de inúmeras matérias primas para a fabricação de polpas celulósicas orientadas à manufatura de variados tipos de papéis e derivados de celulose (FOELKEL, 2009).

O processo soda foi o primeiro método químico de polpação reconhecido pela utilização de uma solução alcalina forte de hidróxido de sódio para deslignificação de cavacos de madeira. Esse precursor do processo kraft foi originalmente patenteado em 1854. Uma patente posterior, de 1865, cobriu a incineração do licor de soda gasto para recuperação do álcali utilizado no processo. A primeira fábrica com processo soda que operou com sucesso iniciou suas atividades em 1866. Atualmente, poucas fábricas que trabalham com o processo soda ainda se encontram em operação no mundo produzindo polpas de folhosas e de matérias primas não lenhosas (KLOCK, 2008).

Conforme Silva Jr e McDonough (2001), em um esforço para encontrar um substituto para o carbonato de sódio no ciclo de recuperação, Carl Dahl, introduziu o sulfato de sódio que adicionado no sistema foi reduzido a sulfeto pela ação da fornalha da caldeira de recuperação, e, portanto, o sulfato reduzido a sulfeto, foi introduzido no sistema de polpação. Posteriormente, Carl Dahl descobriu que o sulfeto no licor de cozimento acelerava de forma significativa as reações de deslignificação e produzia polpa mais resistente e com fibras menos degradadas.

Nesse sentido, o grande impulso para domínio nas indústrias pelo processo kraft ocorreu no início do século XX. Na década de 1930, ocorreu a introdução do sistema de recuperação de Tomlinson, no qual a evaporação final e a queima do licor gasto foram combinados com a recuperação de calor e dos químicos numa mesma unidade do processo. Finalmente, o desenvolvimento e utilização do branqueamento com dióxido de cloro criado por Howard Rapson, no final da década de 1940 e início dos anos 1950, levou as indústrias a produzir polpas kraft à níveis de alvura comparáveis aos conseguidos com polpa sulfito na época (KLOCK, 2008).

A polpação alcalina, particularmente o processo kraft, é, em princípio, aplicável a todas as espécies de madeira até mesmo à madeiras com casca, deterioradas ou na forma de serragem. Entretanto, os melhores resultados são obtidos com material de primeira classe, ou seja, madeira bem descascada, de boa qualidade e não deteriorada durante a estocagem (D'ALMEIDA, 1988a).

O processo alcalino kraft ou sulfato é a técnica que utiliza soluções com hidróxido de sódio e sulfeto de sódio misturado a cavacos de madeira em altas temperaturas. Esse processo consiste na degradação da lignina, separando as fibras e deixando nas mesmas, principalmente a celulose e as hemiceluloses, para serem usadas na fabricação de papel (PINHO e CAHEN, 1981).

Enquanto a base química da polpação alcalina e do sistema de recuperação dos compostos químicos é, praticamente a mesma desde a sua descoberta, houve uma grande evolução no quesito de equipamentos e diversificação de matérias primas, incluindo a maioria das espécies. Hoje, em uso industrial, existe uma ampla variedade de plantas anuais e processamento de sobras de madeira, como por exemplo, a serragem (D'ALMEIDA, 1988a).

A obtenção de celulose, através desse processo, é feita em digestores nos quais a madeira, na forma de cavacos, é colocada em contato com soluções de produtos químicos durante determinado tempo. Para facilitar a ação do agente de deslignificação geralmente se empregam altas temperaturas e pressões (BARRICHELO e BRITO, 1979). Convém salientar que a razão entre a madeira e o licor, bem como a concentração do licor, a umidade dos cavacos e outras variáveis são cuidadosamente controladas (LIBBY, 1962).

No processo de polpação kraft, utiliza-se uma solução quente (cerca de 170°C), denominada licor branco, rica em hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de

sódio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ), para a deslignificação da madeira. Como resultado do cozimento da madeira, tem-se a celulose e um licor negro, rico em álcali e matéria orgânica dissolvida da madeira. Esse licor deve passar por um processo de recuperação, em que, ao final do procedimento, é convertido novamente em licor branco e utilizado no processo de digestão (MOURA et al., 2002).

Silva Jr e McDonough (2001) afirmam que a principal característica do processo kraft é a alta qualidade da celulose obtida. Essa qualidade é avaliada primordialmente pelo nível de lignina residual (o número kappa), degradação dos carboidratos (viscosidade), e também pelas propriedades físico-mecânicas. No entanto, essas características podem ser alteradas por algumas variáveis do processo produtivo, tais como: álcali, tempo de cozimento e temperatura.

Já as pastas produzidas na indústria, para um determinado rendimento, ou número kappa ou teor de lignina, são obtidas com controle de variáveis de cozimento (tempo, temperatura, carga e concentração dos reagentes e sulfidez). Aumentos em uma ou mais variáveis, dentro de certos limites, reduzem o rendimento. Exemplo disso é o aumento de sulfidez, que até cerca de 30% aceleram a retirada de lignina em relação aos carboidratos, havendo produção de pasta com um menor teor de lignina para um determinado rendimento. Convém ressaltar que antes de se fazer considerações sobre a influência destas variáveis, é interessante frisar a existência de duas formas aceitas de se expressar a concentração dos reagentes no licor kraft: álcali ativo e álcali efetivo (D'ALMEIDA, 1988a).

Os processos convencionais de obtenção de celulose kraft removem mais de 90% do teor de lignina originalmente presente na madeira. A deslignificação intensiva consiste na remoção adicional de 'lignina residual', procurando-se favorecer o branqueamento. Contudo, paralelamente ao processo de deslignificação no cozimento, ocorrem reações de hidrólise e despolimerização dos polissacarídeos/carboidratos, em níveis que podem comprometer as propriedades de resistência e qualidade da celulose (GOMIDE et al., 1997).

### **2.3 Produção de polpas celulósicas a partir de fibras não madeiras**

A indústria de celulose e papel está cada vez mais preocupada com o futuro do setor e com o suprimento de matérias primas fibrosas para atender à crescente demanda do setor. Essa preocupação se fundamenta na escassez e na progressiva valorização da madeira, que representa mais de 90% da matéria prima nacional convertida em celulose e papel (AZZINI et al., 1984).

Segundo D'Almeida (1988b), as matérias primas fibrosas podem ser classificadas em vegetais, animais, minerais e artificiais. As fibras usadas na fabricação de pasta celulósica para papel são obtidas, quase que exclusivamente, a partir de matérias primas vegetais, sendo várias as fibras vegetais usadas na fabricação de pasta celulósica para papel desde a sua invenção.

Todavia, apesar das fibras provenientes de vegetais serem empregadas quase com exclusividade na produção de pasta celulósica, apenas 5% provém de vegetais não madeireiros. Entretanto, para muitos países em desenvolvimento e até mesmo para alguns países industrializados, as fibras de origem não madeireira representam uma das maiores fontes atuais e potenciais de fibras (CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA, 2013).

De acordo com Barrichelo e Brito (1979), de maneira geral, as matérias primas vegetais podem ser classificadas como: fibras de sementes e frutos (línter do algodão, palha de coco); fibras de folhas (sisal, fórmio, abacaxi); fibras de madeira de: coníferas (pinheiro do Paraná, pinus) e folhosas (eucaliptos e espécies nativas); fibras de floema de dicotiledôneas herbáceas (crotalária, rami e juta); fibras vasculares de monocotiledôneas (palhas de cereais, bagaço de cana-de-açúcar e bambu) e fibras de estipes (coqueiros e palmeiras). A Figura 3 ilustra as divisões da botânica para as principais fontes de matéria prima da indústria de celulose e papel.

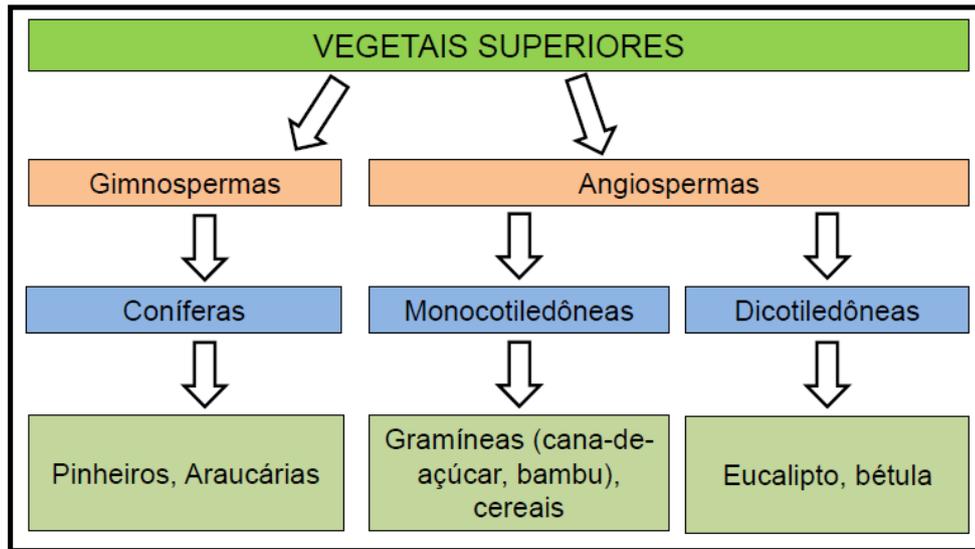


Figura 3 – Divisões da botânica para as principais fontes de matéria prima da indústria de celulose e papel.  
 Fonte – Adaptado de Boechat (2010).

D’Almeida (1988b) complementa Barrichelo e Brito (1979) assegurando que para a seleção das matérias primas fibrosas de origem vegetal, devem-se considerar os seguintes fatores: disponibilidade em grande quantidade o ano todo; possibilidade de uma exploração econômica; facilidade renovável e fornecimento ao produto final as características desejadas.

Para melhor entendimento, define-se celulose não madeira como a polpa proveniente de vegetais do grupo angiosperma monocotiledôneas ou de outros resíduos vegetais. Englobam este grupo de resíduos vegetais o bagaço de cana, a palha de arroz, a palha de trigo, o bambu, o algodão, o sisal, a juta, entre outros (BOECHAT, 2010).

Seguindo esse raciocínio, a necessidade de intensificar o uso de misturas de matérias primas fibrosas para a produção de papel é de conhecimento das indústrias de celulose, uma vez que existem algumas razões para essa prática: matéria prima, economia no processo, versatilidade na fabricação de diferentes tipos de papel, melhoria na qualidade de produto final, etc. (BARRICHELO e FOELKEL, 1975). O desafio maior das indústrias de celulose é encontrar alguns parâmetros de rápida medição que forneçam um bom retrato do perfil das polpas celulósicas obtidas de diferentes fontes de fibras, buscando antever seu desempenho nas máquinas de papel (MARANESI, 2010).

A utilização do bambu, que é uma planta lenhosa, pertencente à família das Bambusaceas ou das Gramíneas. Como matéria prima para a indústria de celulose é prática de bastante sucesso em alguns países tropicais, como a China, Índia, Japão, Filipinas e inclusive o Brasil. Embora a diferente produtividade dos diversos tipos de bambus seja evidente, admite-se que essas espécies produzem, em média, 25 toneladas de matéria seca por hectare (D'ALMEIDA, 1988a). Esse é um dos motivos pelo reconhecimento do bambu como fonte alternativa para a produção de celulose, pois estudos das propriedades químicas, anatômicas e testes de resistência de folhas de celulose demonstraram o grande potencial técnico dessa gramínea para a produção de papéis tipo kraft.

No entanto, como desvantagem o bambu apresenta alto teor de extrativos e sílica, o que causa uma diminuição no rendimento, sendo essa perda de rendimento compensada por sua alta produtividade (GOMIDE et. al., 1981 *apud* BONFATTI JR, 2010). Segundo Boechat (2010), a presença de sílica nos materiais não-madeira é um dos problemas enfrentados pela indústria de polpa celulósica. A acumulação de silício na cutícula (epiderme) também determina alterações na arquitetura das plantas, podendo ficar mais ereta ou até mesmo evitando o acamamento (KOMDÖRFER, 2003).

De acordo com Azzini et al. (1987), vários estudos já vêm demonstrando a potencialidade do bambu para produção de celulose. Esses autores também destacam que os vários aspectos favoráveis na utilização do bambu estão relacionados, principalmente, com suas características agrônômicas, aliadas ao elevado comprimento de suas fibras celulósicas (1,65 a 3,43 mm), que ocupam uma posição intermediária entre as fibras de *Eucalyptus* spp. (1,0 mm) e as de *Pinus* spp. (3,5 mm). Segundo Barrichelo e Foelkel (1975), devido ao fato das fibras do bambu apresentarem comprimentos intermediários entre as de coníferas e folhosas, essa característica confere à suas celuloses altas resistência ao rasgo, e, além disso, é bastante comum em outros países, misturas delas com as obtidas de resíduos de cereais (palhas), bagaço de cana ou madeiras de folhosas.

Nesse sentido, dentre as matérias primas de origem agrícola, o bagaço de cana é a mais importante para a produção de celulose porque se constitui como uma das mais promissoras fontes de fibras para a indústria papeleira. Além disso, é um material abundante e facilmente acessível em muitos países. No Brasil, onde a

indústria açucareira atingiu um estágio de desenvolvimento excepcional, existe a possibilidade de se incrementar maciçamente o uso do bagaço de cana para a fabricação de celulose. Todavia, a maior parte deste bagaço ainda é utilizada como combustível nas caldeiras dos engenhos açucareiros e apenas as sobras são vendidas às fábricas de celulose (D'ALMEIDA, 1988a).

De acordo com Soffner (2001), a cultura da banana gera grande quantidade de resíduos após a colheita da fruta, sendo considerados os mais importantes em termos de grande volume gerado e de potencial fibroso o pseudocaule a folha e o engaço (é o pedúnculo da inflorescência, que tem início no ápice do pseudocaule e termina na inserção da primeira penca). O engaço não tem sido aproveitado, pelo contrário, é descartado no processo de separação das pencas na casa de embalagens. A possibilidade de aproveitamento do engaço na produção de polpa celulósica representa uma alternativa interessante para as regiões produtoras de banana, que se trata de um material com potencial fibroso, o qual pode ser classificado como matéria prima não madeireira para produção de polpa celulósica de fibra longa, agrupado como resíduo agrícola, proveniente de planta anual, da classe das monocotiledôneas.

## **2.4 Produção e propriedades dos papéis**

Apesar de a celulose ser um produto tipo commodity, a diferenciação de produtos é cada vez mais valorizada pelos produtores de papel, que buscam características de polpas desejadas para cada aplicação. Enfim, são diversas as características da polpa celulósica a serem avaliadas e bem controladas a fim de que esta engenharia de fibras auxilie no aprimoramento tecnológico para a produção de diferentes tipos de papel e na sua diferenciação, quer sejam papéis de imprimir e escrever, quer sejam para fins sanitários, para embalagem ou papéis especiais (MARANESI, 2010).

De acordo com a BRACELPA (2013), o papel tem múltiplas aplicações. Serve para imprimir (livros, jornais, revistas) e escrever (cadernos, folhas avulsas, cartões de datas comemorativas), compõe embalagens de alimentos, remédios, roupas e

dezenas de outros produtos e é utilizado, também, para fins sanitários (guardanapos, lenços e absorventes). Tem ainda utilidades especiais, como é o caso dos selos, do papel moeda e dos filtros de café, entre tantos outros exemplos.

Para o fabricante de celulose é muito importante encontrar parâmetros ideais a serem medidos em seu produto para que assim ele possa fornecer uma boa base de avaliação e previsão do comportamento no cliente, de maneira a atender suas necessidades. Também é de fundamental importância para os fabricantes de celulose, entender o impacto de cada etapa do processo produtivo nas características do produto a fim de se obter seu melhor desempenho, aliado à otimização das condições de processo (MARANESI, 2010).

O comportamento papeleiro de uma polpa depende muito das propriedades anatômicas e químicas da mistura e dos diferentes processos de produção de papel e de celulose empregados (CAMPOS et al., 2000). Nesse sentido, a morfologia das fibras e seus constituintes químicos são relevantes para se permitir previsões acerca do comportamento da polpa em condições operacionais de processo. Assim, quanto maior for a população fibrosa, maior é o entrelaçamento de fibras e as possibilidades de contatos fibra a fibra. Isso possibilita a melhora das propriedades que dependem da ligação entre fibras (tração, estouro, rasgo, dobramento, resistência superficial e resistência interna da folha). A formação da folha de papel também é favorecida pelo aumento da população fibrosa. O número de cruzamentos entre fibras na rede estrutural do papel é proporcional à população fibrosa para um papel de mesma gramatura e em uma mesma área de folha (CARPIM et al., 1987).

Por mais que a ligação entre fibras seja altamente favorecida, as propriedades do papel que não apreciam a ligação entre fibras são prejudicadas em alguns aspectos: volume específico, porosidade, absorção de água, maciez ao tato e aspereza superficial (FOELKEL, 2007). A espécie de madeira ou matéria prima empregada no cozimento, mais do que qualquer outra variável do processo, é responsável por grandes diferenças na qualidade e nas propriedades da polpa e do papel (D'ALMEIDA, 1988a).

As polpas de eucaliptos são recomendadas para a fabricação de um grande número de papéis devido às excelentes qualidades que elas podem conferir, como por exemplo, volume específico aparente, opacidade, formação, maciez, porosidade, lisura, absorção, estabilidade dimensional (DEMUNER et al., 1991). Quando uma

alimentação de polpa em uma fábrica de papel está uniforme em sua qualidade, muita coisa se consegue uniformizar na fabricação do papel: refinação, adições de produtos químicos, drenagem, consumo de vapor e de energia elétrica, consolidação da folha, propriedades físico-mecânicas e óticas do papel, etc (CAMPOS et al., 2000).

De acordo com Oliveira (2012), o papel é uma lâmina ou folha de fibras cruzadas, geralmente fibras vegetais, com gramatura de até 120 a 130 g/m<sup>2</sup> e com espessura de até 150 micras em uma folha flexível. Os papéis para embalagens pesadas do tipo kraft são fabricados, em geral, com pasta química sulfato não branqueadas, em gramaturas de 30 a 200 g/m<sup>2</sup>, cuja principal característica é a resistência mecânica elevada (RAZZOLINI, 1994). Pastas celulósicas não branqueadas possuem os mesmos componentes presentes no material de origem, porém em proporções diferentes (D'ALMEIDA, 1988a).

Independentemente do tipo de papel que é fabricado, o setor papelero possui como premissas básicas de necessidades: a alta produtividade, a alta eficiência operacional (poucas quebras, poucos problemas, pouco refugo, poucas paradas), o baixo custo de produção e a qualidade uniforme no processo e nos produtos. É importante reforçar que todos os papeleiros possuem essas necessidades fisiológicas fundamentais, não importando qual tipo de máquina ou de papel eles estejam utilizando e fabricando respectivamente (FOELKEL, 2007).

### **3 AVALIAÇÃO DA PRODUTIVIDADE E DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DAS FIBRAS DE *Schoenoplectus californicus***

#### **3.1 Introdução**

A família Cyperaceae Juss. inclui aproximadamente 120 gêneros e 5.000 espécies e está representada no Brasil por cerca de 45 gêneros distribuídos em aproximadamente 500 à 600 espécies (SILVEIRA e LONGHI-WAGNER, 2008). Levantamentos realizados nos campos sul-brasileiros mostram o predomínio de espécies das famílias Poaceae e Asteraceae, em que as espécies de Cyperaceae se destacam nas baixadas úmidas e banhadas, compondo a fitofisionomia da vegetação (LONGHI-WAGNER, 2003).

Os juncos, *Juncus spp.*, se desenvolvem perfeitamente nas condições das margens de lagos. Eles são vivazes e rústicos, suas hastes possuem cor verde brilhante e devido a isso, são muito empregadas como folhagem ornamental e, além disso, também são usados em atividades artesanais na região sul do estado do Rio Grande do Sul, onde seu crescimento é amplo. Porém, segundo Roessing (2007), a anatomia celular do junco é pouco conhecida devido à carência de estudos científicos sobre essa espécie.

A constituição química e anatômica dos materiais lignocelulósicos é abrangente e diversificada, no que diz respeito a relação às substâncias que nelas se traduzem em um sistema multimolecular de alta complexidade estrutural, de ligações cruzadas e de grande importância na preservação e nas propriedades desses materiais (TRIANOSKI, 2012).

O processo de separação das fibras e dos demais constituintes anatômicos da madeira formam a base conceitual de todos os métodos de produção de polpa celulósica (FOELKEL, 2009). Nesse sentido, inúmeros são os trabalhos disponíveis na literatura florestal, botânica e áreas afins para análise das fibras de plantas dicotiledôneas através de metodologias de maceração das fibras de madeiras. De acordo com Burger e Richter (1991) e Foelkel (2009), a maceração consiste em

dissolver ou enfraquecer, por meio de agentes químicos, a lamela média que une as fibras para uma perfeita separação e individualização dos elementos anatômicos, podendo-se então, desse modo, observar isoladamente esses elementos.

A dissociação dos tecidos vegetais é o único método que revela as particularidades das células. A maceração é a forma artificial de separação das células de um tecido, ela é realizada através da dissolução da lamela média, que é composta, quase em sua totalidade, por lignina. Por meio da maceração é possível a observação tridimensional das células, facilitando o estudo das características anatômicas da madeira. Embora se acredite que a natureza das ligações químicas entre os polissacarídeos e a lignina sejam mais complexas que a simples impregnação da lamela média pela lignina, os solventes químicos são capazes de dissolver a substância intercelular e promover a separação das células vegetais. A madeira, assim preparada, é usada para medições de largura e comprimento das fibras, diâmetro do lúmen e espessamento de parede (CARVALHO, 2005).

Barrichelo e Foelkel (1983) desenvolveram o processo Nítrico-Acético para maceração de madeira. Segundo os autores, várias soluções macerantes têm sido preconizadas e geralmente a escolha de uma, mais apropriada, depende do tipo de estudo que se realiza. Cada método apresenta vantagens e limitações. A maior parte dos processos é de aplicação rápida e necessitam aquecimento.

Assim, foi proposto, neste capítulo, baseado no processo Nítrico-Acético de maceração de madeira, a maceração de fibras da monocotiledônea *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják, visando dar suporte metodológico aos estudos relacionados a essa espécie e à criação de um procedimento padrão para a medição do comprimento e largura dos elementos anatômicos de gramíneas monocotiledôneas. Além disso, também, foi determinada a massa específica e a produtividade do junco, buscando conhecer a disponibilidade desta matéria prima para fins industriais.

### 3.2 Material e métodos

Para este estudo foram utilizados rametes aéreos de *Schoenoplectus californicus* com comprimento e circunferência média de 1,54 metros e 2,2 centímetros respectivamente. O junco foi coletado em áreas alagadiças na Ilha dos Marinheiros, distrito do município de Rio Grande, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 4).



Figura 4 – Mapa de localização da Ilha dos Marinheiros e foto do junco em área de alagadiço no local.

Fonte – Mapa (<http://www.mapas-rs.com>); Junco (Arquivo pessoal).

O corte para coleta dos rametes de *Schoenoplectus californicus* foi realizado acima da parte submersa, considerando o limite de corte a parte que ficava acima da lâmina d'água do alagadiço, permanecendo apenas a parte radicular das plantas na área de coleta a fim de favorecer a rebrota. O material foi coletado manualmente com o uso de facões e foices.

Por se tratar de plantas que se desenvolvem em Áreas de Preservação Permanente (APP), a coleta do material foi realizada mediante prévia Autorização

Florestal, de Nº 01/2013 da Secretaria Estadual de Meio Ambiente – SEMA, por meio do Departamento de Florestas e Áreas Protegidas – DEFAP responsável na região.

As passagens, maceração, medições, determinação desenvolvidas neste capítulo foram todas realizadas nos laboratórios da Universidade Federal de Pelotas – UFPel, no departamento de Engenharia Industrial Madeireira.

No que consta aos métodos utilizados, destaca-se a determinação da massa específica que foi realizada por meio de uma balança hidrostática (VITAL, 1984).

Para isso, utilizou-se 10 rametes de junco, em que de cada ramete (amostra) foram retiradas 2 sub amostras de 6 cm de comprimento (Figura 5) em duas posições: 0% e 50% do comprimento total de cada amostra. A medição considerada 0% foi a ponta do ramete que estava em contato direto com a lâmina d'água.

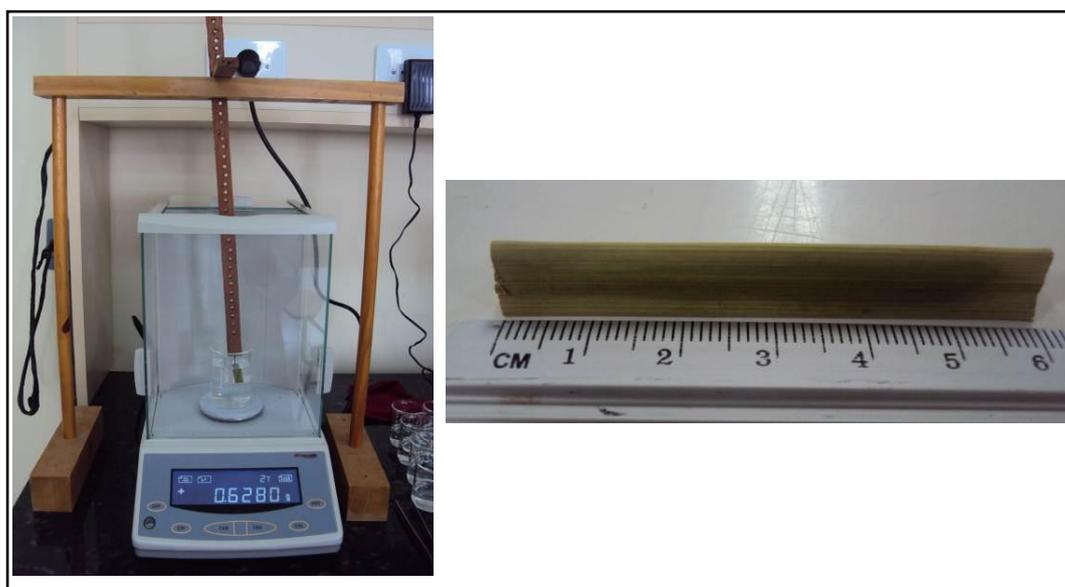


Figura 5 – Balança hidrostática e uma sub amostra usadas na determinação da massa específica.  
Fonte – Arquivo pessoal.

Convém salientar ainda, no que consta a esse procedimento, que as sub amostras foram imersas em água, por um período de 24 horas para total saturação e posterior determinação de seus volumes em balança hidrostática. Após, os corpos de prova foram levados à estufa de secagem à temperatura de 105 °C até atingir

peso constante. A massa específica básica, por sua vez, foi determinada pela equação 1:

$$P_b = M_o / V_u \quad \text{Equação 1}$$

Em que:  $P_b$  = massa específica básica ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  $M_o$  = massa seca em estufa à  $105 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$  (g);  $V_u$  = Volume saturado ( $\text{cm}^3$ ).

Para calcular a produtividade, foi coletada uma amostra de junco, em que foram medidos cinco parcela, escolhidos aleatoriamente, em uma área de um metro quadrado e colhidos todos os juncos dessa área. Posteriormente, foram armazenados em sacos plásticos para serem transportados ao laboratório de Química da Madeira do Curso de Engenharia Industrial Madeireira da UFPel.

No laboratório o material coletado foi submetido à medição dos teores de umidade. Para isso, foi pesado o equivalente a 25 gramas de amostra úmida de cada talhão, as quais foram colocadas em estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  por um período de 24 horas, até atingir peso constante. O teor de umidade das amostras foi determinado segundo a equação 2.

$$TU = \frac{P_u - P_{as}}{P_{as}} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

Em que: TU = Teor de umidade;  $P_u$  = peso da amostra úmida; e  $P_{as}$  = peso da amostra absolutamente seca.

Por fim, os rametes de junco contidos em cada saco plástico, que representavam cada talhão, foram pesados em uma balança analítica para determinar o peso total de material úmido. Concluído esse processo, possuindo o teor de umidade e o peso total úmido do material em cada parcela, foi possível calcular a massa seca total do junco. Desse modo, a massa seca do material obtida na área do talhão ( $1 \text{ m}^2$ ) foi estimada para hectare ( $10.000 \text{ m}^2$ ) empregando uma regra de três simples.

Para realizar a caracterização das fibras do junco, foram coletados 5 rametes de junco, de cada um deles foram retiradas 5 sub amostras de 2 centímetros de comprimento em diferentes posições: 0, 25, 50, 75 e 100% do comprimento total. Na sequência, foi realizada a maceração das sub amostras utilizando o método nítrico-acético baseado na metodologia desenvolvida por Barrichelo e Foelkel (1983). Esta metodologia foi escolhida, pois, após pesquisa e leitura de artigos científicos, viu-se

que ele apresentou resultados satisfatórios na maceração e medição de fibras vegetais.

Para fazer a maceração, as sub amostras retiradas dos rametes, em posições distintas permaneceram submersas em água por 24 horas para atingir o ponto de saturação das fibras e assim facilitar a difusão dos agentes macerantes. Após, a parte interna e externa de cada sub amostra foram separadas a fim de analisar se havia diferença morfológica das fibras em ambas as partes, que foram transformadas em filamentos de dimensões de aproximadamente 20 x 1,20 x 0,45mm (altura, largura e espessura respectivamente) e inseridas em tubos de ensaio, como apresentado na Figura 6.

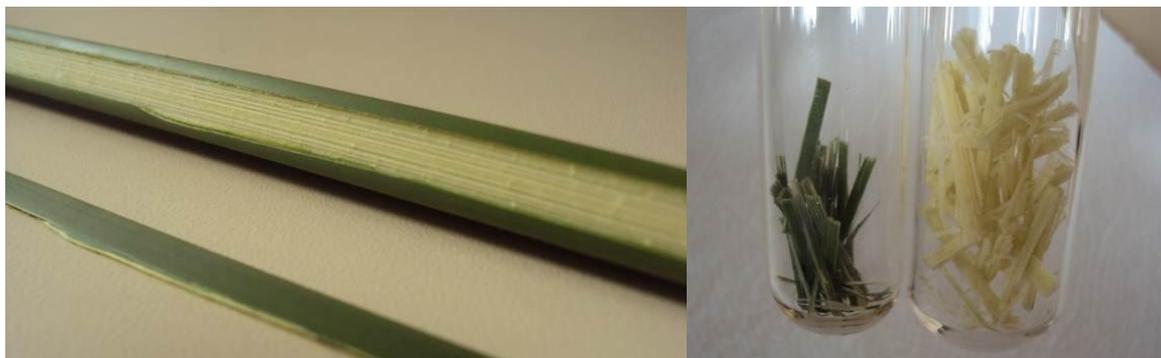


Figura 6 – Parte interna e externa da sub amostra de *Schoenoplectus californicus*.  
Fonte – Arquivo pessoal.

Nos tubos de ensaio com as amostras foi adicionada uma solução ácida nítrico-acética. Essa solução consiste em uma mistura de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) e ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) na proporção de 1:5, em volume, diluída em água destilada em 1:2. Foi adicionado volume suficiente para que as amostras de junco ficassem completamente mergulhadas e então levadas ao banho-maria a 100 °C para acelerar o processo de maceração (Figura 7A). As amostras da parte interna permaneceram em banho-maria por um período de 2 horas e as amostras da parte externa por 3 horas, em que a cada meia hora os tubos de ensaio com as amostras foram agitados para otimizar a dissociação das fibras (Figura 7B).

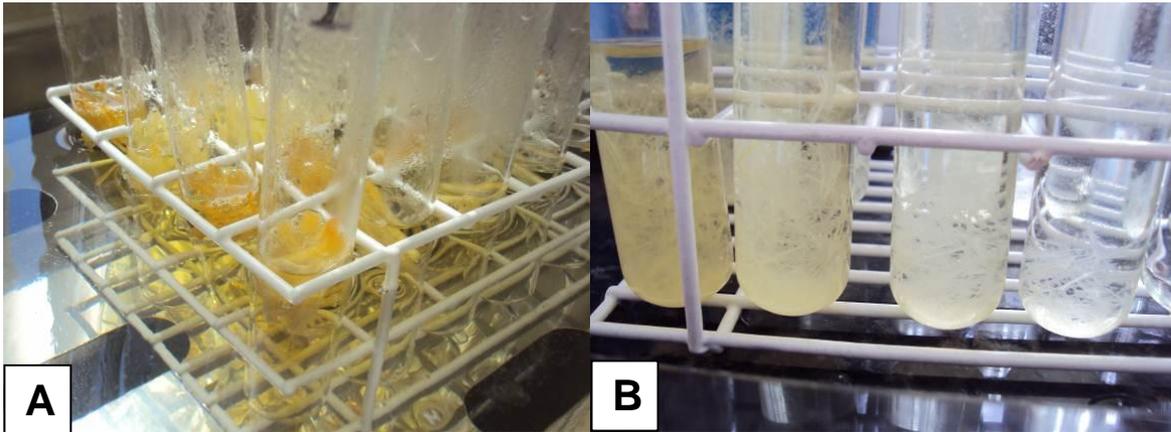


Figura 7 – A) Tubos de ensaio com a solução fibras/ácido em banho maria; B) Tubos de ensaio com fibras dissociadas após o processo de maceração.  
Fonte – Arquivo pessoal.

Após a maceração, lâminas com as fibras maceradas foram confeccionadas a fim de avaliar a qualidade do material obtido. Para isso, o material macerado foi colocado em um funil com papel filtro para filtragem e então foi adicionada água destilada em abundância para lavagem e consequente neutralização das fibras. Posteriormente, foi adicionado corante vermelho congo às fibras maceradas a 1% de concentração. Elas permaneceram por um período de 15 minutos a 1 hora em contato com o corante. Após, as fibras foram lavadas para retirar o excesso de corante.

Já tingidas, com o auxílio de uma pinça, uma pequena quantidade de fibras maceradas foi transferida para uma lâmina de vidro (Figura 8A), na qual foi adicionado o meio de montagem e, cuidadosamente, com a ponta de um estilete as fibras foram espalhadas. Após, uma lamínula foi colocada sobre o material. As lâminas foram secadas e então levadas ao microscópio para observação (Figura 8B).

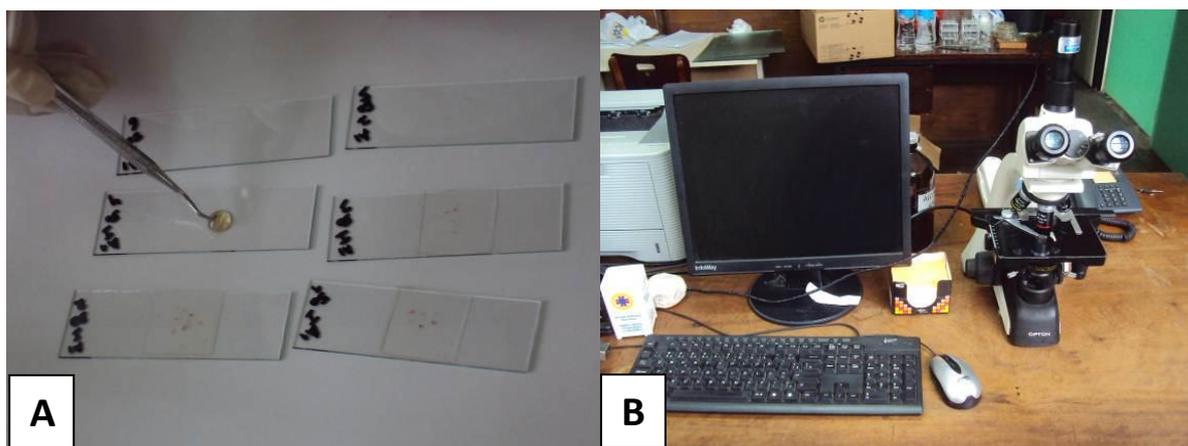


Figura 8 – A) Preparação das lâminas para leitura de comprimento e espessura das fibras; B) Sistema microscópio + computador do laboratório de Anatomia da Madeira da UFPel usado para as medições. Fonte – Arquivo pessoal.

As fibras foram fotografadas e dimensionadas quanto ao seu comprimento, largura do lúmen e espessura da parede celular (Figura 9).

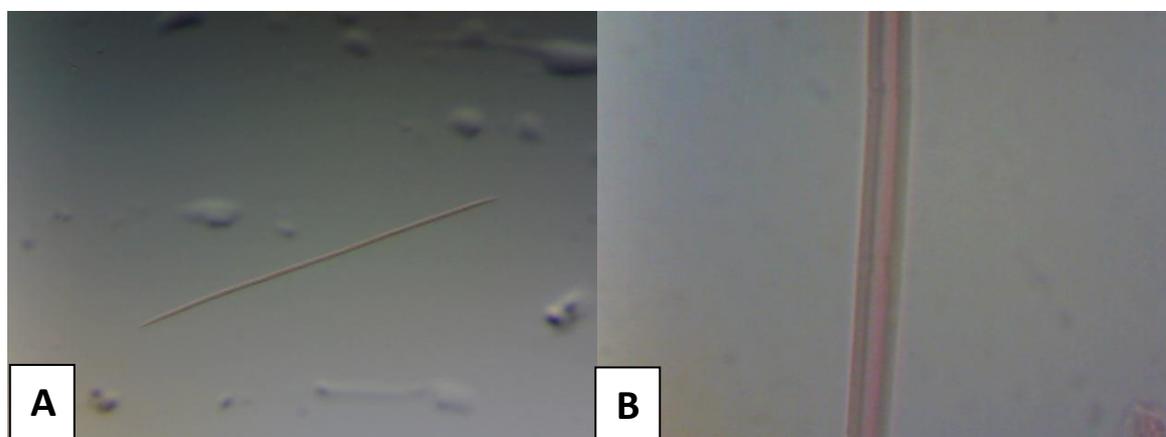


Figura 9 – A) Fibra de junco fotografada com objetiva 4X para medir comprimento; B) Fibra fotografada com objetiva 40X para medir largura. Fonte – Arquivo pessoal.

Para melhor visualização da organização interna do junco, foram realizados cortes transversais em um ramete de espessura inferior a 1 mm com o uso de uma lâmina de aço. A lâmina de amostra obtida foi pigmentada com corante vermelho

congo a 1% de concentração e colocada sob uma lâmina de vidro e coberta com uma lamínula.

Todas as lâminas, tanto as de fibras maceradas como as dos cortes transversais, serão fotografadas em microscópio modelo TBN-04T-PL da marca OPTON empregando o programa MIPRO STANDARD V1.1 em.

### 3.2 Resultados e discussões

Para Durlo (1991) o valor obtido para massa específica indica a quantidade aproximada de massa lenhosa ou, de modo inverso, o volume de espaços vazios existentes, e é uma das propriedades físicas mais importantes para a caracterização de materiais fibrosos. De acordo com Foelkel et al. (1990), a massa específica básica tem-se mostrado como um bom índice universal para avaliar a qualidade da madeira, e, segundo Burger e Richter (1991), a massa específica da matéria lenhosa, denominada massa específica real, oscila entre 1,40 e 1,62 g/cm<sup>3</sup>. Entretanto, devido à variação nas dimensões e proporções dos diversos tecidos lenhosos, a massa específica das madeiras varia entre 0,13 e 1,4 g/cm<sup>3</sup>.

Para os rametes de *Schoenoplectus californicus* foi encontrada massa específica média de 0,142 g/cm<sup>3</sup>, em que não foi verificada grande variação entre os dois pontos medidos (a 0% = 0,1378 g/cm<sup>3</sup> e a 50% = 0,1462 g/cm<sup>3</sup>), como pode-se observar na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados médios para massa específica básica nos dois pontos medidos ao longo do comprimento de cada ramete.

	Posição ao longo do comprimento do ramete	
	0%*	50%
Massa Específica Básica (g/cm <sup>3</sup> )	0,1378	0,1462

\*posição rente à lâmina de água em que os rametes foram coletados

Goulart et al. (2003) encontraram massa específica básica para a madeira de *Eucalyptus grandis* de 0,411 g/cm<sup>3</sup>, já Foelkel (2009) apresenta massa específica básica para *Eucalyptus globulus* de 0,6 g/cm<sup>3</sup> e para *Eucalyptus urograndis* de 0,5 g/cm<sup>3</sup>. Bonfantti Jr. (2010) encontrou massa específica básica média para os cavacos de *Bambusa vulgaris* igual a 0,494 g/cm<sup>3</sup> e Azzini et. al. (1987), para a mesma espécie, obteve resultados com amplitudes entre 0,487 e 0,619 g/cm<sup>3</sup>. Azzini et. al. (1988) determinou a massa específica básica de colmos de *Bambusa tuldoides* de 21 progênes e seus resultados variaram de 0,407 a 0,714 g/cm<sup>3</sup>.

Comparando os resultados obtidos para o junco (Tabela 1) com as massas específicas encontradas para o bambu e eucalipto nos estudos apresentados anteriormente, pode-se afirmar que a massa específica do junco é consideravelmente inferior a das demais fibras vegetais. Segundo Foelkel et al., (1975), Tomazello Filho (1985), Souza et al. (1986) e Busnardo et al., (1987), a massa específica básica é influenciada por diversos fatores: espessura da parede celular, quantidade de vasos, dimensões da fibra, teor de extrativos e condições edafoclimáticas do local de crescimento da planta. Assim, a baixa massa específica encontrada para o junco pode ser explicada pela organização anatômica interna de seus rametes como apresenta a Figura 10, em que se observa a grande área ocupada pelos lúmens das suas fibras.

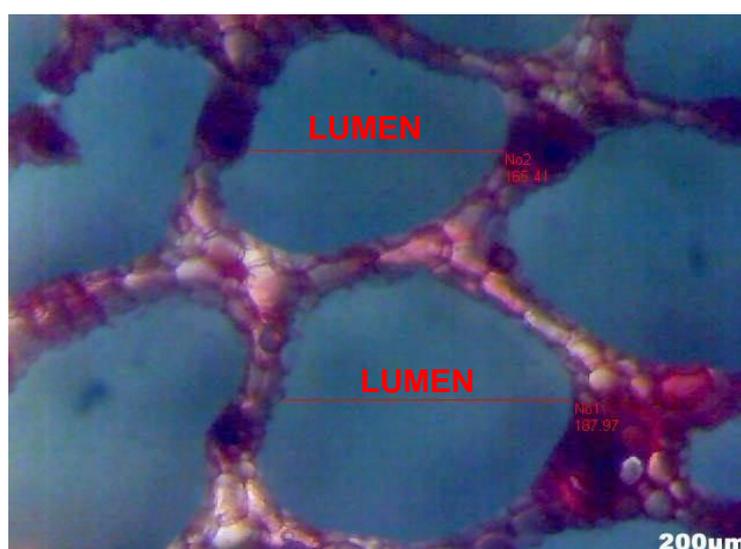


Figura 10 – Imagem microscópica com objetiva 4x demonstrando a organização interna dos rametes de *Schoenoplectus californicus*.  
Fonte – Arquivo pessoal.

Usando-se o método de classificação de massa específica empregada para madeira adotado pelo Departamento de Ciências Florestais da UFSM (DURLO, 1991), classificou-se o junco como matéria fibrosa excepcionalmente leve, pois apresenta massa específica inferior a 0,30 g/cm<sup>3</sup>. A faixa ideal de massa específica para matéria prima destinada à produção de papel é situada entre 0,4 e 0,6 g/cm<sup>3</sup> (BURGER e RICHTER, 1991).

A produtividade de junco, após coleta, secagem e pesagem (massa seca) foi determinada em aproximadamente 206,70 Kg/ha, podendo se afirmar que esta produtividade é anual. Devido ao fato de o método de amostragem e de quantificação das amostras de junco ser diferente daqueles utilizados para espécies florestais, não foi possível comparar a produtividades entre esses materiais. Apesar disso, pode-se atestar que a produtividade do *Schoenoplectus californicus* é baixa, o que pode ser confirmado pelos baixos valores encontrados para a massa específica básica desta planta (Tabela 1).

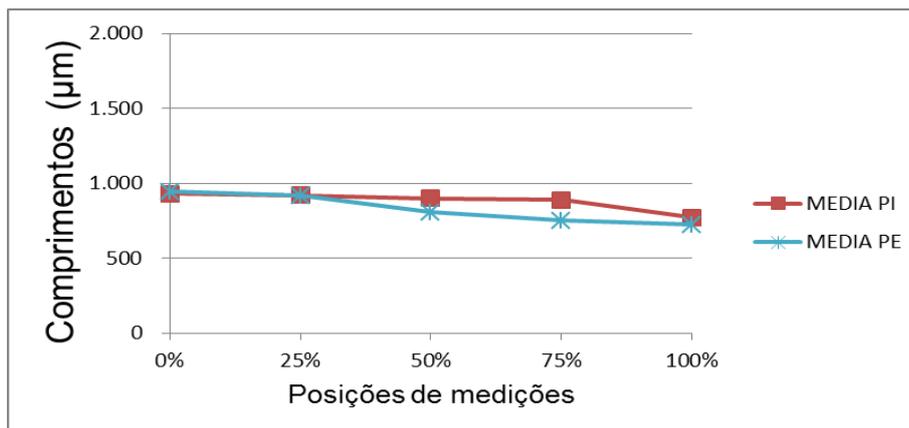
Ao se tratar dos resultados da caracterização morfológica das fibras de *Schoenoplectus californicus*, os valores maiores, médios e menores para comprimento e largura das fibras nas diferentes posições avaliadas da parte interna e externa dos rametes são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Resultados das medições de comprimento e largura das fibras de *Schoenopletus californicus* com valor médio, maior e menor, desvio padrão e coeficiente de variação para cada posição avaliada da parte interna e externa.

POSIÇÕES	COMPRIMENTO		LARGURA		
	PARTE INTERNA	PARTE EXTERNA	PARTE INTERNA	PARTE EXTERNA	
<b>0%</b>	Média ( $\mu\text{m}$ )	931,52	944,72	3,56	2,91
	Maior ( $\mu\text{m}$ )	1471,89	2100,69	10,29	4,42
	Menor ( $\mu\text{m}$ )	432,75	336,57	1,57	1,84
	Desvio padrão	229,06	281,75	2,21	0,57
	CV (%)	24,59	29,82	62,10	19,66
<b>25%</b>	Média ( $\mu\text{m}$ )	921,80	916,28	3,60	3,25
	Maior ( $\mu\text{m}$ )	1384,73	1481,34	10,75	7,76
	Menor ( $\mu\text{m}$ )	403,00	281,20	1,29	1,84
	Desvio padrão	230,67	275,74	2,18	1,07
	CV (%)	25,02	30,09	60,64	32,94
<b>50%</b>	Média ( $\mu\text{m}$ )	898,90	804,97	3,62	3,35
	Maior ( $\mu\text{m}$ )	1395,21	1381,05	10,76	6,50
	Menor ( $\mu\text{m}$ )	389,76	234,06	1,66	2,19
	Desvio padrão	243,12	238,37	2,21	0,89
	CV (%)	27,05	29,61	61,09	26,63
<b>75%</b>	Média ( $\mu\text{m}$ )	887,53	752,72	3,99	3,38
	Maior ( $\mu\text{m}$ )	1698,57	1551,55	11,95	7,69
	Menor ( $\mu\text{m}$ )	264,70	307,97	1,77	1,44
	Desvio padrão	250,07	210,34	2,56	1,18
	CV (%)	28,18	27,94	64,34	35,00
<b>100%</b>	Média ( $\mu\text{m}$ )	771,21	724,79	4,53	3,66
	Maior ( $\mu\text{m}$ )	1373,90	1396,01	13,44	10,94
	Menor ( $\mu\text{m}$ )	341,47	279,77	1,58	1,44
	Desvio padrão	215,61	257,37	2,83	1,99
	CV* (%)	27,96	35,51	62,44	54,35

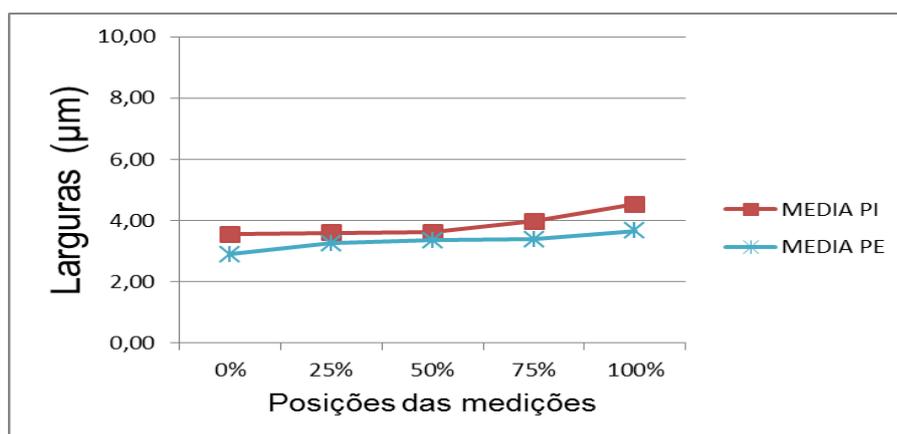
\*CV = Coeficiente de variação

Diante dos dados apresentados na Tabela 2, as fibras do junco apresentaram valores médios de comprimento entre 724,79 a 944,72  $\mu\text{m}$  e de largura de 2,91 a 4,53  $\mu\text{m}$  aproximadamente. Os valores de comprimento e a largura das fibras do junco, em ambas as partes, apresentam-se com comportamentos inversos, onde os valores médios de comprimento nas diferentes porções foram diminuindo conforme foi passando da posição 0% para a 100%, já para os valores médios das larguras o inverso foi observado, ou seja, foram aumentando da posição 0% para a 100%. Esse comportamento pode ser visualizado nas Figuras 11 e 12.



\*MEDIA PI = Valores médios para a parte interna; MEDIA PE = Valores médios para a parte externa;

Figura 11 – Comportamento do comprimento das fibras da parte interna e externa do junco com relação as diferentes posições avaliadas.



\* MEDIA PI = Valores médios para a parte interna; MEDIA PE = Valores médios para a parte externa;

Figura 12 – Comportamento da largura das fibras da parte interna e externa do junco com relação às diferentes posições avaliadas.

Comparando os comprimentos das fibras entre as partes interna e externa, pode-se notar que os valores médios foram superiores na parte interna do que na externa, porém, essa diferença foi mais evidente nas porções 50 e 75%. Em ambas as partes, em relação ao comprimento das fibras, as médias apresentaram propriedades semelhantes, diminuindo no sentido base (0%) topo (100%).

Guimarães Jr. et al. (2010), ao caracterizarem anatomicamente as fibras de *Bambusa vulgaris* para utilização em compósitos poliméricos, determinaram as dimensões das fibras: comprimento de 2.299,47 µm, diâmetro de 13,93 µm e espessura da parede celular de 5,06 µm. Bonfatti Jr. (2010), também determinou o

comprimento médio de 2,58 mm e largura de 20,13  $\mu\text{m}$  para fibras de *Bambusa vulgaris*. Azzini e Ciaramello (1971), por sua vez, dimensionaram as fibras de cinco espécies de *Bambusa* quanto ao comprimento e largura, obtendo, respectivamente, os seguintes resultados: *B. tuldoides* 1,89 mm e 18,21  $\mu\text{m}$ ; *B. textilis* 2,04 mm e 16,78  $\mu\text{m}$ ; *B. ventricosa* 1,90 mm e 14,38  $\mu\text{m}$ ; *B. melingensis* 2,07 mm e 14,79  $\mu\text{m}$ ; e *B. dissimulator* 2,32 mm e 15,19  $\mu\text{m}$ . Ainda segundo Guo et. al. (2010), o bambu é uma matéria prima excelente para a fabricação de celulose e papel. Suas fibras tem comprimento de 1,5 a 4,4 mm, largura de 7 a 27  $\mu\text{m}$  e suas dimensões são, portanto, comparáveis com as da madeira.

Nisgoski et al. (1998) realizaram a caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* e verificaram que suas fibras são curtas, com comprimento variando de 500 a 1700  $\mu\text{m}$ , com média de 818  $\mu\text{m}$  enquanto Rocha et al. (2004), analisaram o comprimento das fibras de *Eucalyptus grandis* em 5 posições ao longo da altura comercial dos indivíduos analisados e obtiveram resultados na base à 25, 50, 75 e 100% de comprimentos médios de 920,83, 981,09, 957,77, 888,18 e 901,50 $\mu\text{m}$ , respectivamente.

Comparando os resultados observados para as fibras de *Schoenoplectus californicus* com os das diferentes espécies de bambu apresentados anteriormente, nota-se que, apesar de serem duas gramíneas, suas fibras possuem comprimentos distintos: o junco apresenta fibras curtas em relação ao bambu. Todavia, as fibras de junco são semelhantes em comprimento comparadas às fibras das madeiras de eucalipto. Além disso, foi possível verificar que a parte interna dos rametes do junco possuem fibras de maior comprimento em relação àquelas localizadas na parte externa.

De acordo com Azzini et al. (1988) o comprimento é a principal característica morfológica das fibras celulósicas, pois por meio dele se caracterizam os materiais fibrosos em fornecedores de fibras curtas e longas. Salomão (2009) concorda com Azzini et al. (1988) e caracteriza as fibras curtas como aquelas com comprimento de aproximadamente 1,0 mm e as de fibra longa como aquelas de aproximadamente 3,5 mm.

Em relação à largura das fibras de junco, os valores médios obtidos variaram de 2,91 a 4,53  $\mu\text{m}$ . Assim, como nos resultados para comprimento das fibras, as menores larguras foram encontradas na parte externa e as maiores na parte interna,

conforme pode ser visualizado no Figura 11, as larguras variaram de 3,56 a 4,53  $\mu\text{m}$  na parte interna e de 2,91 a 3,66  $\mu\text{m}$  na parte externa. Isso permite afirmar que as fibras na parte externa são mais finas que na parte interna do junco. Barrichelo e Foelkel (1975) encontraram para as fibras de *Eucalyptus saligna* largura de 15,9  $\mu\text{m}$  e para *Bambusa vulgaris* a largura das fibras foi de 15,2  $\mu\text{m}$ . Comparando os resultados encontrados para bambu e eucalipto com os resultados de largura encontrados para as fibras do junco, pode-se afirmar que as fibras de junco apresentam as menores larguras, ou seja, são fibras extremamente delgadas, principalmente aquelas localizadas na parte externa dos rametes.

Os dados encontrados neste capítulo visam auxiliar no entendimento das análises feitas no capítulo a seguir, pois, de acordo com Soffner (2001), a classificação tradicional, quanto à largura, visa correlacionar tal dimensão com a propriedade de resistência ao arrebentamento do papel.

### 3.4 Conclusão

De acordo com os resultados observados para o *Schoenoplectus californicus* é possível afirmar que:

- É uma espécie de baixa massa específica e produtividade;
- Apresenta fibras curtas e delgadas;
- Apresenta fibras de comprimento semelhante às fibras das madeiras de eucalipto e inferiores que as fibras de bambu;
- Possuem fibras de largura inferior as fibras das madeiras de eucalipto e do bambu;
- As fibras localizadas na parte interna dos rametes possuem comprimento e largura superiores as da parte externa;

### 3.5 Referências Bibliográficas

AZZINI, A.; CIARAMELLO, D. Bambu como matéria-prima para papel. **Bragantia**, Campinas. v. 30, n. 23, p. 305-319, 1971.

AZZINI, A. et al.. Produção conjunta de fibras celulósicas e etanol a partir do bambu. **Bragantia**, Campinas, v. 46, n. 1, p. 17-25, 1987.

AZZINI, A. et al. Densidade básica do colmo e fibras celulósicas em progênes de *Bambusa tuldoides* Munro. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 1988, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1988. p. 17-23.

BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B. Produção de celulose sulfato a partir de misturas de madeira de *Eucalyptus saligna* com pequenas proporções de cavacos de *Bambusa vulgaris* var. *vitatta*. **IPEF**, n. 10, p. 93-99, 1975.

BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B. Processo nítrico-acético para maceração de madeira. **Sociedade Brasileira de Silvicultura**, São Paulo:, v. 8, n. 28, p. 732-733, 1983.

BONFANTTI JR., E. A. **Caracterização das propriedades anatômicas, químicas e densidade da espécie *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl., para a produção de celulose Kraft com diferentes cargas de Álcali.** 2010, 67f. Trabalho Final de Curso - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

BRITO, J. O. Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de Eucalipto. **IPEF**. n. 23, p. 53-56, 1983.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira.** São Paulo: Nobel 1991, 154p.

BUSNARDO, C.A. Em busca da qualidade ideal da madeira do eucalipto para produção de celulose. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 20, 1987, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1987, p. 17-33.

CARVALHO, A. M. M. L. **Módulo I – Estrutura Anatômica e Química da Madeira.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa – 2005.

DURLO, M. A. **Tecnologia da madeira: peso específico**. Centro de Pesquisas Florestais – CEPEF/FATEC. Série Técnica n. 8. Santa Maria, 1991.

FOELKEL, C. **Individualização das fibras da madeira do eucalipto para a produção de celulose kraft**. [S.l.: s.n.] Julho, 2009.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L.E.G.; MILANEZ, A.F. Estudo comparativo das madeiras de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus paniculata*, *Eucalyptus citriodora*, *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus tereticorns* para a produção de celulose sulfato. **IPEF**, Piracicaba, v.10, p.17-37, 1975.

FOELKEL, C. E.; MORA, E.; MENECELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6, Campos do Jordão **Anais...** Campos do Jordão, 1990. p. 719-728.

GOULART, M. Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis* sob o efeito do espaçamento de plantio e da posição axial do tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 167-175. 2003.

GUIMARÃES JR., M.; NOVACK, K. M.; BOTARO, V. R. Caracterização anatômica da fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*) visando sua utilização em compósitos poliméricos. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 11, n. 7, 442-456, 2010.

GUO, S. et al. . Cozimento kraft ótimo de bambu – a influência das condições de cozimento nas propriedades da celulose e das fibras. **O Papel**. v. 71, n. 7, p. 63-76, 2010.

LONGHI-WAGNER, H.M. **Diversidade florística dos campos sul brasileiros**. In: JARDIM, M.A.G.; BASTOS, M.N.C.; SANTOS, J.U.M. (Ed.). Desafios da botânica no novo milênio: inventário, sistemática e conservação da diversidade vegetal. Belém: Sociedade Botânica do Brasil. 2003. p. 117-120.

NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B. de; KLOCK, U. Caracterização anatômica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 67-76, 1998.

REDKO, B. V. P. Celulose de bambu. In: CONVENÇÃO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP. São Paulo, 4. **Anais...** São Paulo, 1971. p. 3-12.

ROCHA, F. T.; FLORSHEIM, S. M. B.; COUTO, H. T. Z. do. Variação das dimensões dos elementos anatômicos da madeira de árvores de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden aos sete anos. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 43-55, 2004.

ROESSING, M. **Produção, caracterização morfo-anatômica e ornamental e uso do *Juncus effusus* L. em paisagismos.** 2007, 170f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2007.

SALOMÃO, A. L. de S. **Ecosistema engenheirado no tratamento descentralizado de águas residuárias de pequenos geradores: a engenharia ecológica na Ilha Grande, RJ.** 2009, 166f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SILVEIRA, G. H.; LONGHI-WAGNER, H. M. Cyperaceae Juss. No Morro Santana – Porto Alegre e Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. **IHERINGIA**, Porto Alegre, v. 63, n. 2, p. 295-320, jul./dez. 2008.

SOFFNER, M. L. A. P. **Produção de polpa celulósica a partir de engaço de bananeira.** 2001, 56f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2001.

SOUZA, V.R.; CARPIM, M.A.; BARRICHELO, L.E.G. Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posição em árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **IPEF**, Piracicaba, v. 3, p. 63-72, 1986.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, n. 29, p. 37-45, 1985.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos.** 2012, 554f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

VITAL, B. R. Métodos de determinação da densidade da madeira. **SIF/UFV**. Boletim Técnico, v. 1, p. 1-21, 1984.

## 4 INFLUÊNCIA DAS FIBRAS DE *Schoenoplectus californicus* NA QUALIDADE DE PAPÉIS

### 4.1 Introdução

Em muitos países em desenvolvimento nos quais a madeira é produzida a custos elevadíssimos, é prática comum utilizar fibras não madeireiras na produção de celulose e papel, as quais podem representar uma das maiores fontes atuais e potenciais de fibras (KLOCK et al., 2005).

Grande parte da produção de polpa celulósica no Brasil é proveniente de espécies cultivadas de eucalipto e pinus. No entanto, existem outras fontes potenciais, que são as espécies não madeireiras, dentre elas espécies que geram fibras para a produção de papéis pode-se citar o bambu (*Bambusa vulgaris*), o bagaço de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*), o linho (*Linum usitatissimum*), a juta (*Corchorus capsularis*), o kenaf (*Hibiscus cannabinus*), o abacá (*Musa textilis*). Essas são as espécies utilizadas na confecção de papéis de imprimir e escrever, embalagem e papéis especiais (VAN DEN BERG, 2005).

De acordo com Barrichelo e Brito (1976) o uso de plantas não madeireiras como fonte de matéria prima para produção de polpa celulósica e papel tem sido crescente. A utilização dessas plantas na fabricação de polpa celulósica pressupõe uma desagregação das estruturas de seus elementos construtivos, mediante processos físicos, químicos ou biotecnológicos, ou ainda usando processos mistos decorrentes de uma participação conjunta e equilibrada dos processos.

Na região sul do estado do Rio Grande do Sul os juncais são encontrados em grande quantidade, pois se desenvolvem satisfatoriamente em alagadiços e ambientes úmidos, locais bastante característicos dessa região. Segundo Roessing (2007), a anatomia celular do junco é pouco estudada e os conhecimentos em relação à produção dessa espécie são restritos a alguns produtores, que produzem sem a base científica e sim com a empírica. Sendo assim, observa-se a importância

de estudos científicos que avaliem essa planta visando mudanças tecnológicas, em termos de matérias primas utilizadas nas indústrias.

O que se têm conhecimento é do uso do junco como planta ornamental e na produção de artesanatos. Por ele ter um bom percentual de celulose acredita-se que é uma matéria prima promissora na produção de papéis (SILVEIRA, 2007; SOUZA, 2003; CORDAZZO e SEELIGER, 1988). Devido ao rápido crescimento e adaptabilidade na região sul do estado do Rio Grande do Sul, o junco torna-se uma fonte de fibras interessante e atrativa para a produção de papéis, surgindo como uma alternativa de fonte de renda para as comunidades pesqueiras que vivem em torno das margens das lagoas e alagadiços, pois elas poderiam produzir e beneficiar essas fibras.

Considera-se fundamental a avaliação dos principais componentes químicos da madeira, pois eles exercem grande influência sobre os processos químicos de polpação, interferindo assim na qualidade do produto final e, além disso, são considerados fatores limitantes para determinadas utilizações (ANDRADE, 2006). Ao encontro da ideia de Andrade (2006), Bonfatti Jr (2010) afirma que os extrativos e a lignina são constituintes considerados como indesejáveis no processo de produção de celulose química, sendo suas determinações, indicativos que podem propiciar, indiretamente, estimativas sobre rendimento de processo e consumo de reagentes durante a polpação.

Segundo o relatório técnico de 2013 da Associação Brasileira de Celulose e Papel – BRACELPA, a produção de papéis vem crescendo ano a ano. Tal afirmação pode ser explicada, em parte, pela substituição de embalagens plásticas por embalagens de papéis. Um bom exemplo disso é a substituição das sacolas plásticas, por sacolas retornáveis, que visa a redução da poluição ao meio ambiente pelo menor acúmulo de resíduos sólidos de difícil degradação nos aterros sanitários.

Sendo assim, o objetivo desse capítulo é avaliar a potencialidade das fibras de *Schoenoplectus californicus* (C.A. Mey.) Soják, na produção de papéis, como fonte alternativa de fibras as indústrias do setor de celulose e papel. Foram testadas polpas não branqueadas de fibras de junco, assim como misturas de fibras de junco com polpa não branqueada de madeira de eucalipto comercial usada pelas indústrias de celulose.

## 4.2 Material e métodos

Os procedimentos experimentais deste capítulo foram realizados no Laboratório de Celulose e Papel (LCP) da Universidade Federal de Viçosa (UFV) - MG.

Polpas kraft de número kappa 45,7 foram produzidas a partir de fibras de *Schoenoplectus californicus*. Optou-se trabalhar com polpas de número kappa 45,7, pois assim conseguiu-se um rendimento semelhante ao rendimento obtido pelo processo kraft pelas indústrias que usam madeiras de eucalipto e que trabalham com kappa em torno de 17.

Os rametes aéreos dessa espécie foram picados manualmente e transformados em cavacos com comprimento variando entre 5 e 7 centímetros (Figura 13A). Após secos ao ar, foram armazenados em sacos de polietileno para uniformização e conservação do teor de umidade. Parte dos cavacos foi transformada em serragem em moinho Willey, que foi classificada em peneiras 40/60 mesh (Figura 13B) e armazenada em potes lacrados para posteriores análises químicas.

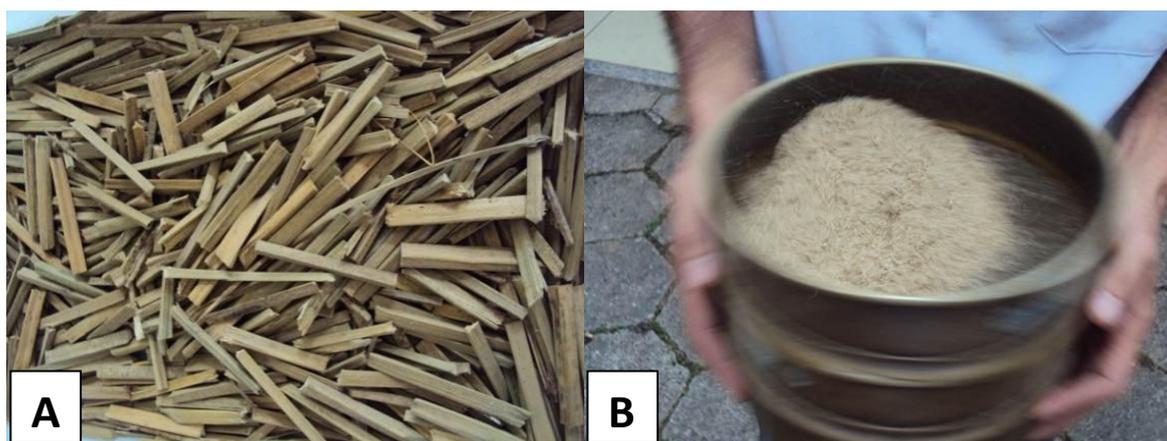


Figura 13 – Amostras de *Schoenoplectus californicus*: (A) Cavacos; (B) serragem.  
Fonte – Arquivo pessoal.

Quanto ao método utilizado para a caracterização química do junco, salienta-se que foram realizadas as seguintes análises: teor de extrativos em acetona, teor de extrativos totais, lignina insolúvel e solúvel em ácido, teor de celulose e hemiceluloses (composição dos açúcares), compostos inorgânicos e ácidos urônicos. Os procedimentos analíticos empregados seguiram os padrões utilizados no Laboratório de Celulose e papel (LCP) e estão descritos na Tabela 3.

Tabela 3 – Procedimentos analíticos para caracterização química das fibras de junco.

Parâmetro	Procedimento
Extrativos em acetona	TAPPI T 280 pm-99
Extrativos totais	TAPPI T 264 cm-97 (adaptada)
Lignina insolúvel em ácido	TAPPI T 222 om-98 (adaptada)
Lignina solúvel em ácido	TAPPI UM 250
Composição dos açúcares	HPLC-PAD (WALLIS et. al., 1996)
Compostos inorgânicos	TAPPI T 211; SCAN CM 38:96; TAPPI T 244
Ácidos urônicos	Scott (1979)

Com relação à etapa de cozimento kraft, destaca-se que eles foram realizados em digestor rotativo Regmed (Figura 14A), com 4 reatores individuais de 2 litros cada um, aquecidos eletricamente e dotado de termômetro e manômetro, possibilitando a realização, numa única batelada, de quatro cozimentos simultaneamente (Figura 14B). O tempo e a temperatura de cozimento foram monitorados por meio de controlador eletrônico computacional junto a central de controle das demais condições de cozimento. O sensor de temperatura foi um PT100, posto em contato direto com os cavacos e o licor de cozimento (Figura 14C).

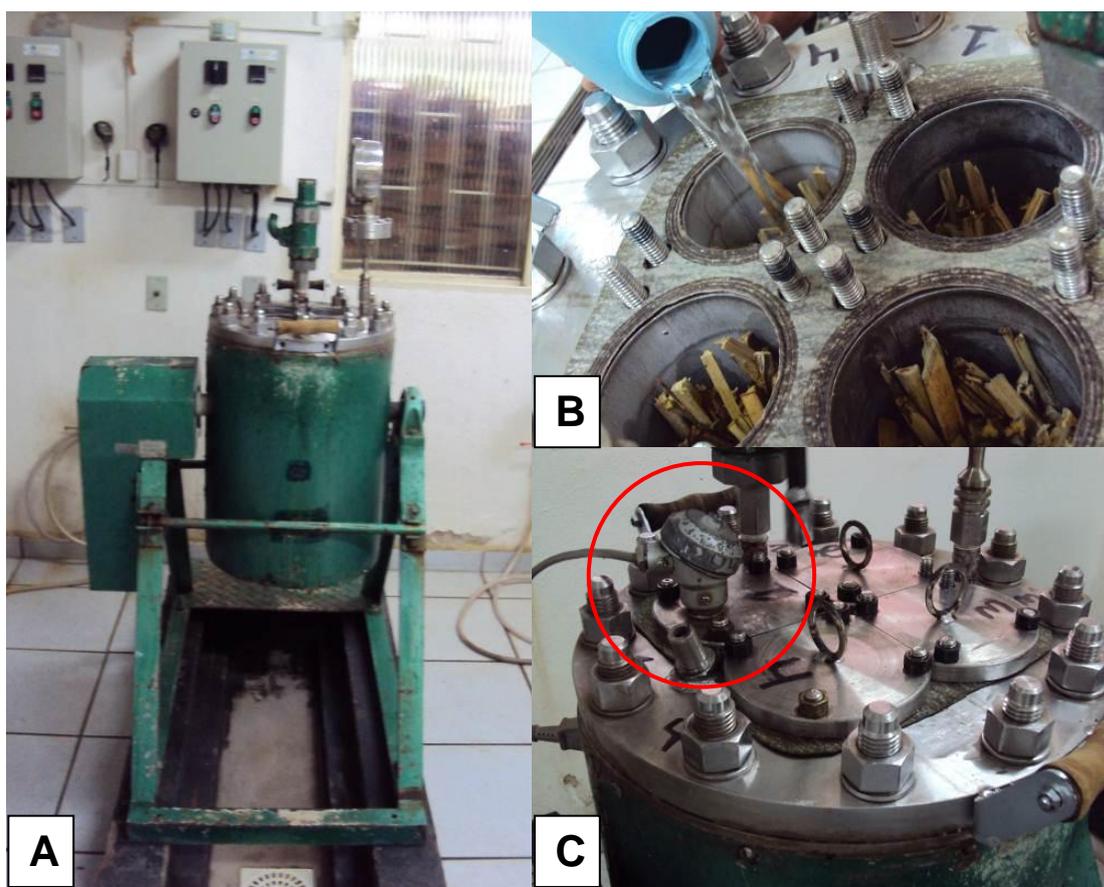


Figura 14 – A) Digestor rotativo Regmed; B) Cavacos de junco no interior dos reatores e adição do licor de cozimento; C) Reatores fechados para o cozimento e em destaque o sensor de temperatura ligado ao reator “1”.

Fonte – Arquivo pessoal.

Em cada reator foi utilizada uma carga diferente de álcali ativo (AA), expressas em  $\text{Na}_2\text{O}$ . Para estabelecer a curva de deslignificação dos cavacos, foram realizados 4 cozimentos em cada batelada. As cargas de álcali foram selecionadas após realização de cozimentos exploratórios, objetivando obtenção de número kappa próximo a 45 na parte mediana da curva de deslignificação e rendimento total próximo a 50%. O percentual de rendimento esperado foi aproximado ao rendimento de polpas obtidas por meio de cozimentos de madeiras.

Os demais parâmetros utilizados para a polpação kraft e mantidos constantes para todos os cozimentos, foram os seguintes: cavacos = 150 gramas absolutamente secos (a.s.); sulfidez = 25%; relação licor/junco = 5/1; temperatura máxima =  $170^\circ\text{C}$ ; tempo até temperatura máxima = 90 minutos e tempo à temperatura máxima = 30 minutos.

Para que as condições esperadas fossem alcançadas, foram testados diferentes percentuais de álcali ativo (AA) em iguais condições de cozimento, e posteriormente, foi escolhido o cozimento que melhor atendeu as condições de número kappa e rendimento (Tabela 4).

Tabela 4 – Condições dos cozimentos para as fibras de junco.

Tratamentos	AA (%)	Sulfidez (%)	Temperatura °C	Tempo até temperatura (min)	Tempo à temperatura (min)	Relação licor:junco
1	7	25	170	90	30	5:1
2	9	25	170	90	30	5:1
3	11	25	170	90	30	5:1
4	12	25	170	90	30	5:1
5	13	25	170	90	30	5:1

Após os cozimentos, o licor negro e as fibras foram drenados no digestor (Figura 15A) e uma parte do licor negro foi coletada (Figura 15B) para análises enquanto as fibras cozidas foram descarregadas dos reatores e lavadas com água à temperatura ambiente (Figura 15C), utilizando para a lavagem uma tela de aço inox de 150 mesh. A individualização das fibras foi realizada em *hidrapulper* laboratorial de 25 litros de capacidade, numa consistência de aproximadamente 0,6% (Figura 15D e 15E). A depuração das polpas celulósicas foi realizada em depurador laboratorial Voith dotado de placa perfurada com fendas de 0,2 mm (Figura 15F e 15G). A polpa celulósica, após lavagem, desfibramento e depuração (Figura 15H), foi desaguada em centrífuga a uma consistência de cerca de 30% e depois de desagregação mecânica, foi armazenada em saco de polietileno para análises posteriores.



Figura 15 – A) Descarga das fibras dos reatores; B) Coleta de licor negro; C) Lavagem das fibras com água a temperatura ambiente; D) Desfibramento no hidrapulper; E) Descarga das fibras do hidrapulper; F) Depuração das fibras; G) Resíduos sobre o depurador; H) Polpa celulósica após lavagem, desfibramento e depuração.  
Fonte – Arquivo pessoal.

As análises realizadas no licor negro assim como para a caracterização das polpas celulósicas estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Procedimentos empregados para análises do licor negro e da polpa celulósica.

	Parâmetro	Procedimento
Licor	Álcali residual	Norma SCAN-N 33:94 - Modificada – International Paper
	Poder calorífico	TAPPI T 684 om-97 com bomba calorimétrica Parr 6300
	Sólidos totais	TAPPI T 650 om-89
	Sólidos inorgânicos	TAPPI T 650 om-89
	Sólidos orgânicos	TAPPI T 650 om-89
Polpa	Rendimento depurado do cozimento	Gravimétrico – Propriedade LCP
	Rejeitos do cozimento	Gravimétrico – Propriedade LCP
	Número kappa da polpa	TAPPI T 236 cm-85
	Viscosidade da polpa	TAPPI T230 om-94
	Ácido hexenurônico	Tenkanen et al. (1999)

Com relação à mensuração das dimensões de fibras das polpas obtidas no cozimento de *Schoenoplectus californicus*, foram mensuradas as fibras das polpas obtidas quanto ao comprimento, largura e espessura e largura do lúmen utilizando a Norma Técnica do LCP 02 pp-97 e o Programa Image-Pro Plus (Figura 16).



Figura 16 – Conjunto microscópio, câmera acoplada e computador para mensuração das fibras usando o Programa Image-Pro Plus.  
Fonte – Arquivo pessoal.

Por sua vez, foram realizadas as misturas de polpas de junco com polpas marrons de eucalipto para produzir e avaliar as propriedades físico-mecânicas e óptica dos papéis. Para isso, polpas kraft marrons de cavacos industriais de *Eucalyptus spp* de número kappa 15,08 foram misturadas as polpas de junco em diferentes proporções, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 – Relação das proporções das misturas das polpas de junco e eucalipto.

Material	Tratamentos				
	T0	T1	T2	T3	T4
Polpa de junco	100%	75%	50%	25%	0%
Polpa de eucalipto	0%	25%	50%	75%	100%

As polpas foram refinadas em moinho PFI (Figura 17), utilizando a Norma Técnica do LCP 03 pp-97. A intensidade de refino foi expressa em graus Shopper-Rigler (°SR), segundo a norma TAPPI T 200 sp-01. O número de revoluções foi

variável, com a finalidade de obter quatro níveis de refino, que permitissem o desenvolvimento de curvas de refinação na faixa de 15 a 60°SR.

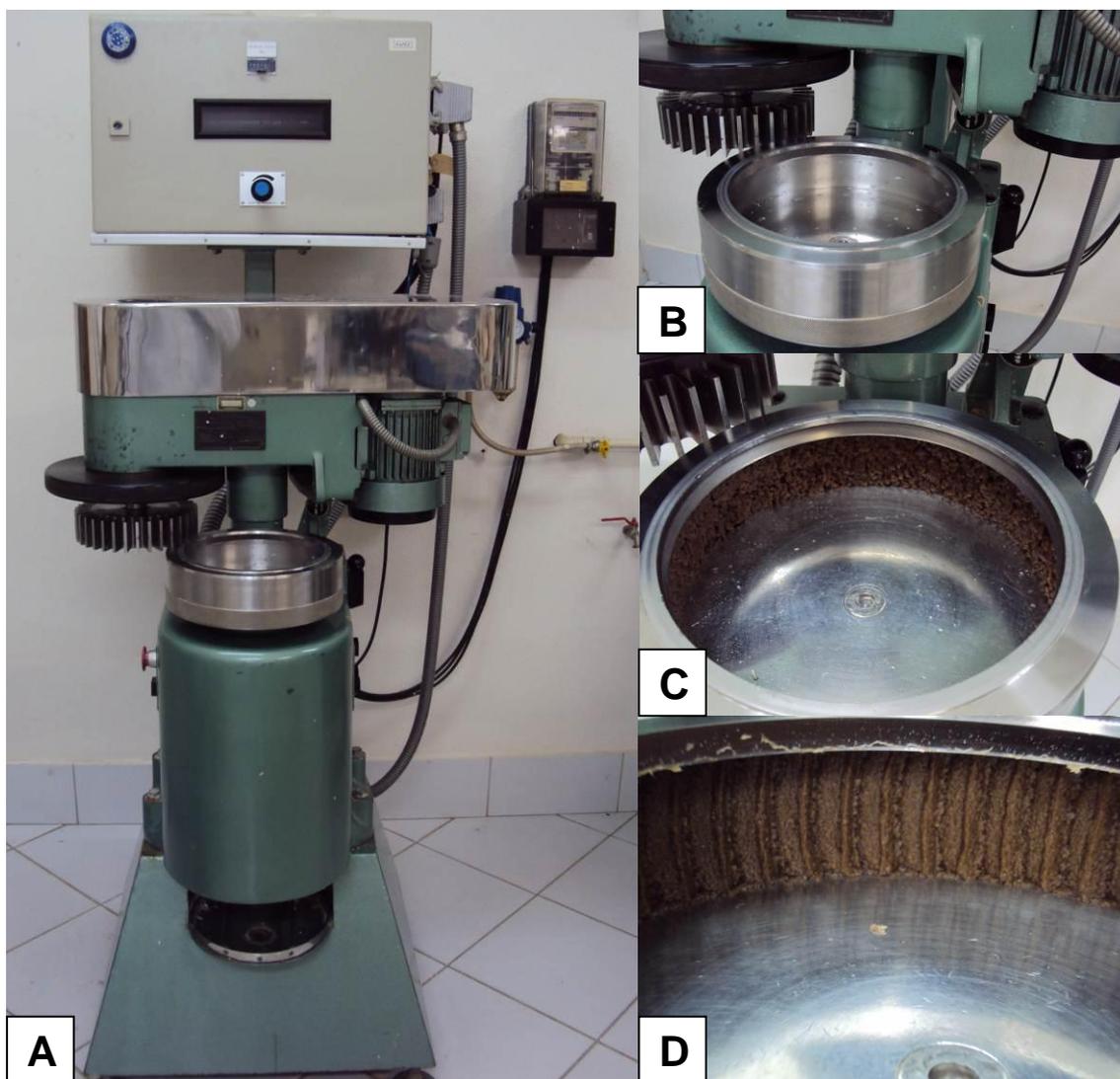


Figura 17 – Moinho PFI (A) com fotos demonstrando a parte interior vazia (B), a disposição das fibras antes do refino (C) e depois do refino (D).  
Fonte – Arquivo pessoal.

As folhas (figura 18) foram formadas em formador tipo TAPPI, com gramatura de aproximadamente  $60\text{g/m}^2$ , de acordo com a norma TAPPI 205 sp-02, e acondicionadas em ambiente climatizado, com temperatura de  $23 \pm 1^\circ\text{C}$  e umidade relativa do ar de  $50 \pm 2\%$  para realização de testes físico-mecânicos e óptico.



Figura 18 – Folhas formadas nos diferentes tratamentos e diferentes intensidades de refino.  
Fonte – Arquivo pessoal.

A propriedade óptica dos papéis, a opacidade das folhas, foi medida de acordo com a norma TAPPI T 519 om-96 e medidas em espectrofotômetro Datacolor, modelo Elrepho 2000. Para a avaliação das propriedades físico-mecânicas dos papéis foram usadas as análises descritas na Tabela 7.

Tabela 7 – Testes físico-mecânicos dos papéis produzidos das polpas de junco e eucalipto.

Testes das propriedades dos papéis	Metodologia
Gramatura	TAPPI T 220 sp-96
Espessura	TAPPI T 411 om-97
Índice de arrebentamento	TAPPI T 403 om-97
Índice de rasgo (Elmendorf)	TAPPI T 414 om-98
Índice de tração* **	TAPPI T 494 om-96
Volume específico aparente	TAPPI T 220 sp-96
Resistência à passagem de ar	TAPPI T 536 om-96
Resistência à compressão do anel (RCT)*	TAPPI T 809 om-93
Resistência à compressão das ondas do papel (CMT)*	TAPPI T 818 om-87

\*Testes realizados em equipamento do tipo Instron modelo 4204 com sistema computadorizado de aquisição, análise e saída de dados.

\*\* Distância entre garras de 100 mm, velocidade de teste de 25 mm/min e capacidade da célula de carga de 1000N. Simultaneamente, este teste nos fornece resultados das seguintes propriedades: força ao ponto de ruptura, índice de tração, tensão e deformação ao limite de proporcionalidade (elasticidade), energia de deformação (TEA) e módulo de elasticidade.

Para cada propriedade gerou-se um gráfico relacionando o consumo de energia gasto no refino pelos resultados de cada propriedade determinada para os papéis dos cinco diferentes tratamentos.

No que consta à análise estatística, nas análises químicas das amostras, do licor e da polpa os valores foram obtidos em triplicata e desses resultados, foi calculada a média com o uso do Microsoft Excel 2010.

A análise de mensuração anatômica e morfológica das fibras da polpa de junco foi obtida por meio de medições de 100 fibras para comprimento e 100 para largura, e obtidas médias pelo Programa Image-Pro Plus.

Para cada propriedade analisada nos papéis produzidos, foram realizadas 20 observações, sendo elas divididas em cinco tratamentos com quatro observações em cada tratamento. Para a realização da análise de regressão estatística dos resultados e dos parâmetros/propriedades analisados nos papéis foi realizada uma regressão linear simples, usando a equação  $y = b_0 + b_1 * x$ , em que “y” equivale ao valor estimado e “x” ao valor obtido através do teste.

### 4.3 Resultados e discussões

As discussões dos resultados observados para as fibras de junco serão comparadas principalmente com trabalhos realizados com madeiras de eucalipto e bambu. Essas comparações serão realizadas, pois o eucalipto é a principal fibra madeireira usada nas indústrias de celulose e papel e o bambu, por ser, assim como o junco, uma monocotiledônea (fibra alternativa) e já empregada na indústria de celulose e papel.

#### 4.3.1 Caracterização química do *Schoenoplectus californicus*

Partindo do pressuposto da importância da análise química e para conhecer melhor a matéria prima fibrosa em questão, realizou-se a caracterização química de sua composição e quantificou-se o teor de extrativos em acetona (3,60%) e dos extrativos totais (11,94%), a lignina insolúvel (22,19%) e solúvel em ácido (2,70%), sua composição dos açúcares (55,89%) e ácidos urônicos (1,85%) conforme demonstrado na Tabela 8.

Tabela 8 – Caracterização química da amostra de *Schoenoplectus californicus*.

Parâmetro	Resultados
Extrativos em acetona	3,60%
Extrativos totais	11,94%
Lignina insolúvel em ácido	22,19%
Lignina solúvel em ácido	2,70%
Composição dos açúcares	55,89%*
Ácidos urônicos	1,85%

\*Glucanas=34,30%; Xilanas=17,90%; Galactanas=0,90%; Mananas=0,27%; Arabinanas=2,58%.

A composição dos açúcares representa a holocelulose (somatório de celulose e hemicelulose). Em que as glucanas representam a celulose e os demais açúcares (xilanas, galactanas, mananas e arabinanas) representam as hemiceluloses (KLOCK et. al., 2005). Foram encontradas nas amostras de *Schoenoplectus californicus* 34,30% de glucanas, 17,90% de xilanas, 0,90% de galactanas, 0,27% de mananas e 2,58% de arabinanas. Pedrazzi (2009) encontrou para amostras de *Eucalyptus grandis* (EG) e *Eucalyptus urograndis* (EU) teores superiores de glucanas (EG=48,6% e EU=45,90%) e mananas (EG=0,9% e EU=1,1%), porém valores inferiores de xilanas (EG=11,50% e EU=12,80%) e arabinanas (EG e EU 0,2%). Os resultados para os teores de galactanas foram semelhantes aos encontrados no junco (EG=0,9% e EU=1,0%).

Gonzalez et al. (2002) obteve para a madeira de *Pinus taeda* teores de holocelulose, lignina e extrativos totais de 64,50, 27,30 e 8,20%, respectivamente. Pereira et al. (2000), por sua vez, encontrou para a madeira de *Eucalyptus benthamii* teores de holocelulose, lignina e extrativos totais de 69,70, 24,30 e 6,00% respectivamente. Ao comparar os valores de extrativos totais encontrados no junco (11,94%) com os das madeiras de *P. taeda* (8,20%) e de *E. benthamii* (6,00%), pode-se dizer que o junco apresenta alto teor de extrativos, o que desfavorece seu uso como fonte de matéria prima para polpação química, pois os extrativos são componentes químicos indesejáveis nas indústrias de celulose e papel pois se busca um produto final com alvura determinada. Porém, o fator teor de extrativos pode ser analisado separadamente em processos mecânicos de polpação, onde o fator alvura não é limitante de produção.

Almeida et al. (2003) mencionam que o teor de extrativos e de lignina presente na madeira influencia diretamente o consumo de álcali, o rendimento e a taxa de deslignificação, podendo os mesmos definirem o potencial de uma matéria prima para produção de polpa celulósica.

Com relação ao teor de lignina, pode-se observar pelos trabalhos apresentados por Gonzalez et. al. (2002) e por Pereira et. al. (2000), discutidos anteriormente, que o teor de lignina total obtido para o junco (24,89%) é semelhante ao de outras matérias primas utilizada em indústrias de celulose e papel. Assim, a lignina não poderia ser considerada um componente químico limitante para o uso das fibras de junco na produção de celulose pelo processo de polpação química.

Guimarães Jr. et al. (2013) caracterizaram quimicamente amostras de *Bambusa vulgaris* e concluíram que o bambu apresenta elevado teor de holocelulose (67,58%) e baixo teor de lignina (17,31%) quando comparado às madeiras, apresentando também elevado teor de extrativos (13,05%). Bonfatti Jr. (2010), analisando a composição química de *Bambusa vulgaris*, determinou 66,28% de holocelulose, 22,17% de lignina total, 21,29% de lignina insolúvel, 0,88% de lignina solúvel e 11,55% de extrativos totais.

Ao contrário dos valores encontrados por Bonfatti Jr. (2010) em relação aos teores de lignina, o junco apresentou um teor de lignina insolúvel superior em ácido e menor valor para lignina solúvel, entretanto, os valores de extrativos totais foram semelhantes. Em se tratando da holocelulose, o junco apresentou uma porcentagem inferior (55,89%) ao da *Bambusa vulgaris* (67,58, e 66,28%), do *Pinus taeda* (64,50%) e do *Eucalyptus benthamii* (69,70%).

Assim, é possível afirmar que o junco apresenta teor de holocelulose inferior ao encontrado para madeiras de eucalipto e pinus. Colodette (2001) afirma que o bambu, pode apresentar cerca de 35% de xilanas, valor elevado em comparação ao encontrado neste estudo para o junco (17,90%).

O junco resultou em valor médio de ácido urônico de 1,85% ao passo que madeiras de eucalipto apresentaram entre 4,7% e 5,0% (PEDRAZZI, 2009). Já em estudo realizado por Zanuncio e Colodette (2011), os teores de ácidos urônicos nas amostras de madeira de eucalipto variaram de 4,05% a 5,29%. Diante disso, pode-se afirmar que o valor de ácido urônico encontrado nas amostras de junco são inferiores aos das madeiras de eucalipto. Ainda, segundo os autores, os ácidos urônicos estão presentes em algumas hemiceluloses, principalmente nas xilanas e se modificam em sua estrutura, transformando-se em ácidos hexenurônicos durante o processo de polpação.

Dessa maneira, apesar do junco possuir teor de xilanas superior as madeiras de eucalipto, a quantidade de ácidos urônicos é inferior. Isso pode ser explicado pela estrutura química das xilanas das monocotiledôneas que são menos ácidas que as xilanas das madeiras de eucalipto. Segundo Colodette (2001), as xilanas das gramíneas diferem em estrutura das xilanas de folhosas e coníferas, possuindo para cada 25 unidades do açúcar de xilose um grupo de ácido urônico, o que torna essa

hemicelulose bastante suscetível a degradações químicas em processos de polpação.

Nas amostras de junco obteve-se 76780 mg/kg de cinzas, ou seja, d parte inorgânica no junco. Nesta cinza foi determinado a quantidade de demais compostos orgânicos que estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Resultados da análise e quantificação dos compostos inorgânicos presentes nas amostras de *Schoenoplectus californicus*.

Compostos inorgânicos	Resultados (mg/kg)
Sílica	37220
Cálcio	204,9
Ferro	14,6
Manganês	74,4
Magnésio	281
Cobre	5,5

Conforme pode-se verificar na Tabela 9, a cinza do junco contém elevada quantidade de sílica, com valor médio de 37220mg/kg. Considerando que o valor total de cinzas encontrado para o junco foi de 76780mg/kg, pode-se concluir que 48,48% do total de compostos inorgânicos das amostras é sílica. Também, foram detectados outros compostos inorgânicos, tais como: magnésio (281mg/kg), cálcio (204,9mg/kg), manganês (74,4mg/kg), ferro (14,6mg/kg) e cobre (5,5mg/kg).

A alta quantidade de sílica encontrada no junco o torna uma matéria prima desfavorável à produção de celulose, pois a sílica é um componente inorgânico que causa desgastes nos equipamentos da indústria (FOELKEL, 2009). Em se tratando da função fisiológica na planta, o silício é absorvido pelas raízes junto com a água, e tende a acumular-se nas folhas, formando uma barreira física contra o ataque de insetos e fungos, além de regular a perda de água da planta por transpiração (TORRES et al., 2011).

O bambu já é reconhecido por ser uma fonte alternativa para a produção de celulose. Como desvantagem ele apresenta alto teor de extrativos e sílica, o que

causa uma diminuição no rendimento, sendo essa perda de rendimento compensada por sua alta produtividade (GOMIDE et al., 1981 apud BONFATTI JR, 2010). Segundo Boechat (2010), a presença de sílica nos materiais não madeireiros é um dos problemas enfrentados pela indústria de polpa celulósica.

#### 4.3.2 Cozimentos experimentais para produção e procedimentos analíticos para caracterização da polpa celulósica de *Schoenoplectus californicus*

As condições do cozimento escolhido para a produção das polpas de *Schoenoplectus californicus* foram: cavacos = 150 gramas a.s.; sulfidez = 25%; relação licor/junco = 5/1; temperatura máxima = 170°C; tempo até temperatura máxima = 90 minutos; tempo à temperatura máxima = 30 minutos; álcali ativo = 7%, pois foi o cozimento que apresentou o rendimento (Tabela 10) mais próximo ao rendimento obtido em cozimentos kraft com madeiras de eucalipto.

Tabela 10 – Fatores de caracterização das polpas obtidas nas diferentes porcentagens de álcali ativo (AA) testados nos cozimentos.

AA (%)	Número kappa	Rendimento total (%)	Teor de rejeitos (%)	Rendimento depurado (%)
7	43,15	42,3	1,38	40,9
9	25,80	38,7	0,12	38,6
11	18,29	36,0	0,06	36,0
12	15,76	32,9	0,02	32,9
13	13,00	33,0	0	33,0

Foram realizados procedimentos para caracterização da polpa celulósica resultante de *Schoenoplectus californicus* e conforme apresentado na Tabela 11, a polpa celulósica de junco foi obtida com rendimento de 45,85%, 7,83% de rejeitos,

número kappa de 45,74, viscosidade de 34,5mPa.s. e ácidos hexenurônicos de 7,41mmol/Kg.

Tabela 11 – Características da polpa celulósica de junco.

Parâmetro	Procedimento
Rendimento depurado do cozimento	45,85%
Rejeitos do cozimento	7,83%
Número kappa da polpa	45,74
Viscosidade da polpa	34,5 mPa.s
Ácidos hexenurônicos	7,41 mmol/Kg

O rendimento depurado representa a quantidade de polpa celulósica obtida após o processo de depuração, ou seja, livre de rejeitos. Isso é um parâmetro fundamental para qualificar o processo de polpação (BONFATTI JR., 2010). Azzini et al. (1988) obtiveram para a espécie *Bambusa tuldoides* Munro rendimentos em fibras celulósicas de 45,67 a 56,78%. Já Guimarães Jr. et al. (2013) obtiveram para polpas de *Bambusa vulgaris* rendimento depurado em torno de 46% e número kappa entre 45 e 55. Ao comparar as polpas de bambu dos trabalhos citados anteriormente com as polpas produzidas das fibras de junco neste estudo, é possível afirmar que os valores de rendimento em celulose para números kappa próximos a 45 são semelhantes entre estas duas monocotiledôneas.

Queiroz (2002) estudou polpas provenientes de clones de híbridos de *E. grandis x urophylla* e as separou como polpas obtidas de madeira de baixa e alta densidade, mas com mesmo número kappa de 18 +/- 0,5. Nos cozimentos das madeiras de baixa densidade obteve-se rendimento depurado de 51,20%, teor de rejeitos de 0,18% e viscosidade de 68,1mPa.s. Já nos cozimentos das madeiras de alta densidade, teve-se rendimento depurado de 48,60%, teor de rejeito de 0,10% e viscosidade de 58,80mPa.s. Pedrazzi (2009) realizou cozimentos pelo processo kraft convencional com madeiras de eucalipto e nos cozimentos com *Eucalyptus grandis* se obteve polpa com número kappa 17,60, rendimento depurado de 53,10%, teor de rejeitos de 0,83% e viscosidade de 63,20mPa.s e para o *Eucalyptus urograndis* a

polpa resultou em número kappa 17,00, rendimento depurado de 50,90%, teor de rejeitos 0,25% e viscosidade 69,50mPa.s.

A quantidade de ácidos hexenurônicos na polpa celulósica depende da madeira e das condições utilizadas na polpação (ZANUNCIO e COLODETTE, 2011). Esses ácidos são indesejáveis no processo de branqueamento por consumirem reagentes como cloro, dióxido de cloro, ozônio ou perácidos usados no branqueamento e contabilizados no número kappa das polpas kraft com afinidade por metais de transição também indesejáveis na polpa. Na Tabela 12 é possível observar que à medida que aumenta a proporção de polpa de eucalipto com relação à polpa de junco, nos diferentes tratamentos, ocorre um aumento na quantidade de ácido hexenurônico. Segundo Magaton (2008), isso pode ser explicado devido à grande quantidade de O-acetil-4-O-metilglicurono-xilanas encontradas em madeiras de eucaliptos, as quais são a principal fonte de ácidos 4-O-metilglicurônicos. Esses ácidos são os precursores dos ácidos hexenurônicos, substâncias que influenciam o processo de branqueamento.

Tabela 12 – Análise de quantificação de ácido hexenurônico nos diferentes tratamentos/polpas.

Tratamento	Resultado (mmol/Kg)
T0 (100% junco)	7,41
T1 (75% junco / 25% eucalipto)	16,63
T2 (50% junco / 50% eucalipto)	26,51
T3 (25% junco / 75% eucalipto)	36,18
T4 (100% eucalipto)	47,00

A formação de ácidos hexenurônico não é desejável, especialmente para polpas destinadas ao processo de branqueamento, já que os mesmos, além de consumirem os reagentes químicos, também causam reversão de alvura (VENTORIM et al., 2009). Dessa maneira, quanto menor a quantidade de ácido hexenurônico na polpa, mais fácil a polpa será branqueada. Com isso poder-se-ia afirmar que polpas compostas apenas com fibras de junco, teoricamente são mais

fáceis de serem branqueadas, possibilitando, assim, a redução dos custos no setor de branqueamento nas indústrias de celulose.

Após finalizar os cozimentos para obtenção da polpa de *Schoenoplectus californicus*, foi coletada parte do licor negro para análises. Os resultados desta caracterização estão demonstrados na Tabela 13.

Tabela 13 – Resultados das análises realizadas no licor negro.

Parâmetro	Resultados
Álcali residual	0 g/L
Poder calorífico	4562,20 cal/g
Sólidos totais	10,70%
Sólidos inorgânicos	29,9%
Sólidos orgânicos	70,10%

As substâncias no licor negro derivam de duas fontes distintas: a madeira e o licor de cozimento. Os materiais orgânicos derivados da madeira são provenientes dos extrativos, da lignina e da fração de carboidratos (celulose e hemicelulose). Os principais constituintes inorgânicos são originários do licor branco usado no cozimento e também de pequenas quantidades de inorgânicos que podem entrar com a madeira (MELO et al, 2011). O teor de sólidos totais representa a fração de compostos inorgânicos presentes no licor inserido no cozimento e também a fração de fragmentos orgânicos dissolvidos da madeira ao longo do processo (GOMES, 2009).

Ao analisar o licor negro não foi detectada quantidade representativa de álcali residual, o teor de sólidos totais presente no licor foi de 10,70%, sendo destes, 29,90% de sólidos inorgânicos e 70,10% de sólidos orgânicos. O poder calorífico do licor negro foi de 4562,20cal/g.

Longue Jr. (2007) realizou cozimentos pelo processo kraft de amostra de *Eucalyptus grandis* e obteve os seguintes resultados para o licor negro: 13,2% de sólidos totais, sendo destes, 7,4% (56,1% do total) de sólidos orgânicos e 5,8%

(43,9% do total) de sólidos inorgânicos. Em cozimentos kraft para diferentes espécies de *Eucalyptus*, Mokfienski (2004) determinou os sólidos do licor, sendo que o *Eucalyptus globulus* obteve 13,6% de sólidos totais e destes 63,1% de orgânicos e 36,9% de inorgânicos. Para o *Eucalyptus grandis* o teor de sólidos totais variou entre 13,0 e 13,6%, sendo que os sólidos orgânicos variaram entre 63,5 e 64,4% e os inorgânicos entre 35,6 e 36,5%. Ao comparar os resultados obtidos do licor negro do cozimento das madeiras de eucalipto com os obtidos para o junco, pode-se afirmar que o licor do cozimento do junco resultou em baixos teores de sólidos totais e de inorgânicos, o que já era esperado, pois as polpas de junco obtidas resultaram em número kappa superior (aproximadamente 45) ao que normalmente é encontrado para as polpas de eucalipto (17-18).

Normalmente, procura-se manter concentração de álcali residual dos licores na faixa de 5 a 12 gramas de NaOH/L para evitar precipitação de lignina na polpa (GOMES et al., 2002). Guo et al. (2010) ao caracterizar cozimentos de bambu para celulose pelo processo kraft convencional, obtiveram níveis de álcali residual de 11-14g/L. Isso é considerado suficientemente alto para evitar precipitações de lignina na parte final do cozimento. Quanto ao junco, há uma maior probabilidade de precipitações da lignina nas fibras na etapa final do cozimento, já que não foi encontrado álcali residual no licor negro.

O poder calorífico do licor negro é a medida da quantidade de calor que será liberada durante a sua queima na caldeira de recuperação (GONÇALVES et al., 2008). Monteiro et al. (2010) determinaram o poder calorífico do licor negro obtido do processo de obtenção de celulose de *Eucalyptus* e obtiveram valores entre 3903 e 4914 cal/g. Seguindo esse raciocínio, o poder calorífico encontrado para o licor negro do cozimento de junco foi de 4562,20 cal/g, valor que se insere na faixa daqueles encontrados para madeira de eucalipto.

#### 4.3.4 Análises morfológicas das fibras das polpas de *Schoenoplectus californicus*

A Tabela 14 apresenta os resultados dos valores médios obtidos do comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura de parede para as polpas de junco.

Tabela 14 – Dimensões das fibras das polpas de junco.

Média pelo número de fibras medidas	Comprimento (mm)	Largura ( $\mu\text{m}$ )	Diâmetro do lúmen ( $\mu\text{m}$ )	Espessura da parede celular ( $\mu\text{m}$ )
1 a 25 fibras	0,91	10,34	3,71	3,31
1 a 50 fibras	0,90	10,76	3,85	3,45
1 a 75 fibras	0,90	10,57	3,94	3,32
1 a 100 fibras	<b>0,93</b>	<b>10,55</b>	<b>3,95</b>	<b>3,30</b>

De acordo com os valores em destaque na Tabela 14, tem-se que o comprimento médio das fibras da polpa de junco é de 0,93mm e largura média de 10,55 $\mu\text{m}$ . Os valores médios de diâmetro (3,95  $\mu\text{m}$ ) e da espessura da parede (3,30  $\mu\text{m}$ ) não são usados para caracterizar a fibra, apenas servem para caracterizar e realizar testes de qualidade e resistência de produtos da polpa, o que não foi objetivo deste estudo.

Guo et al. (2010) determinaram comprimentos que variaram entre 1,50 e 2 mm e larguras entre 17,9 e 19,1  $\mu\text{m}$  para as fibras das polpas de celulose obtidas de bambu. Trugilho et al. (2005) avaliaram dimensões das fibras de polpa celulósica não branqueada de 15 clones de *Eucalyptus* e obtiveram diâmetro médio das fibras de 0,926mm e largura média de 15,763 $\mu\text{m}$ . Mokfienski (2004) realizou análise morfológica de fibras de polpa branqueada de algumas espécies de *Eucalyptus* e determinou para *Eucalyptus globulus* comprimento médio de 0,77mm e largura de 21,00 $\mu\text{m}$ , para *Eucalyptus grandis* o comprimento variou entre 0,89 a 0,98mm e a

largura entre 20,80 a 22,10 $\mu\text{m}$ , e para *Eucalyptus urophylla* o comprimento foi de 0,97mm e largura de 20,81 $\mu\text{m}$ .

No Capítulo 1 deste trabalho, no item 3.3.3, estão expressos os valores da caracterização morfológica das fibras de *Schoenoplectus californicus* pelo processo de maceração usando o método nítrico-acético, sendo que o comprimento das fibras variou de 725 a 944 $\mu\text{m}$  (0,725 a 0,944 mm) e a largura de 2,90 a 4,60  $\mu\text{m}$ . Após serem submetidas ao processo de polpação kraft é possível observar que as fibras tiveram sua largura mais que duplicada, o que pode ser explicado devido ao fato desse processo de cozimento ser de caráter alcalino e por isso causar inchamento nas fibras. Com relação ao comprimento, os valores permaneceram semelhantes ao valor médio máximo das fibras maceradas.

Comparando os resultados obtidos das dimensões de fibras para a polpa de bambu e para as polpas de eucalipto, pode-se afirmar que a polpa de junco apresenta fibras com comprimentos semelhantes aos comprimentos encontrados para fibras de polpa de eucalipto e inferiores para polpas de bambus. Por outro lado, com relação à largura das fibras, o junco apresentou resultados inferiores às fibras das polpas de bambu e eucalipto. Como as polpas são classificadas quanto ao comprimento das fibras, e o eucalipto é considerado espécie de polpa celulósica de fibra curta, também pode-se classificar o junco como uma fonte fibrosa para produção de celulose de fibra curta.

#### 4.3.5 Propriedades físico-mecânicas e óptica dos papéis

Foram realizados refinamentos e avaliações das polpas de junco, de eucalipto e das misturas das duas polpas a partir dos papéis produzidos. Além disso, foram analisadas as propriedades físico-mecânicas e óptica das folhas produzidas por essas polpas e misturas. Os cálculos das análises estatísticas realizadas e os valores médios encontrados para cada propriedade podem ser melhor visualizados nos apêndices de A à O. Os resultados são apresentados na forma de gráficos (Figuras 19 a 26 presentes nas subseções posteriores), em que foram produzidas curvas de desenvolvimento de propriedades em relação ao consumo de energia no

refino. O tratamento T0 se refere à polpa com 100% de fibras de junco, o T1 com 75% de fibras de junco e 25% de fibras de eucalipto, o T2 com 50% de fibras de junco e 50% de fibras de eucalipto, o T3 com 25% de fibras de junco e 75% de fibras de eucalipto e o T4 foi o tratamento com 100% de fibras de eucalipto.

#### 4.3.5.1 Propriedades de resistência mecânica

##### 4.3.5.1.1 Resistência à passagem de ar

Os resultados da resistência à passagem de ar, ou porosidade, exprimem o tempo, em segundos, para que 100 cm<sup>3</sup> de ar atravessem uma superfície de papel (D'ALMEIDA, 1988). A Figura 19 apresenta os valores verificados e a curva estimada dos resultados da resistência à passagem de ar para os papéis produzidos em função do consumo de energia para os diferentes tratamentos.

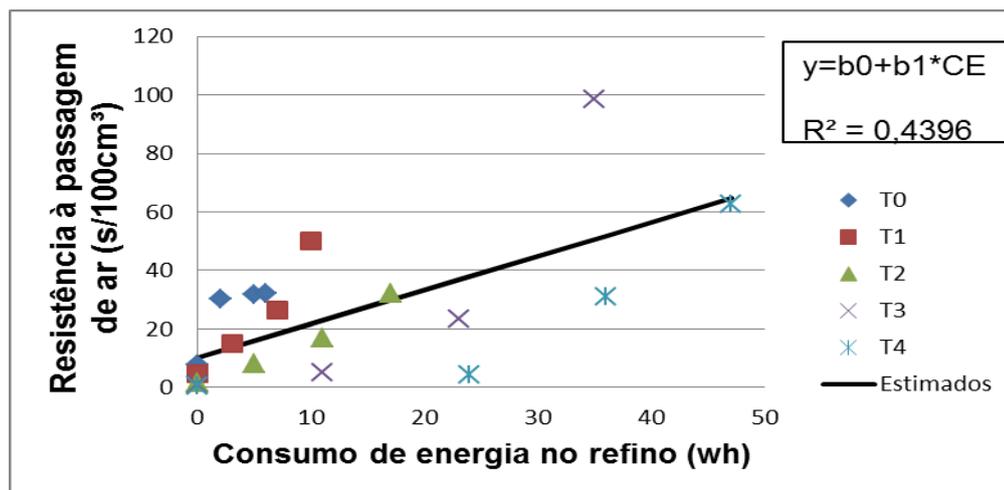


Figura 19 – Resistência à passagem de ar para os papéis produzidos em função do consumo de energia no refino nos diferentes tratamentos.

De acordo com a Figura 19, fica evidente que com o aumento do grau de refino, representado pelo aumento do consumo de energia, a propriedade de resistência à passagem de ar aumenta. Esse comportamento pode ser explicado pelo maior e melhor entrelaçamento entre as fibras que formam os papéis após o refino. O inverso foi verificado para os papéis produzidos pelas polpas não refinadas, que resultaram nos menores valores desta propriedade e que corroboram a importância do refino na melhoria de propriedades de resistência de papéis. Segundo Klock (2000), a resistência ao arrebentamento aumenta com o grau de refino até certo limite e passa a decrescer gradativamente com seu excesso, o que pode ser justificado pelo grau de colapsamento das fibras, pois fibras com maiores graus de colapsamento promovem maior área de ligação inter fibras, aumentando, assim, a resistência ao arrebentamento.

Em relação aos tratamentos, de maneira geral, pode-se apontar que com o aumento da proporção de fibras de eucalipto nas polpas de junco a necessidade de refino aumentou, como pode-se observar na Tabela 11 (já apresentada) que trata da caracterização da polpa de junco produzida neste estudo. Dentre as caracterizações, percebe-se que a viscosidade da polpa foi bastante baixa (34,5mPa.s) comparada às polpas comerciais de eucalipto (valores iguais ou superiores a 65mP.a.s). Isso indica que a necessidade de refino nas fibras degradadas de junco é menor, o que as tornaria interessante nas indústrias papelerias devido ao menor consumo de energia para o refino, o que consequentemente reduziria o custo de produção. Os tratamentos T3 e T4 apresentaram os maiores valores de resistência à passagem de ar em comparação aos demais tratamentos. Diante disso, foi possível concluir que as fibras de eucalipto favoreceram na produção de papeis mais resistentes apesar de consumirem mais energia que as polpas com maior proporção de junco.

#### 4.3.5.1.2 Resistência ao arrebatamento

A Figura 20 apresenta os valores verificados e a curva estimada dos resultados do índice de arrebatamento para os papéis produzidos em função do consumo de energia para os diferentes tratamentos.

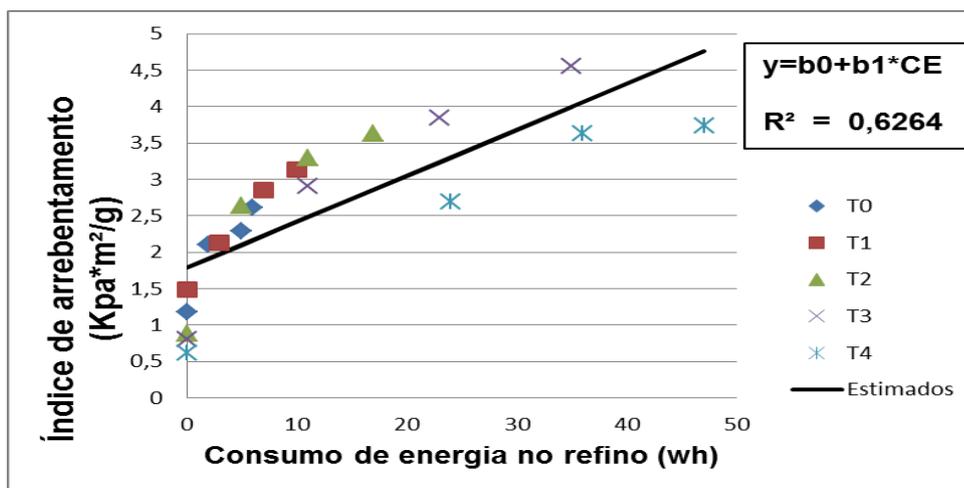


Figura 20 – Relação do consumo de energia no refino pelo índice de arrebatamento das folhas de papel produzidas nos diferentes tratamentos.

Como pode-se observar na Figura 20, o índice de arrebatamento apresentou comportamento semelhante ao discutido no item anterior para resistência à passagem de ar, ou seja, com o aumento do grau de refino a resistência dos papéis ao arrebatamento aumentou. Esse comportamento já era esperado por se tratar também de uma propriedade de resistência dos papéis e por isso apresentar relação direta com o refino das polpas. Os maiores valores foram encontrados para os papéis do tratamento 3. Segundo Casey (1991), com o aumento da refinação ocorre a diminuição da drenabilidade da polpa celulósica e aumento de determinadas propriedades de resistência do papel, entre elas a tração, estouro e rigidez, com exceção da propriedade de rasgo que, após um ligeiro aumento, decresce.

Papéis produzidos com maior proporção de fibras de junco (T0, T1 e T2) resultaram nos menores valores de índice de arrebatamento. Apesar das fibras de

junco possuem maiores teores de hemiceluloses (aproximadamente 21%) que as fibras da madeira de eucalipto (aproximadamente 16%) é importante mencionar que durante o processo de polpação kraft esses carboidratos foram severamente degradados, o que pode ser comprovado devido a baixa viscosidade da polpa de junco (34,5mPa.s). Isso provavelmente também contribuiu para os baixos valores de resistência ao arrebentamento. Segundo Britt (1970 apud PEDRAZZI, 2009), as hemiceluloses além de afetarem o rendimento na produção da polpa, desempenham importante função no processamento e nas propriedades da polpa e também do papel, afetando positivamente propriedades de resistência mecânica dos papéis.

A classificação tradicional quanto à largura das fibras das polpas, visa correlacionar tal dimensão com a resistência ao arrebentamento (SOFFNER, 2001). Nesse sentido, a largura da fibra pode explicar os menores valores encontrados para o índice de arrebentamento nos papéis produzidos com 100% e com as maiores proporções de polpas de junco, pois conforme a Tabela 13 e como já foi discutido no item 4.3.3, as fibras de junco são mais estreitas que as fibras das madeiras de eucalipto e bambu.

#### 4.3.5.1.3 Resistência ao rasgo

A resistência ao rasgo corresponde a força perpendicular em milinewtons (mN) ao plano do papel necessária para rasgar uma ou mais folhas, através de uma distância específica (KLOCK, 2000). A Figura 21 apresenta os valores verificados e a curva estimada dos resultados do índice de rasgo para os papéis produzidos em função do consumo de energia para os diferentes tratamentos.

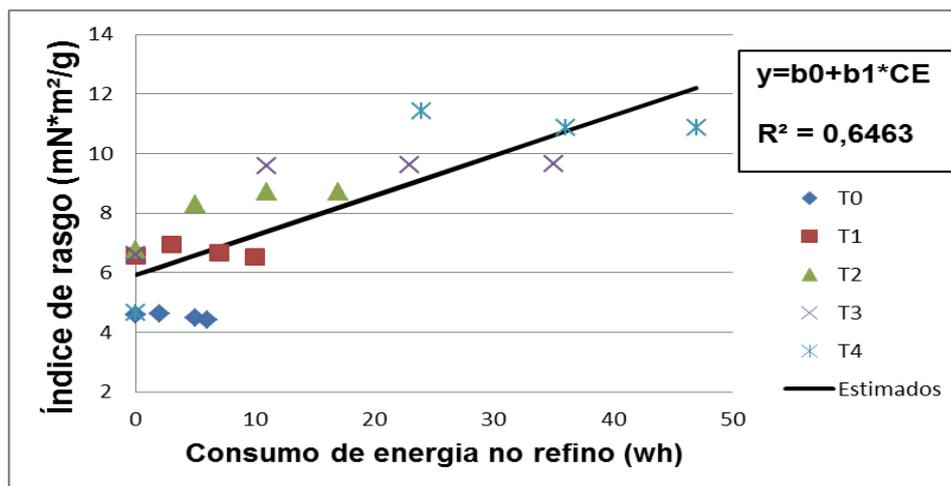


Figura 21 – Relação do consumo de energia no refino pelo índice de rasgo das folhas de papel produzidas nos diferentes tratamentos.

Na Figura 21 é mostrado que os maiores valores de índice de rasgo foram alcançados com as polpas produzidas com as maiores proporções de fibras de eucalipto, ou seja, dos tratamentos 3 e 4. Essa tendência foi verificada para outras propriedades de resistência mecânica discutidas anteriormente. Além disso, nos maiores níveis de refino ocorreram, de modo geral, quedas de resistência ao rasgo, principalmente nos papéis produzidos com polpas com os maiores teores de fibras de junco, o que pode ser atribuído devido à ação de corte das lâminas do refinador, que causa a redução do comprimento médio das fibras. Segundo Sanjuan (1997), a resistência ao rasgo é função do grau de refino das fibras, decaindo à medida que aumenta o refino, pois quando uma fibra é refinada, a ação do desfibramento resulta no colapsamento da fibra, causando uma diminuição da resistência intrínseca e consequentemente a redução da resistência ao rasgo.

#### 4.3.5.1.4 Resistência à tração

A resistência à tração corresponde a força máxima em quilonewtons (kN) desenvolvida por unidade de largura em metros (m) da amostra antes da ruptura. A resistência à tração é expressa em quilonewtons por metro (kN/m) e seu índice é

calculado pela relação entre a resistência à tração pela gramatura sendo expresso em newtons metro por grama (Nm/g) (ANDRADE, 2006).

A Figura 22 apresenta os valores verificados e a curva estimada dos resultados do índice de tração para os papéis produzidos em função do consumo de energia para os diferentes tratamentos.

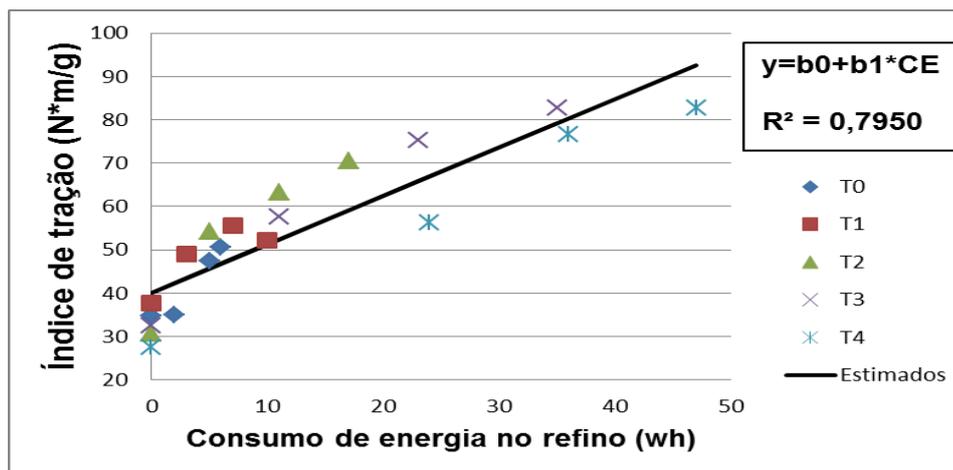


Figura 22 – Relação do consumo de energia no refino pelo índice de tração das folhas de papel produzidas nos diferentes tratamentos.

Na Figura 22, é possível verificar que o aumento do nível de refino favoreceu a resistência à tração, principalmente naqueles papéis produzidos com maiores teores de fibras de eucalipto (T3 e T4). Por outro lado, o consumo de energia para atingir esses elevados níveis de resistência à tração dos papéis com maiores teores de fibras de eucalipto (principalmente o com 100% de polpa de eucalipto – T4) foram maiores que aqueles com polpas de junco, o que compromete o processo industrial, pois implica em maiores custos de produção desses papéis.

É importante mencionar que a necessidade dos menores níveis de refino para as polpas com 100% ou com as maiores proporções/teores de fibras de junco pode ser explicada pela menor integridade de suas fibras, o que pode ser constatado pelo baixo valor médio de viscosidade da polpa (34,5mPa.s) e pelo menor rendimento (45,85%) em comparação com as polpas de eucalipto. É provável que as fibras obtidas das polpas de junco estejam parcialmente colapsadas e bastante flexíveis, essas características são desejadas e alcançadas por meio do refino, facilitando,

consequentemente, a ligação e entrelaçamentos entre as fibras, além de aumentar as propriedades de resistência dos papéis produzidos e pelo menor conteúdo de celulose presentes nas fibras das polpas de junco (rendimento 45,85%).

#### 4.3.5.1.5 Resistência à compressão do anel – RCT

A resistência à compressão do anel (RCT) é a força necessária para que a amostra seja esmagada, isso ocorre por meio do deslocamento vertical da parte móvel de uma prensa sobre a parte estacionária. Esse teste é considerado o mais importante para a avaliação da qualidade de um papel para a confecção de chapas de papelão ondulado (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL, 1994). A Figura 23 apresenta os valores verificados e a curva estimada dos resultados da RCT para os papéis produzidos em função do consumo de energia para os diferentes tratamentos.

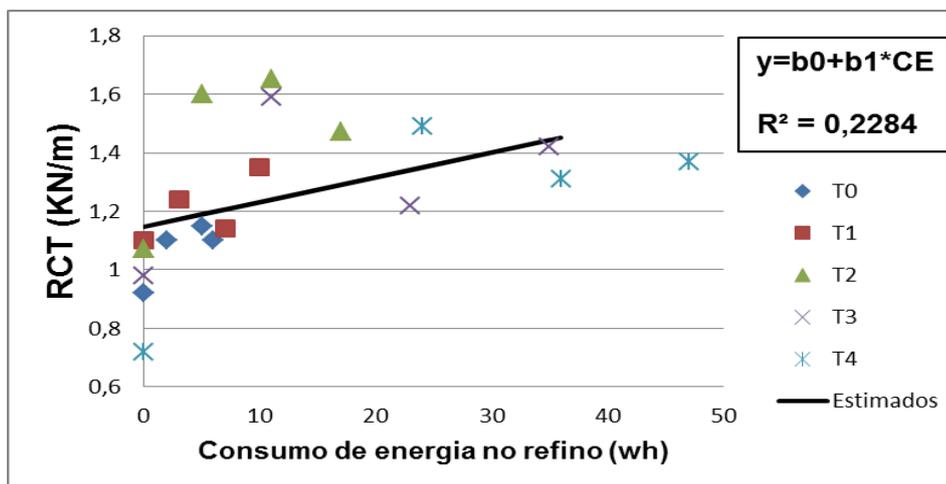


Figura 23 – Relação do consumo de energia no refino pelo RCT nas folhas de papel produzidas nos diferentes tratamentos.

De acordo com a Figura 23, em todos os tratamentos, os valores da RCT foram aumentando conforme o refino foi intensificado, entretanto, nos maiores níveis

de refino os valores apresentaram queda, o que pode ser explicado, novamente, devido à redução do comprimento médio das fibras causada pelo refinador. Segundo Sanjuan (1997), para a RCT, os ensaios laboratoriais não são adequados, pois o sentido de orientação das fibras é importante e em laboratório as folhas formadas não apresentam as mesmas características das formadas em larga escala. No entanto, é conhecido no meio industrial que o aumento do refino traz como consequência a redução da resistência à compressão do anel. Essa afirmação é confirmada neste estudo e no trabalho realizado por Frinhani e Daltoé (2012) em que o RCT e o índice de rasgo apresentaram decréscimo com o aumento do grau de refino.

#### 4.3.5.1.6 Resistência à compressão da onda do papel – CMT

A resistência à compressão da onda, ou das ondas do papel (CMT), é definida como a força máxima que um corpo de prova pode suportar antes que as ondas colapsem, sob uma força crescente aplicada perpendicularmente à sua superfície. O CMT é um teste sinalizador da capacidade da embalagem em resistir ao esmagamento da caixa (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR NM ISO 7263, 2006). A Figura 24 apresenta os valores verificados e a curva estimada dos resultados da CMT para os papéis produzidos em função do consumo de energia para os diferentes tratamentos

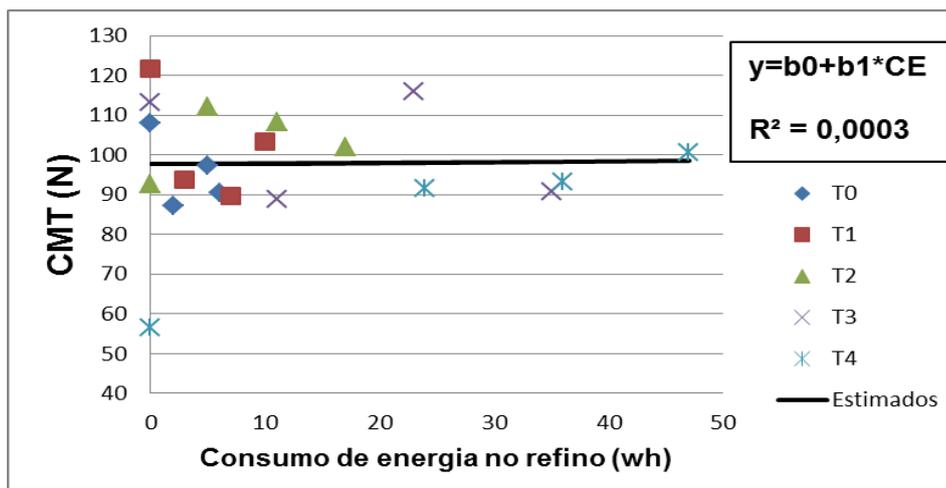


Figura 24 – Relação do consumo de energia no refino pelo CMT nas folhas de papel produzidas nos diferentes tratamentos.

De acordo com Sanjuan (1997), os valores de resistência à compressão das ondas, quando submetidas à ação mecânica do refino, tendem a apresentar acréscimo, porém esse acréscimo ficou pouco evidente para os papéis produzidos com fibras de junco e de eucalipto, conforme podemos observar na Figura 24. Frinhani e Daltoé (2012) obtiveram melhora considerável no CMT com o processo de refinação, ou seja, conforme maior o grau de refino usado nas polpas testadas, maior foi o valor de CMT encontrado, gerando uma curva ascendente nos seus valores estimados.

Com o aumento do número kappa nas polpas para fabricar papéis para embalagens rígidas, tem-se uma melhora nas propriedades RCT e CMT, sendo essas propriedades as mais importantes para os papéis para fabricação de embalagens rígidas. Segundo Da Rosa (2003), isso pode ser explicado em decorrência da presença maior de lignina na fibra, pois ela confere maior rigidez à parede celular, agindo como um agente permanente de ligação, gerando assim, uma estrutura resistente ao impacto, compressão e dobra.

Considera-se também que nesse estudo foram utilizadas polpas de junco e de eucalipto com números kappa distintos. Apesar de a polpa de junco apresentar número kappa (45,74) maior que a polpa de eucalipto (15,08), o qual favoreceria nos resultados de CMT, as fibras de eucalipto estão menos degradadas e mais rígidas, fazendo com que os resultados para todos os tratamentos tivessem comportamentos semelhantes.

#### 4.3.5.2 Propriedades físicas

A gramatura e a espessura são propriedades importantes na distribuição e no comércio de papéis de escrita. A associação da gramatura e espessura da folha resulta no peso específico aparente (PEA) e no volume específico aparente (VEA) do papel (MOKFIENSKI, 2004). O volume aparente se apresenta como sendo o quociente entre a espessura e a gramatura do papel e é expresso em centímetros cúbicos por grama ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ).

##### 4.3.5.2.1 Volume Específico Aparente – VEA

A Figura 25 apresenta os valores verificados e a curva estimada dos resultados do VEA para os papéis produzidos em função do consumo de energia para os diferentes tratamentos.

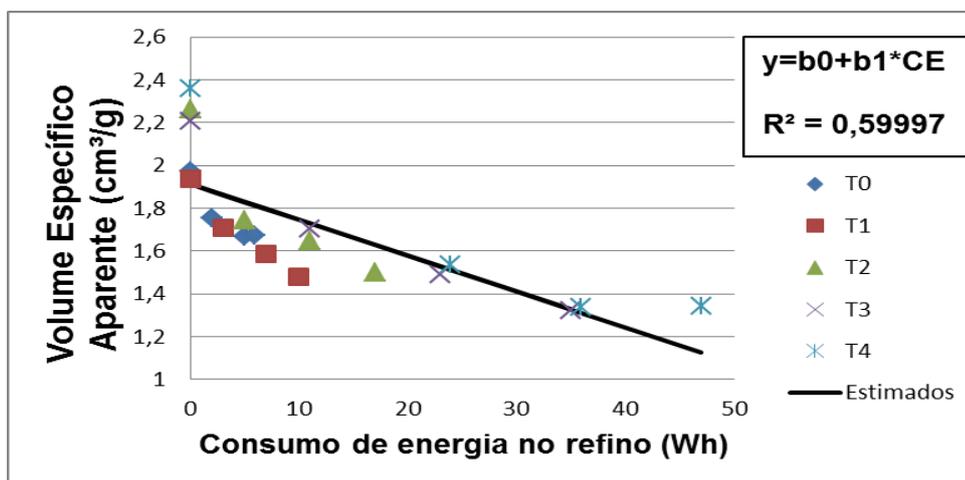


Figura 25 – Relação do consumo de energia no refino pelo volume específico aparente das folhas de papel produzidas nos diferentes tratamentos.

Como já era esperado, conforme a Figura 25, com o aumento do nível de refino, o volume específico aparente dos papéis produzidos para todos os

tratamentos diminuiram, sendo que os menores valores de VEA foram encontrados para as polpas do T3 e T4, e os maiores valores para os papéis produzidos sem refino, principalmente naqueles com maiores proporções de fibras de eucalipto. Isso pode ser explicado pelo fato de as fibras de eucalipto apresentarem paredes mais espessas que as fibras do junco, o que favoreceu na produção de papéis mais volumosos em um mesmo nível de refino.

O volume específico aparente apresenta tendência de redução com o aumento do refino devido ao colapsamento das fibras e à maior produção de finos (LONGUE JR., 2007). Foelkel (2007), por sua vez, comenta que as deformações provocadas nas fibras pela polpação e refino provocam significativas melhorias na porosidade, volume específico aparente, absorção e maciez das folhas de papel, podendo ser aceleradas e provocadas por meios artificiais para diferenciação de polpas em que estas características sejam vantajosas.

#### 4.3.5.3 Propriedade óptica

Em se tratando da propriedade óptica dos papéis produzidos, foi avaliada a opacidade. A determinação dessa característica é de maior relevância quando se visa produzir papéis para escrita e impressão.

Opacidade é a propriedade relacionada com a quantidade de luz transmitida através do papel. Assim, um papel perfeitamente opaco é aquele que não permite a passagem de luz visível. A determinação da opacidade tem por objetivo avaliar até que ponto um papel deixará reconhecer, através de uma folha, o que está impresso ou escrito na frente da folha subjacente ou no verso da própria folha (D'ALMEIDA, 1988). A Figura 26 apresenta os valores verificados e a curva estimada dos resultados de opacidade para os papéis produzidos em função do consumo de energia para os diferentes tratamentos.

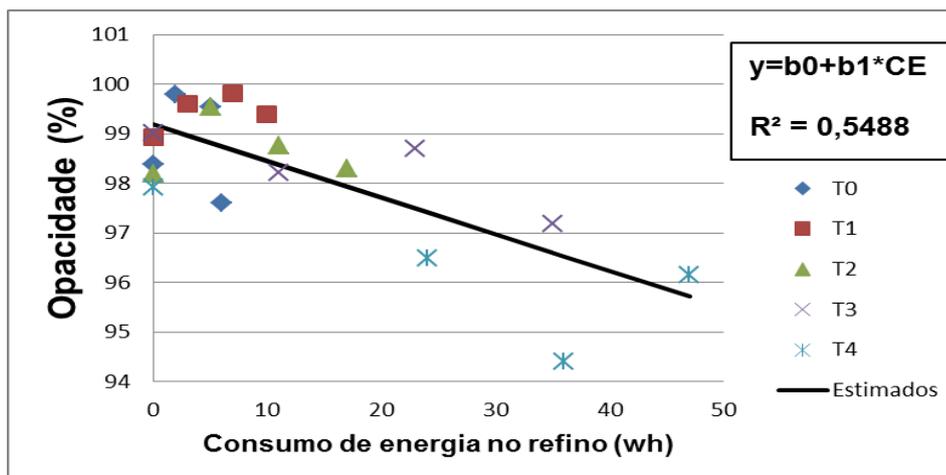


Figura 26 - Relação do consumo de energia no refino pela opacidade das folhas de papel produzidas nos diferentes tratamentos.

Como pode-se observar na Figura 26, aparentemente, nos primeiros níveis de refino as polpas apresentaram valores de opacidade semelhantes. De modo geral, o refino causou a queda na opacidade, o que pode ser observado nas Tabelas 1A-5A (Apêndice A). Essa queda já era esperada, uma vez que o refino favorece o maior entrelaçamento entre as fibras, produzindo, conseqüentemente, um papel com estrutura mais fechada e homogênea. Segundo Mokfienski (2004), papéis densos têm maior resistência à tração e menor opacidade. Como resultado do refino, as fibras se colapsam mais facilmente na consolidação da folha e reduzem as interfaces fibras-ar que refletem e espalham a luz. Fibras de paredes mais espessas são mais resistentes ao colapso, resultando em papéis mais abertos e opacos. Convém ressaltar aqui que a opacidade é uma propriedade importante para os papéis de escrita.

#### 4.4 Conclusão

De acordo com os resultados referentes ao cozimento bem como dos papéis produzidos a partir do *Schoenoplectus californicus* é possível afirmar que:

- As fibras de junco apresentam altos teores de extrativos e de sílica;

- Foi possível produzir polpas marrons de junco de número kappa 45,74 e rendimento de 45,85%;
- O cozimento das fibras de junco resultou em polpa com baixo conteúdo de ácidos hexenurônicos (7,41mmol/kg) e baixa viscosidade (34,5mPa.s);
- O consumo de energia foi influenciado pelo teor de polpa de junco nos papéis produzidos;
- As propriedades de resistência dos papéis foram afetadas negativamente pela adição de polpa de junco;
- Os mais altos valores de volume específico aparente e opacidade foram alcançados com os menores níveis de refino.

#### 4.5 Referências bibliográficas

ALMEIDA, F. S. **Influência da carga alcalina no processo de polpação Lo-Solids® para madeiras de eucalipto.** 2003, 107 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

ANDRADE, A. S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.: Influência da idade de classe de produtividade.** 2006, 107 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7263:** Papel e Cartão: Determinação da Resistência à Compressão das Ondas. Rio de Janeiro, 2006. p. 1-9.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **Técnicas de Fabricação de Papéis e Cartões para Embalagem.** São Paulo: Klabin fabricante de papel e celulose S/A, n. 21, 1994. p. 64.

AZZINI, A.; CIARAMELLO, D.; SALGADO, A. L. B.; TOMAZELLO FILHO, M. Densidade básica do colmo e fibras celulósicas em progênies de *Bambusa tuldooides* Munro. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 1988, São Paulo. **Anais...** São Paulo. 1988. p. 17-23.

BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel. **PRODEPEF**, n.13, p. 1-145, 1976.

BRACELPA. Associação Brasileira de Celulose e Papel. [S.l: s.n]. Disponível em: < [www.bracelpa.com.br](http://www.bracelpa.com.br) > Acesso em: fev. 2013.

BOECHAT, J.V.B. **Produção de papel tissue a partir de bagaço de cana**. 2010, 61f. Monografia (Especialista em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

BONFATTI JR., E. A. **Caracterização das propriedades anatômicas, químicas e densidade da espécie *Bambusa vulgaris* Schrad, ex. J.C. Wendl., para a produção de celulose Kraft com diferentes cargas de Álcali**. 2010, 67f. Trabalho de Final de Curso (Departamento de Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

CASEY, J.P. **Pulpa y papel, química e tecnologia química**. México: Editorial Limusa S.A. ed.1, v.3,. 1991. 659p.

COLODETTE, J. L. **Química da madeira**. Material didático do curso de pós-graduação *strictu sensu* em tecnologia de celulose e papel. Módulo I. Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Florestal. 2001.

CORDAZZO, C. V.; SEELIGER, U. **Guia ilustrado da vegetação costeira no extremo sul do Brasil**. Rio Grande: Editora da FURG, 1988.

DA ROSA, C. A. B. **Influência do Teor de Lignina da Madeira de *Eucalyptus Globulus* na Produção e na Qualidade da Celulose Kraft**. 2003, 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel**. Tecnologia de fabricação da pasta celulósica. v. 1, 2 ed., São Paulo, 1988.

FRINHANI, E. M. D.; DALTOÉ, R. Comparação das propriedades físico-mecânicas de polpas celulósicas Kappa 45 e Kappa 100 destinadas à fabricação de papéis para embalagens rígidas. **Unoesc & Ciência – ACET**, Joaçaba, v. 3, n. 1, p. 65-74, 2012.

FOELKEL, C. Advances in Eucalyptus Fiber Properties & Paper Products. In: INTERNATIONAL COLLOQUIUM ON EUCALYPTUS PULP, 3, 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: Universidade Federal de Viçosa, 2007. p. 1-6.

FOELKEL, C. **Individualização das Fibras da Madeira do Eucalipto para a Produção de Celulose Kraft.** [S.l.: s.n] Julho, 2009.

GOMES, C. M. et al. .Can lignin precipitate during kraft pulping and washing?. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON WOOD AND PULPING CHEMISTRY. 2002, France, **Anais...** France, v. 3, 2002.

GOMES, F. A. **Avaliação dos processo Kraft convencional e Lo-Solids® para madeira de *Pinus taeda*.** 2009, 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

GONCALEZ, J. C.; FRAGA, D. G.; SILVA Jr., F. G. Avaliação da Polpação soda de *Pinus taeda* com a adição de Antraquinona. CONGRESSO IBERO AMERICANO DE INVESTIGADORES DE CELULOSA Y PAPEL, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo, v. 1, 2002. p. 10-20.

GOLÇALVES, E. C. et al. ; Auto caustificação de licor negro de produção de celulose kraft-antraquinona utilizando metaborato de sódio. **O Papel.** v. 69, n. 4, 2008. p. 42-50.

GUIMARÃES JR. et al. Caracterização físico-química de fibra e polpas de *Bambusa vulgaris* Schrad para utilização em compósitos poliméricos. **Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales.** v. 33, n. 1, p. 33-42, 2013.

GUO, S.; HEIJNESSON-HULTEN, A.; BASTA, J.; WANG, Q.; GERMGARD, U. Cozimento kraft ótimo de bambu – a influência das condições de cozimento nas propriedades da celulose e das fibras. **O Papel.** São Paulo, v. 71, n. 7, p. 63-76, 2010.

KLOCK, U. **Qualidade da Madeira Juvenil de *Pinus Maximinoi* H. E. Morre.** 2000, 324f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B. de; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. de. **Química da madeira.** 3 ed. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005. 86 p.

KOMDÖRFER, G. H. Importância do silício na agricultura. **Batata Show**. ano 3, n. 8, 2003.

LONGUE JR., D. **Métodos alternativos para aproveitamentos das hemiceluloses da madeira de eucalipto na indústria de celulose kraft**. 2007, 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

MAGATON, A. S. **Estudo do comportamento das hemiceluloses de polpas kraft de eucalipto**. 2008. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

MELO, J. R. de. et al. Estudo das características do licor negro. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 3, n. 1, p. 1-11, abril, 2011.

MONTEIRO, C. et. al. Potencial energético da lignina extraída do licor negro de *Eucalyptus*. In: SIICUSP – SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 18, 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo, Universidade de São Paulo, 2010.

MOKFIENSKI, A. **Importância relativa da densidade básica e da constituição química de madeira de *Eucalyptus* spp. no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa kraft**. 2004, 153f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2004.

PEDRAZZI, C. **Influência das xilanas na produção e nas propriedades de polpas de eucalipto para papéis**. 2009, 211f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

PEREIRA, J. C. D. et al.. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: **Embrapa Florestas**. Documentos, 38, 113f., 2000.

QUEIROZ, S. C. S. **Efeito das características anatômicas e químicas na densidade básica da madeira e na qualidade da polpa de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *urophylla***. 2002, 91f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

ROESSING, M. **Produção, caracterização morfo-anatômica e ornamental e uso do *Juncus effusus* L. em paisagismos**. 2007, 170f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2007.

SANJUAN, D. R. **Obtención de Pulpas y Propiedades de las Fibras para Papel**. Guadalajara: Universidade de Guadalajara, 1997. 293 p.

SCOTT, R.W. **Colorimetric determination of hexuronic acids in plant materials**. Analytical Chemistry, v. 7, p. 936-941. 1979.

SILVEIRA, T. C. L. **Impacto do corte das macrófitas aquáticas *Schoenoplectus californicus* e *Typha domingensis* sobre a fauna de macro invertebrados: subsídios para o extrativismo sustentável**. 2007, 129f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SOFFNER, M. L. A. P. **Produção de polpa celulósica a partir de engaço de bananeira**. 2001, 56f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2001.

SOUZA, G. C. de. **Extrativismo em área de reserva biosfera da Mata Atlântica no Rio Grande do Sul: um estudo etnobiológico em Maquiné**. 2003, 202f. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

TAPPI – TECHNICAL ASSOCIATION OF PULP AND PAPER INDUSTRY. **Tappi Standard Methods**, Atlanta: TAPPI 2004-2005.

TENKANEN, M. et al. **Determination of hexenuronic acid in softwood kraft pulps by three different methods**. v. 25, n. 9, p. 306-311. 1999.

TORRES, J. E. de L. et al. **Análise comparativa do teor de silício em diferentes órgãos vegetais do bambu**. 2011. Disponível em: <<http://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/An%C3%A1lise-Comparativa-Do-Teor-De-Sil%C3%ADcio/26812.html>>. Acesso em: 12 de nov. de 2013.

TRUGILHO, P. F. et al. Clones de *Eucalyptus* versus a produção de polpa celulósica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 2, p. 145-155, 2005.

VAN DEN BERG, E. **Botânica econômica**. 2005, 56f. Monografia (Especialização em Botânica econômica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

VENTORIM, G. et al. A influência dos ácidos hexenurônico no rendimento e na branqueabilidade da polpa Kraft. **Química Nova**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 1-5, 2009.

WALLIS, A., WEARNE, R. WRIGHT, P., Chemical Analysis of polysaccharides in plantation eucalypt woods and pulps. **Appita Journal**, v. 49, n. 1, p. 258-262. 1996.

ZANUNCIO, A. J. V.; COLODETTE, J. L. Teores de lignina e ácidos urônicos na madeira e polpa celulósica de eucalipto. **Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 341-347. 2011.

## 5 CONCLUSÃO GERAL E RECOMENDAÇÕES TÉCNICAS

Os resultados obtidos neste estudo permitem as seguintes conclusões:

- O junco apresenta fibras curtas e delgadas;
- O junco tem massa específica básica baixa, sendo uma matéria fibrosa excepcionalmente leve;
- O junco apresenta baixa produtividade de massa seca por hectare;
- O junco apresenta elevado teor de extrativos e sílica;
- A polpa de junco apresenta baixo teor de ácidos hexenurônicos;
- A polpa de junco, nas condições de cozimento usadas, apresentou baixa viscosidade;
- Os papéis produzidos com polpa de junco tiveram suas propriedades de resistência afetadas negativamente, sendo que papéis produzidos apenas com fibras de eucalipto apresentaram melhor resistência;

Como recomendações técnicas tem-se que:

- Testar a polpa de junco como carga aditiva em menores proporções das testadas neste estudo, em polpas de eucalipto e testar as propriedades dos papéis produzidos;
- Testar as fibras de junco para a fabricação de papéis para fins especiais;
- Sugere-se a realização de um estudo sobre o cultivo e produção de junco a nível estadual (Rio Grande do Sul), analisando a sua melhor época de colheita, e a viabilidade em mecanizar a sua colheita no período de baixos níveis de água nos banhados;
- Testar as fibras de junco como aditivo em compósitos poliméricos.

## Referências bibliográficas

AZZINI, A. et al. Produção conjunta de fibras celulósicas e etanol a partir do bambu. **Bragantia**, Campinas, v.46, n.1, p. 17-25, 1987.

AZZINI, A. et al. Designificação dos resíduos agrícolas da cultura da mamona para produção de celulose e papel. **Bragantia**, Campinas, v.43, n.2, p. 519-530, 1984.

BARRICHELO, L. E. G.; FOELKEL, C. E. B. Produção de celulose sulfato a partir de misturas de madeira de *Eucalyptus saligna* com pequenas proporções de cavacos de *Bambusa vulgaris* VAR. vitatta. **IPEF**, n.10, p.93-99, 1975.

BARRICHELO, L.E.G., BRITO, J.O. A utilização da madeira na produção de celulose. **IPEF, Circular Técnica nº 68**, p. 1-12, Setembro, S.I., 1979.

PLANTAS AQUÁTICAS: O QUE SÃO MACRÓFITAS AQUÁTICAS?. In: BIOLOGOA INTERATIVA. [S.l.: s.n.], 2010. Disponível em: <<http://biologiainterativa.webnode.com.br/bio-vegetal/plantas-aquaticas/>>. Acesso em: out. 2013.

BOECHAT, J.V.B. **Produção de papel tissue a partir de bagaço de cana**. 2010, 61f. Monografia (Especialização em Tecnologia de Celulose e Papel) – Programa de Pós-Graduação Lato Sensu, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2010.

BONFATTI JR, E. A. **Caracterização das propriedades anatômicas, químicas e densidade de espécies *Bambusa vulgaris* Schrad. Ex J.C. Wendl., para a produção de celulose Kraft com diferentes cargas de Álcali**. 2010, 67f. Trabalho Final de Curso - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

BRACELPA. Associação Brasileira de Celulose e Papel. **Papéis para embalagem**. Disponível em: < <http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/184>>. Acesso em: 11 set. 2013.

BRASIL. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 16 de setembro de 1965.

BRASIL. Lei nº 6.902, de 27 de abril de 1981. Dispõe sobre a criação de Estações Ecológicas, Áreas de Proteção Ambiental e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 28 de abril de 1981.

CAMPOS, E. S. et al. Seleção de critérios para a especialização de pastas branqueadas de eucalipto na fabricação de papéis para impressão offset. **Ciência Florestal**, Santa Maria – RS, v.10, n.1, p. 57-75, 2000.

CARPIM, M. A. et al.. A influência do número de fibras por grama nas propriedades ópticas do papel. In: CONGRESSO ANUAL ABTCP, 20, 1987, **Anais...** São Paulo, 1987, p. 183-205.

CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA. IV Região. **Obtenção da celulose – artigo técnico**. Celulose Online - Informação e negócios no mundo da celulose. Disponível em: <<http://www.crq4.org.br/sms/files/file/dc417.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2013.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil). Resolução nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 13 de maio de 2002.

CORDAZZO, C. V.; SEELIGER, U. **Guia ilustrado da vegetação costeira no extremo sul do Brasil**. Rio Grande: Editora da FURG, 1988.

D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel**. Tecnologia de fabricação da pasta celulósica. Volume I. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988a.

D'ALMEIDA, M. L. O. **Celulose e papel**. Tecnologia de fabricação do papel. Volume II. 2. ed. São Paulo: IPT, 1988b.

DEMUNER, B. D. et al.. As propriedades do papel e as características das fibras de eucalipto. In: CONGRESSO ANUAL ABTCP, 24, 1991, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1991. p. 621-641.

FERNÁNDEZ, M.A.V. **Avaliação dos processos de polpação soda-antraquinona e bissulfito-base magnésio para bambu**. 2010, 91f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2010.

FOELKEL, C. **As fibras dos eucaliptos e as qualidades requeridas na celulose kraft para a fabricação de papel**. [S.l.: s.n.], Fevereiro/Março 2007.

FOELKEL, C. **Individualização das Fibras da Madeira do Eucalipto para a Produção de Celulose Kraft.** [S.l.: s.n.] Julho, 2009.

FUZETO, A. P. **Determinação do teor de lignina em amostras vegetais através de três métodos com digestibilidade *in vitro*.** 2003. 74f. Dissertação (Mestrado em Nutrição Animal) – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2003.

GIOVANNINI, S.G.T. **Estabelecimento e desenvolvimento das macrófitas aquáticas “*Scirpus californicus*, *Typha subulata* e *Zizanio psisbonariensis*” sob condições experimentais de regimes hídricos diferenciados.** 1997, 153f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

GOMIDE, J.L. et al. Utilização de antraquinona e polissulfeto como aditivos do processo kraft para produção de celulose de Eucalyptus. **O Papel**, São Paulo, ano 58, n. 5, p. 43-52, 1997.

IRGANG, B. E.; GASTAL Jr. C. V. de S. **Macrófitas aquáticas da planície costeira do RS.** Porto Alegre: editora da UFRGS, 1996. 290 p.

KISSMANN, K.G. **Plantas infestantes e nocivas.** 2. ed. São Paulo: Basf. 1997. 824p.

KLOCK, U. **Processo Kraft.** Notas de aula: polpa e papel. UFPR, SCA, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal. Curitiba, 2008.

LIBBY, C. E. **Pulp and paper Science and technology.**v.1.New York: McGraw-Hill, 1962.

LOMBARDO, A. **Flora Montevidensis.** Monocotiledoneas. Tomo III. Intendencia Municipal de Montevideo. 1984.

MARANESI, G. L.; **Influência de variáveis do processo de produção industrial na qualidade da polpa kraft de eucalipto.** 2010, 87f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Celulose e Papel) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

MOURA, A.M. de; BOCHETTI, C.E.F.; FRIZZO, S.M.B. Caracterização de compostos reduzidos de enxofre gerados na produção de celulose kraft e pré-hidrolise kraft. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 49-58, 2002.

OLIVEIRA, M. de C. **Embalagens: papel e papelão.** Embalagem de alimentos - Curso de Ciência e Tecnologia de Laticínios – 5º período. Belo Horizonte: Editora da Universidade do Estado de Minas Gerais. Unidade III, 2012.

OSORIO, E.G. **Indústria de papel e celulose: estudo de caso da implantação da VCP Florestal no Extremo sul do Rio Grande do Sul.** 2007, 58f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

PINHO, M.R.R.; CAHEN, R. Polpação química. In: D'ALMEIDA, M.L.O. (Coord.), **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**, São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. v.1, 165-315, 1981.

RAZZOLINI, F. C. **Técnicas de fabricação de papéis e cartões para embalagem.** Curso - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Klabin Fabricadora de Papel e Celulose S/A. São Paulo: [s.n.], 1994.

RIO GRANDE DO SUL, Lei n. 11.520 de 03 de agosto de 2000. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente do Estado do Rio Grande do Sul e dá outras providências. **Diário Oficial do Estadual do Rio Grande do Sul (RS)**, Porto Alegre, 04 de agosto de 2000.

RÓDES, L. **Plantas fibrosas anuais.** São Paulo: IPT; CTCP. 1984, 45f.

ROESSING, M. **Produção, caracterização morfo-anatômica e ornamental e uso do *Juncus effusus* L. em paisagismos.** 2007, 170f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2007.

SANTOS, C. P.; **Papel: como se fabrica? Química Nova na Escola.** n. 14, p. 3-7, nov. 2001.

SELLOWIA. Itajaí: **Anais Botânicos do Herbário Barbosa Rodrigues.** Itajaí, 1960.

SILVA Jr, F.G.; McDONOUGH, T.J. Polpação Lo-Solids® de Eucalipto: Efeito do Ritmo de Produção. In: Congresso Anual de Celulose e Papel, ABTCP, 34., 2001, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2001, 16p.

SILVEIRA, T. C. L. **Impacto do corte das macrófitas aquáticas *Schoenoplectus californicus* e *Typha domingensis* sobre a fauna de macro invertebrados:**

**subsídios para o extrativismo sustentável.** 2007, 129f. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

SILVEIRA, G. H.; LONGHI-WAGNER, H. M. Cyperaceae Juss. No Morro Santana – Porto Alegre e Viamão, Rio Grande do Sul, Brasil. **IHERINGIA**, Porto Alegre, v. 63, n. 2, p. 295-320, jul./dez. 2008.

SOFFNER, M. L. A. P. **Produção de polpa celulósica a partir de engaço de bananeira.** 2001, 56f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, São Paulo, 2001.

SOUZA, G. C. de. **Extrativismo em área de reserva biosfera da Mata Atlântica no Rio Grande do Sul:** um estudo etnobiológico em Maquiné. 2003, 202f. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

TRINDADE, C. et al. . Caracterização e importância das macrófitas aquáticas com ênfase nos ambientes límnicos do *campus* Carreiros – FERG, Rio Grande, RS. **Cadernos de Ecologia Aquática**, v. 5, n. 2, p. 1-22, 2010.

WASTOWSKI, A. Material didático da disciplina de Química da Madeira. **Celulose & Papel.** Universidade Federal de Santa Maria. 78p. 2009.

## APÊNDICES

### Apêndice A – Resultados das análises físico-mecânicas e ópticas dos papéis produzidos apenas com polpa de junco (T0).

Número de revoluções	0	200	400	600
Consumo de energia	-	2	5	6
Graus Shopper-Rigler (°SR)	30	39	45	51
Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	62,43	64,95	64,28	63,10
Espessura (µm)	123	114	107,2	105,4
Índice de arrebatamento (Kpa*m <sup>2</sup> /g)	1,18	2,10	2,29	2,61
Índice de rasgo (mN*m <sup>2</sup> /g)	4,57	4,63	4,49	4,42
Índice de tração (N*m/g)	34,86	35,02	47,47	50,59
Peso específico aparente (kg/cm <sup>3</sup> )	507,56	569,74	599,63	598,67
Volume específico aparente (cm <sup>3</sup> /g)	1,9702	1,7551	1,6676	1,6703
Resistência à passagem de ar (s/100cm <sup>3</sup> )	7,74	30,14	31,76	32,10
RCT (KN/m)	0,92	1,10	1,15	1,10
CMT (N)	108,10	87,10	97,28	90,59
Coefficiente de dispersão de luz (Kg/m <sup>2</sup> )	17,55	25,10	21,67	14,95
Opacidade (%)	98,38	99,80	99,55	97,60

**Apêndice B – Resultados das análises físico-mecânicas e ópticas dos papéis produzidos com polpa de junco (75%) e polpa de eucalipto (25%) (T1).**

Número de revoluções	0	300	600	900
Consumo de energia	-	3	7	10
Graus Shopper-Rigler (°SR)	29	36	45	50
Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	66,41	65,60	63,67	69,08
Espessura (µm)	128,6	112	101	102,2
Índice de arrebentamento (Kpa*m <sup>2</sup> /g)	1,49	2,13	2,85	3,13
Índice de rasgo (mN*m <sup>2</sup> /g)	6,56	6,93	6,67	6,53
Índice de tração (N*m/g)	37,78	49,07	55,70	52,29
Peso específico aparente (kg/cm <sup>3</sup> )	516,41	585,71	630,40	675,93
Volume específico aparente (cm <sup>3</sup> /g)	1,9364	1,7073	1,5862	1,4794
Resistência à passagem de ar (s/100cm <sup>3</sup> )	4,67	14,96	26,43	49,96
RCT (KN/m)	1,10	1,24	1,14	1,35
CMT (N)	121,60	93,80	89,76	103,40
Coefficiente de dispersão de luz (Kg/m <sup>2</sup> )	21,72	24,65	27,34	19,69
Opacidade (%)	98,94	99,61	99,82	99,39

**Apêndice C – Resultados das análises físico-mecânicas e ópticas dos papéis produzidos com polpa de junco (50%) e polpa de eucalipto (50%) (T2).**

Número de revoluções	0	500	1000	1500
Consumo de energia	-	5	11	17
Graus Shopper-Rigler (°SR)	22	33	42	54
Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	63,47	64,43	64,66	63,84
Espessura (µm)	143,6	112,4	106,4	95,8
Índice de arrebentamento (Kpa*m <sup>2</sup> /g)	0,88	2,64	3,30	3,63
Índice de rasgo (mN*m <sup>2</sup> /g)	6,77	8,31	8,70	8,73
Índice de tração (N*m/g)	30,61	54,27	63,20	70,50
Peso específico aparente (kg/cm <sup>3</sup> )	441,99	573,22	607,71	666,39
Volume específico aparente (cm <sup>3</sup> /g)	2,2624	1,7445	1,6455	1,5006
Resistência à passagem de ar (s/100cm <sup>3</sup> )	1,48	8,17	16,85	32,25
RCT (KN/m)	1,07	1,60	1,65	1,47
CMT (N)	92,68	112,00	108,30	102,10
Coefficiente de dispersão de luz (Kg/m <sup>2</sup> )	23,53	28,74	22,57	19,24
Opacidade (%)	98,19	99,54	98,76	98,29

**Apêndice D – Resultados das análises físico-mecânicas e ópticas dos papéis produzidos com polpa de junco (25%) e polpa de eucalipto (25%) (T3).**

Número de revoluções	0	1000	2000	3000
Consumo de energia	-	11	23	35
Graus Shopper-Rigler (°SR)	20	37	45	59
Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	64,84	65,20	61,04	64,97
Espessura (µm)	143	111	90,8	85,8
Índice de arrebentamento (Kpa*m <sup>2</sup> /g)	0,80	2,90	3,84	4,55
Índice de rasgo (mN*m <sup>2</sup> /g)	6,61	9,57	9,61	9,64
Índice de tração (N*m/g)	32,55	57,73	75,31	82,72
Peso específico aparente (kg/cm <sup>3</sup> )	453,43	587,39	672,25	757,23
Volume específico aparente (cm <sup>3</sup> /g)	2,2054	1,7024	1,4875	1,3206
Resistência à passagem de ar (s/100cm <sup>3</sup> )	0,91	5,18	23,48	98,36
RCT (KN/m)	0,98	1,59	1,22	1,42
CMT (N)	113,30	88,87	115,95	90,88
Coefficiente de dispersão de luz (Kg/m <sup>2</sup> )	31,58	23,95	26,02	18,45
Opacidade (%)	99,01	98,22	98,70	97,18

**Apêndice E – Resultados das análises físico-mecânicas e ópticas dos papéis produzidos apenas com polpa de eucalipto (T4).**

Número de revoluções	0	2000	3000	4000
Consumo de energia	-	24	36	47
Graus Shopper-Rigler (°SR)	16	31	43	56
Gramatura (g/m <sup>2</sup> )	64,92	63,87	64,43	62,69
Espessura (µm)	153	98	86,4	84
Índice de arrebentamento (Kpa*m <sup>2</sup> /g)	0,62	2,69	3,63	3,73
Índice de rasgo (mN*m <sup>2</sup> /g)	4,66	11,43	10,86	10,85
Índice de tração (N*m/g)	27,61	56,17	76,63	82,62
Peso específico aparente (kg/cm <sup>3</sup> )	424,31	651,73	749,19	746,31
Volume específico aparente (cm <sup>3</sup> /g)	2,3567	1,5343	1,3347	1,3399
Resistência à passagem de ar (s/100cm <sup>3</sup> )	0,57	4,48	31,18	62,81
RCT (KN/m)	0,72	1,49	1,31	1,37
CMT (N)	56,49	91,49	93,28	100,70
Coefficiente de dispersão de luz (Kg/m <sup>2</sup> )	35,89	27,36	22,12	23,93
Opacidade (%)	97,91	96,49	94,40	96,16

## Apêndice F - Gramatura

### RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,248258902
R-Quadrado	0,061632483
R-quad. aj.	0,009500954
Erro padrão	1,630136893
Observações	20

### ANOVA

	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	3,1416	3,1416	1,1822	0,2912
Resíduo	18	47,8322	2,6573		
Total	19	50,97388			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Interseção	64,7473	0,4883	132,6008	2,270E-28	63,7214	65,7731	63,7214	65,7731
Variável X 1	-0,0292	0,0269	-1,0873	0,2912	-0,0856	0,0272	-0,0856	0,0272

## Apêndice G - Espessura

### RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,792616571
R-Quadrado	0,628241028
R-quad. aj.	0,607587752
Erro padrão	12,29956504
Observações	20

### ANOVA

	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	4601,6846	4601,6846	30,4185	3,087E-05
Resíduo	18	2723,0274	151,2793		
Total	19	7324,712			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Interseção	123,7000	3,6842	33,5760	1,092E-17	115,9599	131,4402	115,9599	131,4402
Variável X 1	-1,1174	0,2026	-5,5153	3,087E-05	-1,5430	-0,6917	-1,5430	-0,6917

## Apêndice H – Resistência a passagem de ar

### RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,663011165
R-Quadrado	0,439583804
R-quad. aj.	0,408449571
Erro padrão	18,79344115
Observações	20

### ANOVA

	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	4986,7331	4986,7331	14,1190	0,00144
Resíduo	18	6357,4817	353,1934		
Total	19	11344,2149			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Interseção	10,0997	5,6293	1,7941	0,0896	-1,7271	21,9265	-1,7271	21,9265
Variável X 1	1,1632	0,3096	3,7575	0,0014	0,5128	1,8135	0,5128	1,8135

## Apêndice I - Índice de arrebatamento

### RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,791444111
R-Quadrado	0,62638378
R-quad. aj.	0,605627324
Erro padrão	0,699231335
Observações	20

### ANOVA

	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	14,7547	14,7547	30,1778	3,232E-05
Resíduo	18	8,8006	0,4889		
Total	19	23,5553			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Interseção	1,7839	0,2094	8,5174	9,926E-08	1,3439	2,2240	1,3439	2,2240
Variável X 1	0,0633	0,0115	5,4934	3,232E-05	0,0391	0,0875	0,0391	0,0875

## Apêndice J - Índice de rasgo

### RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,803953346
R-Quadrado	0,646340982
R-quad. aj.	0,626693259
Erro padrão	1,41887571
Observações	20

### ANOVA

	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	66,2275	66,2275	32,8965	1,946E-05
Resíduo	18	36,2377	2,0132		
Total	19	102,4652			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Interseção	5,9050	0,4250	13,8940	4,610E-11	5,0121	6,7980	5,0121	6,7980
Variável X 1	0,1340	0,0234	5,7355	1,946E-05	0,0849	0,1831	0,0849	0,1831

## Apêndice K - Índice de tração

### RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,891631193
R-Quadrado	0,795006185
R-quad. aj.	0,78361764
Erro padrão	8,099808243
Observações	20

### ANOVA

	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	4579,8550	4579,8550	69,8075	1,313E-07
Resíduo	18	1180,9241	65,6069		
Total	19	5760,7791			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Interseção	40,1471	2,4262	16,5473	2,467E-12	35,0498	45,2443	35,0498	45,2443
Variável X 1	1,1147	0,1334	8,3551	1,313E-07	0,8344	1,3950	0,8344	1,3950

## Apêndice L - RCT

### RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,477931207
R-Quadrado	0,228418238
R-quad. aj.	0,185552585
Erro padrão	0,221706632
Observações	20

### ANOVA

	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	0,2619	0,2619	5,3287	0,03306
Resíduo	18	0,8848	0,0492		
Total	19	1,1467			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Interseção	1,1475	0,0664	17,2791	1,183E-12	1,0080	1,2870	1,0080	1,2870
Variável X 1	0,0084	0,0037	2,3084	3,306E-02	0,0008	0,0161	0,0008	0,0161

## Apêndice M - CMT

### RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,015809713
R-Quadrado	0,000249947
R-quad. aj.	-0,055291723
Erro padrão	14,4899632
Observações	20

### ANOVA

	<i>GI</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	0,9449	0,9449	0,0045	0,9473
Resíduo	18	3779,2626	209,9590		
Total	19	3780,2075			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Interseção	97,6898	4,3403	22,5077	1,242E-14	88,5712	106,8084	88,5712	106,8084
Variável X 1	0,0160	0,2387	0,0671	9,473E-01	-0,4854	0,5174	-0,4854	0,5174

## Apêndice N - Volume Específico Aparente (VEA)

### RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,774428003
R-Quadrado	0,599738731
R-quad. aj.	0,577501994
Erro padrão	0,195611751
Observações	20

### ANOVA

	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	1,0320	1,0320	26,9706	6,121E-05
Resíduo	18	0,6888	0,0383		
Total	19	1,7208			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Interseção	1,9128	0,0586	32,6458	1,797E-17	1,7897	2,0359	1,7897	2,0359
Variável X 1	-0,0167	0,0032	-5,1933	6,121E-05	-0,0235	-0,0100	-0,0235	-0,0100

## Apêndice O - Opacidade

### RESUMO DOS RESULTADOS

<i>Estatística de regressão</i>	
R múltiplo	0,740793641
R-Quadrado	0,548775219
R-quad. aj.	0,523707176
Erro padrão	0,960953701
Observações	20

### ANOVA

	<i>Gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	20,2152	20,2152	21,8914	0,000187
Resíduo	18	16,6218	0,9234		
Total	19	36,8370			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Interseção	99,1931	0,2878	344,6099	7,821E-36	98,5884	99,7978	98,5884	99,7978
Variável X 1	-0,0741	0,0158	-4,6788	1,869E-04	-0,1073	-0,0408	-0,1073	-0,0408