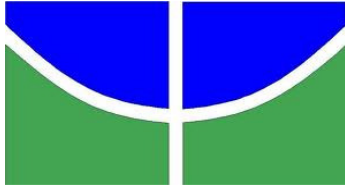


ANA LUIZA DE OLIVEIRA SANTOS

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO E CARACTERIZAÇÃO  
TECNOLÓGICA DAS FIBRAS DE *Saccharum spp.* PARA  
PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL**

Brasília - DF, novembro de 2014



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA

ANA LUIZA DE OLIVEIRA SANTOS

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO E CARACTERIZAÇÃO  
TECNOLÓGICA DAS FIBRAS DE *Saccharum spp.* PARA  
PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL**

Projeto de Pesquisa apresentado  
ao Departamento de Engenharia  
Florestal da Universidade de  
Brasília, como parte das exigências  
para obtenção do título de  
Engenheira Florestal.

Orientador:

Prof<sup>o</sup> Joaquim Gonzalez

Brasília – DF, novembro de 2014

Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Florestal

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO E CARACTERIZAÇÃO  
TECNOLÓGICA DAS FIBRAS DE *Saccharum spp.* PARA PRODUÇÃO DE  
CELULOSE E PAPEL**

ANA LUIZA DE OLIVEIRA SANTOS

Matrícula: 09/0140788

Projeto de Pesquisa apresentado  
ao Departamento de Engenharia  
Florestal da Universidade de  
Brasília, como parte das exigências  
para obtenção do título de  
Engenheira Florestal.

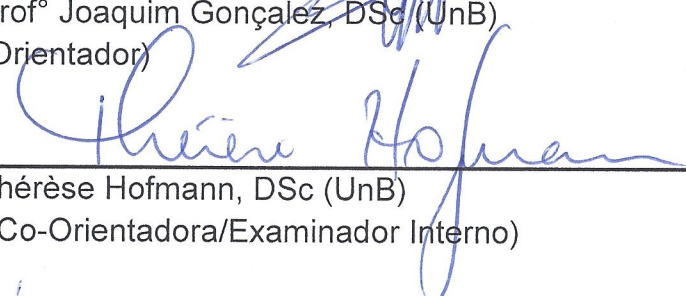
Orientador:

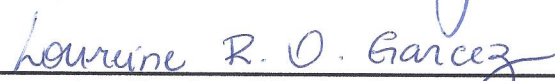
Profº Joaquim Gonçalves

Menção: SS

APROVADO POR:

  
\_\_\_\_\_  
Profº Joaquim Gonçalves, DSc (UnB)  
(Orientador)

  
\_\_\_\_\_  
Thérèse Hofmann, DSc (UnB)  
(Co-Orientadora/Examinador Interno)

  
\_\_\_\_\_  
Loureine Rapôso Oliveira Garcez, Engenharia Florestal (UnB)  
(Examinador Externo)

Brasília – DF, novembro de 2014

## DEDICATÓRIA

A Deus, força divina responsável pela graça da minha existência, que sustentou e fortaleceu-me para o cumprimento de mais uma etapa.

À minha família, “alicerces” emocionais motivadores em todas as fases referentes à minha jornada pessoal e profissional.

Ao Professor Joaquim González, pela paciência, atenção, auxílio e dedicação ao desenvolvimento do presente trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

A toda equipe do laboratório de anatomia da madeira e química da madeira do IBAMA/DF, pelo auxílio nas fases de análise química do presente projeto, em especial: Prof<sup>o</sup> José Arlete, Prof<sup>o</sup> Alessandro, Lopes, Lula, Alexandre e estagiários, em geral.

A toda a equipe da Maquete/LEME, pelo apoio, disponibilidade e atenção quanto à execução das etapas referentes à manufatura do produto final estudado no presente trabalho, em especial: Sophia, Thais, Prof<sup>a</sup> Thérèse Hofmann e Pâmella.

Meu agradecimento especial ao Prof<sup>o</sup> Joaquim Gonzalez, pelo apoio, orientação, atenção, auxílio, paciência, dedicação e motivação fornecido ao longo da execução do presente trabalho, tendo realizado um excelente trabalho de orientação e se tornado um grande parceiro profissional.

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro destinado à execução de parte do presente trabalho.

Aos meus amigos da Engenharia Florestal, responsáveis por inúmeros momentos de crescimento pessoal, profissional e acadêmico, além do apoio recebido em momentos distintos, por cada um dos presentes nesse seletivo grupo, em especial aos companheiros de militância da Associação Brasileira dos Estudantes de Engenharia Florestal – ABEEF.

Aos meus amigos pessoais, pelo apoio, suporte, paciência e compreensão ao longo de diversos obstáculos encontrados na minha formação acadêmica e pessoal, em especial: Pilar, Daniela, Stéfanni, Camila, Uila, Stéfanni e todos os outros.

A minha família, pela orientação, carinho, dedicação, motivação apoio e incentivo fornecidos ao longo de todas as fases referentes à minha vida pessoal, acadêmica e profissional, em especial à minha mãe, meu irmão, meu pai e minha prima Fernanda.

A todos as pessoas do meu convívio, pelas mais diversas formas de apoio e compreensão dados ao longo do processo de graduação, sendo estas ações diretas ou indiretas.

## RESUMO

### AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE USO E CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DAS FIBRAS DE *Saccharum spp.* PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL

Ana Luiza de Oliveira Santos

Orientador: Prof<sup>o</sup> Joaquim Gonzalez, DSc (UnB)

Atualmente, a expansão da fronteira agrícola brasileira é responsável pela geração de toneladas de resíduos por ano nas lavouras, sendo estes destinados a descarte ou utilizados para a cogeração de energia interna das usinas; neste contexto, busca-se alternativas para o uso de resíduos agrícolas de grande potencial de aproveitamento econômico, como o bagaço da cana-de-açúcar. O presente trabalho objetivou a realização da caracterização tecnológica das fibras de *Saccharum spp.*, coletadas na FAL/UnB. A caracterização anatômica se iniciou com a separação manual do colmo interno (*Ci*) e colmo externo (*Ce*) (20 g, cada), seguida de submersão destes em dissociado 1:1 de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> e C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub> e confecção de lâminas para mensurações microscópicas. Os valores médios de comprimento, espessura da parede, lúmen e largura para o *Ce* foram 1.689,2, 6,2, 14,2 e 26,8 µm, respectivamente; para *Ci*, 1.206,5, 4,4, 11,1 e 19,9 µm, sugerindo a presença de fibras classificadas como longas. A fase de caracterização química se iniciou com a separação manual entre *Ci* e *Ce* (800 g, cada), seguida de moagem e peneiração de 60 mesh. Após a execução de procedimentos adequados, determinou-se os valores médios dos teores de extrativos para *Ce* (1,39%) e para *Ci* (1,52%). Estes apresentaram-se relativamente baixos, indicando uma vantagem na utilização das fibras para a produção de papel, visto que tais componentes são indesejáveis no processo de manufatura do produto final. Para a determinação da quantidade de lignina solúvel em ácido, os valores obtidos foram de 1,7% para o *Ce* e 2,2% para o *Ci*. Opostamente, os valores obtidos na determinação da lignina insolúvel em ácido foram 20,1% para o *Ce* e 16,7% para o *Ci*, indicando uma matéria-prima relativamente “flexível” quando comparadas à outros indivíduos lenhosos utilizados pela indústria de celulose. Para os valores médios dos teores de holocelulose, mesuraram-se 76,69% para *Ce* e 79,48% para *Ci*, sugerindo uma polpa final de rendimento potencialmente alto. Por fim, no processo de manufatura do papel, obteve-se um produto final visualmente resistente, indicando boas interações físico-químicas entre as fibras e de coloração amarelada. Sugere-se a realização de análises laboratoriais específicas deste para a validação da classificação visual inferida.

**Palavras-Chave:** bagaço, cana-de-açúcar, extrativos, lignina, polpação.

## ABSTRACT

### ASSESSMENT OF THE POTENTIAL TO USE TECHNOLOGY AND CHARACTERISTICS OF FIBER *Saccharum* spp. FOR PRODUCTION OF PULP AND PAPER

Ana Luiza de Oliveira Santos

Advisor: Prof. Joaquim Gonzalez, DSc (UNB)

Currently, the expansion of Brazil's agricultural frontier is responsible for generating tons of waste per year in crops, which are intended for disposal or used for cogeneration internal energy of the plants; In this context, we seek alternatives to the use of agricultural waste of great potential for the economic use, such as bagasse from sugar cane. This study aimed to the realization of technological characterization of *Saccharum* spp fibers., Collected in FAL / UNB. The anatomical characterization began with the manual separation of the inner stem (*Ci*) and external stem (*Ce*) (20 g each), followed by submersion in these dissociated 1: 1 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub> and preparation of slides for microscopic measurements. The average values of length, wall thickness, width for the lumen and *Ce* were 1689.2, 6.2, 14.2 and 26.8 microns, respectively; for *Ci*, 1206.5, 4.4, 11.1 and 19.9 microns, suggesting the presence of classified as long fibers. The chemical characterization phase began with the manual separation between *Ci* and *Ce* (800 g each), followed by crushing and sieving 60 mesh. After performing appropriate procedures, we determined the average values of the content of extract for *Ce* (1.39%) and *Ci* (1.52%). These showed relatively low, indicating an advantage in the use of fibers for paper production, since such components are undesirable in the manufacturing process of the final product. To determine the amount of acid soluble lignin, the values were 1.7% for the *Ce* and 2.2% *Ci*. In contrast, the values obtained in the determination of acid insoluble lignin was 20.1% for *Ce* and 16.7% for *Ci*, indicating a feedstock relatively "flexible" compared to other woody plants used by the pulp industry. For mean values of holocellulose, mesuraram up to 76.69% and 79.48% *Ce* to *Ci*, suggesting a potentially high end of pulp yield. Finally, the paper manufacturing process, obtained was a visually resistant end product, indicating good physicochemical interactions between the fibers and yellowish. It is suggested to perform specific laboratory tests for the validation of this visual classification inferred.

**Keywords:** bagasse, cane sugar, extractives, lignin, pulping.

## LISTA DE FIGURAS

**FIGURA 1 (Texto):** Cozimento alcalino do colmo interno de *Saccharum spp.*

---

13

**FIGURA 2 (Texto):** Etapas do processo de manufatura das malhas reticuladas oriundas de fibras de cana-de-açúcar, com diversas proporções de solução fibrosa por litro de solução aquosa

---

15

**FIGURA 3 (Texto):** Disposição das malhas reticuladas confeccionadas a partir das fibras de cana-de-açúcar sobre folhas de papéis absorventes, consequentemente identificadas quanto à proporção de solução fibrosa por litro de solução aquosa

---

16

**FIGURA 4 (Texto):** Aglomerado de fibras resultantes dos testes de cozimento alcalino, malha reticulada gerada no processo de manufatura do papel e aglomerado residual pós manufatura das fibras do colmo interno (esquerda) e das fibras do colmo interno (direita), respectivamente

---

23



## LISTA DE TABELAS

**TABELA 1 (Texto):** Avaliação da concentração da solução alcalina de cozimento mais adequada para separação das fibras do colmo interno de *Saccharum* spp. \_\_\_\_\_ 14

**TABELA 2 (Texto):** Avaliação da concentração da solução alcalina de cozimento mais adequada para separação das fibras do colmo externo de *Saccharum* spp. \_\_\_\_\_ 17

**TABELA 3 (Texto):** Valores totais, médios, desvios padrões e interações dimensionais de fibras de bagaço de *Saccharum* spp. \_\_\_\_\_ 18

**TABELA 4 (Texto):** Composição Química do bagaço de *Saccharum* spp. estudado \_\_\_\_\_ 20

**TABELA 5 (Texto):** Análise das concentrações de solução alcalina de cozimento mais adequada para separação das fibras do colmo interno de *Saccharum* spp. \_\_\_\_\_ 22

## SUMÁRIO

1. Introdução	1
2. Hipótese	3
3. Objetivo	3
4. Revisão Bibliográfica	4
4.1. Cana-de-açúcar no Brasil	4
4.2. Cana-de-açúcar: <i>Saccharum spp.</i>	5
4.3. Situação atual do setor de celulose e papel	6
4.4. Fabricação do Papel Artesanal	9
5. Metodologia	10
5.1. Etapa 1. Obtenção das fibras	10
5.2. Etapa 2. Análises das fibras, do processo de obtenção da polpa e seus resíduos	10
5.2.1. Análise das Características Morfológicas das fibras	11
5.2.2. Análise da Composição Química das fibras	12
5.2.3. Obtenção da Polpa Celulósica	13
6. Resultados e Discussões	17
6.1. Dimensões das Fibras	17
6.2. Composição Química	20
6.3. Polpação	21
6.3.1. Solução alcalina para o cozimento	21
7. Conclusões	23
8. Referências Bibliográficas	25

## 1. INTRODUÇÃO

Em pleno século XXI nos deparamos com diversos problemas ambientais que saturam o planeta com gases de efeito estufa cujas consequências climáticas poderão alterar significativamente toda a vida que conhecemos até então. Muitas são as causas destes problemas ambientais, entre elas hábitos de consumo e descarte cada vez mais frenéticos e que vão de encontro à sustentabilidade do planeta. A necessidade de otimização do uso dos recursos naturais é premente e consensual e isso tem levado à pesquisa e ao desenvolvimento de novos produtos, matérias primas e de resíduos. Com isso, o que seria resíduo em um determinado ciclo de produção, torna-se insumo para um outro ciclo (GATTI, 2008).

Neste âmbito, os processos de reciclagem de produtos utilizados e resíduos industriais surgem como uma solução alternativa. Segundo Alencar (2005), a reciclagem consiste em aproveitar os resíduos para fabricar novos produtos, idênticos ou não ao que lhes deu origem. Pode ser do tipo artesanal ou industrial. É chamado de artesanal quando se utilizam processos de transformação não muito sofisticados e de industrial quando estes processos são mecanizados e capazes de fabricar produtos em larga escala. A reciclagem artesanal também pode ser vista como uma forma de reutilização, pois os resíduos passam por poucas modificações. Segundo a BRACELPA (2014), no Brasil, a reciclagem começou simultaneamente ao início da fabricação do papel, há mais de 100 anos. Além de usar o papel descartado após o consumo, as indústrias importavam celulose para abastecer suas unidades.

Nos primórdios de sua história, o ser humano registrava suas atividades gravando símbolos, desenhos e palavras em pedras ou em metais. Isso fez com que, ao contrário da tradição oral, a comunicação gráfica dos registros não se extinguisse com o tempo. Tal como é conhecido hoje, o papel remonta à China do século II. Sua invenção foi anunciada ao Imperador Ho Ti pelo oficial da corte Cai Lun (Ts'ai Lun), no ano 150. Desde então, o invento influencia a vida de bilhões de pessoas desde aquela época. No Brasil, o papel começou a ser fabricado em 1809, no Rio de Janeiro, chegando a São Paulo com o desenvolvimento industrial proporcionado pela vinda de imigrantes europeus

destinados ao trabalho na cultura do café. Em sua bagagem, eles trouxeram conhecimento sobre o processo de produção de papel (BRACELPA, 2014).

Atualmente, todo o território nacional realiza a produção de diferentes tipos de papel: papéis absorventes, plastificados, destinados à escrita e impressão, artesanais, de embalagens, etc.

No setor papelero, a utilização de fibras recicladas tem crescido bastante. O fator econômico ainda é bastante preponderante, principalmente no mercado brasileiro, no entanto, tem crescido as exigências ambientais no que diz respeito à utilização de fibras secundárias na indústria papelera e este assunto têm sido objeto de diversos trabalhos científicos no sentido de mostrar os ganhos da utilização este tipo de fibra. Sem dúvida, o maior ganho é o ambiental, já que o lixo hoje é um problema de todos os grandes centros urbanos (NEVES, 2014)

Segundo Azzini *et. al.* (1993), as fibras vegetais são obtidas basicamente de espécies arbóreas (madeiras) e não arbóreas (bambu, crotalária, quenafe, juta, sisal, fórmio, rami). As madeiras, utilizadas principalmente como fontes energéticas e na produção de fibras celulósicas para papel, representam a quase totalidade de nossa matéria-prima fibrosa. Para algumas espécies arbóreas, como eucalipto e pinus, existem conhecimentos tecnológicos específicos, desde a produção de sementes geneticamente melhoradas até o produto industrial.

Porém, atualmente, os índices nacionais de consumo de madeira são superiores aos índices de produção, o que gerará, em um futuro breve, um déficit na oferta da matéria prima em questão e um conseqüente aumento no preço de mercado da mesma.

No trabalho realizado por Valverde *et.al.* (2004) justifica-se que o rápido crescimento das plantações de eucalipto no Brasil lhe conferiram vantagens competitivas no mercado de produtos florestais, tendo este exportado cada vez mais e conquistado, no caso da celulose, as primeiras posições no *ranking* mundial. Os principais reflexos do avanço desse mercado estão sendo observados nos aumentos dos preços dessa madeira e das áreas plantadas pelos produtores rurais, contrapondo as empresas florestais que, desde o fim da política de incentivos fiscais ao reflorestamento, têm encontrado dificuldade em expandir seus povoamentos diante, entre outras coisas, da valorização das

terras e das pesadas críticas da sociedade contra o latifúndio e a monocultura de eucalipto. A principal causa do aumento dos preços da madeira é ao fato de as indústrias consumidoras de produtos florestais (fábricas de celulose e siderurgias) aumentarem suas produções sem a contrapartida do plantio, além do surgimento de novos produtos e consumidores que passaram a disputar essa madeira.

À exemplo desta situação, Soffner (2001) pesquisou a possibilidade de aproveitamento do engaço na produção de polpa celulósica, ressaltando-a como uma alternativa interessante para as regiões produtoras de banana. Trata-se 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. Normalmente as matérias-primas não madeireiras possuem baixo teor de lignina, quando comparado às madeireiras, o que proporciona facilidade nos processos de polpação e branqueamento. O uso desta matéria-prima para produção de polpa celulósica possibilita agregar valor a um resíduo, transformando-o em subproduto, polpa celulósica, o que contribui para a minimização de impactos ambientais negativos.

No mesmo âmbito, Azzini, Júnior & Arruda (1986) estudaram as características agrônômicas da juta, com enfoque no emprego das fibras celulósicas provenientes do líber e do lenho da mesma.

## **2. HIPÓTESE**

É viável a utilização de fibras de *Saccharum spp.* como fonte de fibra alternativa na produção de papel e celulose.

## **3. OBJETIVO**

O presente trabalho objetiva contribuir com o desenvolvimento tecnológico da área de produção de papel com o emprego de fibras celulósicas de *Saccharum spp.*, afim de indicar novas utilizações para o atual excesso de bagaço gerado nas lavouras nacionais e de contribuir para estudos que indiquem possíveis matérias primas fibrosas alternativas a serem aproveitadas

no setor de celulose e papel, contribuindo com o atual quadro expansivo do mesmo.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1. Cana-de-açúcar no Brasil**

A cultura da cana-de-açúcar surgiu no Brasil em meados do século XVI pela necessidade de se colonizar, defender e explorar as riquezas deste território – até então sem tanta importância econômica para Portugal. Vários foram os motivos para a escolha da cana, entre eles, a existência no Brasil do solo de massapê, propício para este cultivo. Além disso, o açúcar era àquela época um produto muito bem cotado no comércio europeu, em crescente consumo e capaz de gerar valiosos lucros, transformando-se assim no alicerce econômico da colonização portuguesa no Brasil entre os séculos XVI e XVII (RODRIGUES, 2010).

Como em qualquer atividade econômica, a atividade canieira proporcionou ao Brasil um início de crescimento econômico, apesar da exploração de outros recursos e da dificuldade de desbravar outras áreas para o plantio, tendo em vista que a área plantada era insignificativa em relação ao tamanho do país (THEODORO, 2011). Nesse contexto, em 1550, o Brasil se tornara o maior produtor mundial de açúcar; porém, como praticamente todo o lucro obtido com a cultura em questão era destinado à Metrópole e aos exagerados luxos supérfluos da coroa, tornava-se inevitável a possibilidade de esgotamento futuro de tal fonte financeira.

Na década de 1970, em decorrência de uma crise mundial do petróleo e considerando o cenário de forte dependência do país pela importação de tal recurso, o governo Geisel lançou o programa Proálcool – Programa Nacional do Álcool- no Brasil baseando-se, inicialmente, na produção de álcool anidro para mistura junto à gasolina como uma estratégia para reduzir o consumo desta. Criado pelo decreto nº 76.593/75, com o objetivo de viabilizar o etanol como combustível carburante e estimular sua produção para atender às necessidades do mercado interno e externo e à política de combustíveis automotivos, o programa fomentava a fabricação de veículos movidos

exclusivamente a álcool extraído da cana-de-açúcar (RODRIGUES, 2010). Tal medida foi tomada, segundo Carvalho et al. (2013), em virtude do aumento do preço do barril de petróleo, da possibilidade de esgotamento deste e do início do processo de elucidação mundial da necessidade de utilização de novas fontes de energia, limpas e renováveis.

O Brasil, atualmente, é o maior produtor de cana-de-açúcar, seguido pela Índia, Tailândia e Austrália, detendo em média, 40% do comércio internacional e deve ampliar essa participação com a reforma do regime do açúcar na União Europeia (HAMERSKI, 2009). Segundo Rodrigues (2010), a agroindústria canavieira nacional é tecnicamente qualificada e com os menores custos de produção do mundo, além de contar com bom potencial para aumento da produção.

#### **4.2. Cana-de-açúcar: *Saccharum spp.***

Segundo Magro *et al.* (2011), a cana-de-açúcar é uma planta que pertence ao gênero *Saccharum L.* Há pelo menos seis espécies do gênero, sendo a cana-de-açúcar cultivada um híbrido multiespecífico, recebendo a designação *Saccharum spp.* As espécies de cana-de-açúcar são provenientes do sudeste asiático. A planta é a principal matéria-prima para a fabricação do açúcar e álcool (etanol). É uma planta da família Poaceae, representadas pelo milho, sorgo, arroz e muitas outras gramíneas, porém é uma gramínea perene, que perfilha de maneira abundante, na fase inicial do desenvolvimento. Quando se estabelece como cultura, o auto sombreamento induz inibição do perfilhamento e aceleração do colmo principal. O crescimento do colmo em altura continua até a ocorrência de alguma limitação no suprimento de água, ocorrência de baixas temperaturas ou ainda devido ao florescimento.

Ressalta-se que as características varietais definem o número de colmos por planta, a altura e o diâmetro do colmo, o comprimento e a largura das folhas e a arquitetura da parte aérea, sendo a expressão destes caracteres muito influenciados pelo clima, pelo manejo e pelas práticas culturais utilizadas.

Em um cenário mundial de escassez dos principais recursos naturais não renováveis responsáveis pela sustentação da economia global, surge a concepção da necessidade de utilização dos recursos naturais de maneira

mais sustentável, e se inicia um novo interesse mundial no ramo científico: a busca por novas fontes alternativas de energia. A expansão da fronteira agrícola no país é, atualmente, a principal responsável pela geração de toneladas de resíduos por ano nas lavouras, geralmente descartados ou utilizados em processos internos de cogeração de energia. Neste contexto, a cultura agrícola de maior destaque na economia nacional – a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) - gera quantidades significativas, em toneladas/ha/ano, de um resíduo agrícola de alto potencial de aproveitamento econômico: o bagaço.

Caraschi *et al.* (1996) afirma em seu trabalho que o bagaço de cana-de-açúcar é obtido como subproduto nas usinas de açúcar e álcool, podendo ser utilizado para a produção de polpa celulósica, além de outros diferentes produtos químicos. Embora a maior parte seja utilizado como combustível nas próprias destilarias, o excedente é ainda bastante significativo (43 x 10<sup>6</sup> toneladas na safra 94/95) e poderia ser empregado para a fabricação dos mais diversos produtos com maior valor agregado.

Atualmente, observa-se a utilização do bagaço de cana-de-açúcar nos mais diversos setores comerciais do país, sendo este um dos subprodutos mais utilizados como fonte de alimento para os ruminantes (LEME *et al.*, 2003), como matéria-prima auxiliar na fabricação de chapas de partículas (BATTISTELLE *et. al.*, 2009), como fonte energética para alimentação de caldeiras em usinas de açúcar e etanol – processo denominado de cogeração de energia (RODRIGUES, 2010), como fonte de fibra alternativa nas indústrias de papel e celulose e matéria-prima alternativa ao uso de lenha e carvão para a fabricação de briquetes, nos setores de confecção de painéis de madeira, nas indústrias de cosméticos, na produção de compostos de fibrocimento e na confecção de bioplásticos (COSTA; BOCCHI, 2012).

### **4.3. Situação atual do setor de celulose e papel**

Atualmente, o Brasil ocupa a quarta (4<sup>a</sup>) posição no *ranking* mundial de produtores de celulose, sendo responsável pela produção de 13,58 milhões de toneladas de celulose no ano de 2014 (aproximadamente 8,3% maior do que a quantidade produzida no ano de 2013), sendo que desta quantia, 8,8 milhões de toneladas destinam-se à exportação (aproximadamente 64% da produção



total) e 5,13 milhões de toneladas ao consumo aparente. No *ranking* mundial dos produtores de papel, o País ocupa a nona (9ª) posição, sendo responsável pela produção de 8,65 milhões de toneladas de papel (aproximadamente 0,3% menor do que a quantidade produzida no ano de 2013), sendo que desta quantia, 1,08 milhões de toneladas destinam-se à exportação e 8, 18 milhões de toneladas ao consumo aparente. Ressalta-se que o faturamento anual do setor aproxima-se dos 4,65 bilhões de dólares (aproximadamente 4% maior do que a quantidade mensurada no ano de 2013) (BRACELPA, 2014).

Neste contexto, ressalta-se algumas vantagens competitivas internacionais evidentes da indústria brasileira de papel e celulose, sendo as principais delas o baixo custo e a alta produtividade da base florestal plantada devido ao clima, solos favoráveis, disponibilidade de terras e pesquisa genética do eucalipto. O ciclo de corte do eucalipto, no Brasil, leva em média 7 anos contra 10 anos nos países ibéricos e até 70 anos em outras espécies utilizadas. Além disso, no Brasil, ocorrem até 3 cortes sucessivos do mesmo eucalipto, sem a necessidade de replantio (LOPES; CONTADOR, 1998).

No Brasil, as duas principais fontes de madeira utilizadas para a produção de celulose são as florestas plantadas de pinus – conífera de fibra longa, com comprimento médio entre 2 e 5 milímetros - e de eucalipto – folhosa de fibra curta, com 0,5 a 2 milímetros de comprimento -, responsáveis por mais de 98% do volume produzido. A celulose também pode ser obtida de outros tipos de plantas classificadas como “não madeireiras”, como bambu, babaçu, sisal e resíduos agrícolas (bagaço de cana-de-açúcar) (IBÁ - BRACELPA, 2014).

Antigamente, no contexto ambiental, a indústria de celulose e papel era muito criticada em virtude da falta de regulamentação apropriada para os processos de fabricação da celulose e do papel que, por sua vez, geravam rejeitos que eram despejados no ar (gases, cinzas e sais como dióxido de enxofre, compostos de cloro e óxido de azoto), na água e no solo (rejeitos químicos e orgânicos provenientes do cozimento da madeira, do branqueamento da celulose e da fabricação do papel). Atualmente, tais problemáticas sócio ambientais são praticamente inexistentes, em virtude do avanço, consolidação, regulamentação e fiscalização assídua às quais as empresas representantes do setor em questão estão submetidas. Ressalta-se

que após a constatação de que o gás de cloro, utilizado no branqueamento da celulose, produzia compostos cancerígenos, as empresas procuraram investir em processos de fabricação livre de cloro, como os processos ECF (*Elemental Chlorine Free*) e TCF (*Total Chlorine Free*), além do aumento da participação das fibras recicladas e alternativas no setor – principalmente em países desenvolvidos – a fim de reduzir o lixo gerado nas cidades e a dependência da importação de fibras (LOPES; CONTADOR, 1998).

No trabalho realizado por Soares et al. (2010) afirma-se que a instalação de uma indústria de celulose requer altos investimentos iniciais e, para que estes sejam diluídos os custos por unidade produzida torna-se necessário um nível elevado de produção. Conseqüentemente, as empresas do setor foram obrigadas a formar grandes áreas florestais no seu entorno, para reduzir os custos com o transporte da madeira, pois a madeira de reflorestamento como matéria-prima para as indústrias de base florestal apresentava baixo coeficiente preço sobre peso específico, em razão de ser um produto pesado e de baixo valor comercial, o que fazia com que o valor de uma carga de caminhão dessa matéria-prima de produção fosse baixo, próximo ao seu custo de transporte (VALVERDE *et al.*, 2005).

Visando uma solução alternativa para utilização do subproduto excedente dos canaviais e para o atendimento da crescente demanda social por fontes de fibras alternativas, crescentes estudos vêm sendo realizados no âmbito de análise da viabilidade do uso de diversas fontes de fibras vegetais aplicáveis à tal finalidade. SILVA *et. al.* (2009, citado por DIAS, 2011) afirmam que, atualmente, o bagaço de cana é uma das matérias primas mais explorada pela técnica de polpação ou deslignificação de fibras vegetais para comercialização da celulose aos mais diversos setores de fins específicos como, por exemplo, aditivo ou suplemento alimentar a ração animal, para fabricação de embalagens, papel e papelão ondulado, também como materiais adsorventes em processos de tratamento de efluentes ou mesmo como pré-tratamento dos processos de fabricação do etanol de segunda geração.

#### 4.4. Fabricação do Papel Artesanal

GATTI (2007, citado por LACERDA, 2009) acredita que, independente da verdadeira história, os primeiros papéis foram produzidos pelos chineses a partir de fibras vegetais de amoreira (*Boehmeria nivea*), cânhamo (*Cannabis sativa* L.) e redes de pesca que eram tramadas a partir de fibras vegetais diversas como, por exemplo, o bambu (*Bambusa vulgaris*).

Segundo D’Almeida (1988, citado por LACERDA, 2009), o processo de produção artesanal do papel iniciava-se com o cozimento demorado das fibras que eram, em seguida, batidas e trituradas. Obtinha-se uma pasta que era então depurada, e a folha se formava sobre uma peneira feita de juncos delgados unidos entre si por seda ou crina, que era colocada sobre uma armação de madeira. Sobre o molde, obtinha-se então a folha formada por fibras. Procedia-se à secagem da folha, comprimindo-a sobre a placa de material poroso ou deixando-a no ar. Ressalta-se que, no Brasil, apesar de toda a industrialização e todos os avanços, o papel artesanal surge na segunda metade do século XX, sendo produzido em pequena escala, apenas para fins artísticos.

Segundo OLIVEIRA (2007, citado por GARCEZ, 2010), fazer papel artesanal é um procedimento que se altera de acordo com cada pessoa e seu ponto de vista. É uma sabedoria popular que sofreu influências por todos os caminhos que percorreu, porém sua essência é a mesma.

O processo de reciclagem de papel é uma prática que gera uma série de vantagens econômicas, ecológicas e sociais para o ser humano (SPANGENBERG, 1993; ANDRADE & BARBOSA, 1997, citado por ANDRADE *et.al.*, 2001). No Brasil, além da reciclagem do papel utilizado, outros refugos fibrosos também podem ser utilizados para a produção de papel ou, simplesmente, para melhorar a qualidade do papel reciclado (RECICLOTECA, 1998, citado por ANDRADE *et.al.*, 2001). Para KOGA (1988, citado por ANDRADE *et.al.*, 2001), dentre estas matérias-primas destacam-se, com um grande potencial de utilização, o bambu (*Dendrocalamus giganteus*) e o bagaço residual da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). É provável que as fibras destes vegetais possam melhorar as propriedades físicas e mecânicas do papel reciclado, aumentando sobremaneira a sua resistência e melhorando

significativamente a sua textura e as suas características ópticas. Há de considerar-se, também, a grande disponibilidade das referidas matérias-primas vegetais no Brasil (ANDRADE *et.al.*, 2001).

## **5. METODOLOGIA**

Para o desenvolvimento da pesquisa utilizou-se a infra estrutura física e os recursos humanos do Laboratório de Materiais Expressivos – LEME - da Universidade de Brasília, do Laboratório de Anatomia da Madeira e do laboratório de Química da Madeira – IBAMA/DF.

### **5.1. Etapa 1. Obtenção de fibras**

(i) *Origem do Material:*

Para a realização do presente trabalho foram utilizados resíduos de bagaço de *Saccharum* spp., representante da família das Poaceae, do genótipo RB 86-7515, com aproximadamente 18 meses de idade – sendo esta a terceira rebrota do plantio original local. O material foi obtido de plantios localizados no interior da Fazenda Água Limpa (FAL/UNB), situada na região do Distrito Federal. As análises laboratoriais referentes ao material submetido a estudo foram realizadas nas dependências do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente – IBAMA/DF -, nos setores referentes à tecnologias aplicadas às ciências florestais.

(ii) *Coleta e Amostragem:*

Para o estudo em questão, foram coletados dezesseis (16) colmos de *Saccharum* spp. de estado fitossanitário visualmente normal. Em seguida, o material foi submetido a processamento e secagem ao ar livre, sendo postumamente separados cinco (5) kg deste para as análises propostas no presente estudo. Posteriormente, o material foi submetido à separação manual entre colmo interno (*Ci*) e colmo externo (*Ce*), tendo sido este processo realizado junto à critérios de avaliação visual que tinham por finalidade a remoção de impurezas macroscópicas. Por fim, após a separação entre o

bagaço pertencente ao colmo interno e o pertencente ao colmo externo da cana-de-açúcar, homogeneizou-se individualmente as partes do material e selecionou-se um (1) kg de cada para armazenamento em sacos de polietileno, sendo estes encaminhados aos Laboratórios de análises anatômicas e químicas do IBAMA, respectivamente.

(iii) *Individualização das Fibras:*

Para iniciação da etapa de caracterização morfológica das fibras foram selecionadas duzentos (200) gramas de cada parte da cana-de-açúcar (colmo interno e colmo externo), e destes, foram selecionadas cinco (5) subamostras de dez (10) gramas cada. Em seguida, as subamostras foram submetidas, individualmente, à maceração utilizando uma solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio (1:1) à estufa em 60° C por um período de, aproximadamente, 24 horas – necessárias à ocorrência da individualização das fibras. Ressalta-se que tal etapa foi realizada nas dependências do Laboratório de Anatomia da Madeira – IBAMA/DF.

**5.2. Etapa 2. Análise das fibras, do processo de obtenção da polpa e seus resíduos.**

*5.2.1. Análise das características morfológicas das fibras*

Após a individualização das fibras, confeccionou-se cinco (5) lâminas histológicas com as fibras individualizadas referentes ao colmo interno, e o mesmo se fez para as fibras individualizadas referentes ao colmo externo, totalizando dez (10) lâminas histológicas. Ressalta-se que para a confecção das lâminas, as fibras individualizadas foram submetidas à coloração com safranina diluída e espalhadas sobre a superfície das lâminas com o auxílio de uma seringa, visando uma mensuração microscópica de melhor qualidade.

Para cada lâmina confeccionada, mensurou-se cinco (5) dimensões de comprimentos (C), larguras (L), espessuras das paredes (E) e diâmetros do lúmen (DL), totalizando 50 medições para cada uma das dimensões avaliadas.

Para fins de cálculo, realizou-se uma média aritmética das 50 medições efetuadas para cada dimensão e, através dos valores obtidos, efetuou-se o cômputo das seguintes relações.

(i) *Fração Parede (FP)*: Razão percentual entre o dobro da espessura da parede celular (E) da fibra e sua largura (L).

$$FP = \frac{2 * E}{L} * 100$$

(ii) *Coefficiente de Flexibilidade (CF)*: Razão percentual entre o diâmetro do lume (DL) e a largura da fibra (L).

$$CF = \frac{D * L}{L} * 100$$

(iii) *Índice de Runkel (IR)*: Razão entre o dobro da espessura da parede celular (E) e o diâmetro do lume (DL).

$$IR = \frac{2 * E}{D * L}$$

Ressalta-se que o tipo de análise estatística utilizada para avaliação e correlação dos dados obtidos no presente trabalho foi descritiva (como observado na composição dos dados tabelados apresentadas nos resultados obtidos); sendo que as etapas citadas acima foram realizadas nas dependências do Laboratório de Anatomia da Madeira – IBAMA/DF

### 5.2.2. *Análise da Composição Química das Fibras*

Para realização das análises de caracterização química do material submetido a estudo, utilizou-se a metodologia descrita pela Technical Association of Pulp and Paper Industry – TAPPI; ressaltando que as mesmas foram realizadas em duplicatas, conforme as normas.

Os parâmetros avaliados quimicamente foram: teor de extrativos totais (TAPPI 204 om-88), teor de lignina (TAPPI T222 om-88) e teor de holocelulose (TAPPI T19 om-54).

### 5.2.3. Obtenção da Polpa Celulósica

Para obtenção da concentração adequada da solução para o cozimento do colmo interno, realizou-se o cozimento prévio de três (3) amostras de duzentos gramas (200g) do material com as quantidades de dezesseis gramas (16 g - amostra I), vinte gramas (20 g - amostra II) e vinte e quatro gramas (24 g - amostra III) de soda cáustica (NaOH), diluídas em oito (8) litros de água, à temperatura ambiente de 25°C, em três (3) panelas de aço inox distintas, com capacidade para vinte (20) litros, como pode-se observar na Tabela 1. O cozimento das amostras durou cerca de três (3) horas.

Após o cozimento, o material foi submetido à filtragem em um coador de nylon e póstuma lavagem em água corrente, seguida de avaliação físico-visual do grau de separação das fibras. O cozimento do restante do colmo interno (551 g) foi realizado utilizando-se as mesmas proporções testadas no cozimento da amostra III (22,4 lt de água e 66 g de NaOH, com duração de 3 horas, em uma panela aço inox com capacidade de 50 lt), como mostra a Figura 1.

**Figura 1.** Cozimento alcalino do colmo interno de *Saccharum spp.*

**Figure 1 - Alkaline cooking of the internal stem of *Saccharum spp.***



**Tabela 1.** Testes das concentrações de solução alcalina de cozimento mais adequada para separação das fibras do colmo interno de *Saccharum spp.*

**Table 1 - Testing of the suitable cooking alkaline solutions for separating the fibers of the internal steam *Saccharum spp.***

<b>COZIMENTO ALCALINO – COLMO INTERNO</b>				
	<b>Quantidade de material (g)</b>	<b>Quantidade de água (L)</b>	<b>Quantidade de NaOH (g)</b>	<b>Tempo de cozimento (Hr)</b>
<b>AMOSTRA I</b>	200	8	16	3
<b>AMOSTRA II</b>	200	8	20	3
<b>AMOSTRA III</b>	200	8	24	3

Após o cozimento com a concentração alcalina adequada, as fibras do colmo interno foram submetidas ao processo de filtragem em um coador de nylon, seguido de lavagem destas em água corrente e póstuma trituração em um liquidificador industrial de vinte e cinco (25) litros de capacidade, com a adição de cinco (5) litros de água. O processo de trituração facilitou na desagregação das fibras parcialmente desassociadas, formando uma solução fibrosa mais adequada ao processo de manufatura artesanal do papel; este teve duração aproximada de cinco (5) minutos.

A manufatura iniciou-se com a deposição parcial de um (1) litro da solução fibrosa em uma bacia de plástico, de formato quadrado, com capacidade para quinze (15) litros, contendo oito (8) litros de água. Nesta bacia, inseriu-se a tela de retenção das fibras por alguns segundos, seguindo da retirada de tal tela com cautela, a fim de não interferir sobre a deposição das fibras sobre a mesma. Tais etapas encontram-se evidenciadas na Figura 2.



**Figura 2.** Etapas do processo de manufatura das malhas reticuladas oriundas de fibras de cana-de-açúcar, com diversas proporções de solução fibrosa por litro de solução aquosa.

**Figure 2** - Stages of the manufacturing process of the crosslinked meshes arising from sugar cane fiber, with various proportions of fibrous solution per liter of aqueous solution.



Conseqüentemente, a malha fibrosa retida na tela foi sobreposta sobre uma folha de papel absorvente, sendo adequadamente identificada com relação à concentração de solução utilizada para sua confecção. Tal procedimento se repetiu consecutivamente, com a adição de duzentos e cinquenta (250) mililitros da solução fibrosa triturada junto à solução da bacia para cada folha de papel produzida, até que se esgotasse totalmente a solução fibrosa triturada, como mostrado na Figura 3.

**Figura 3.** Disposição das malhas reticuladas confeccionadas a partir das fibras de cana-de-açúcar sobre folhas de papéis absorventes, conseqüentemente identificadas quanto à proporção de solução fibrosa por litro de solução aquosa.

**Figure 3 -** Provision of reticulated mesh made from cane sugar on sheets of absorbent paper fibers thus identified as the proportion of fibrous solution per liter of aqueous solution.



Para obtenção da concentração adequada da solução para o cozimento do colmo externo, repetiu-se o processo de cozimento prévio das três (3) amostras de duzentos gramas (200g) do material, porém com quantidades diferentes de soda cáustica (NaOH), sendo estas o dobro das utilizadas no cozimento do colmo interno (32 gramas na amostra I.B, 40 gramas na amostra II.B e 48 gramas de NaOH na amostra III.B, respectivamente), diluídas em oito (8) litros de água, à temperatura ambiente de 25°C, em três (3) panelas de aço inox distintas, com capacidade para vinte (20) litros. O cozimento das amostras durou cerca de três (3) horas. A quantidade de soda cáustica utilizada foi dobrada em virtude da natureza distinta do material submetido a cozimento, considerando que o colmo externo possui maior resistência mecânica à dissociação das fibras em relação ao colmo interno, como evidenciado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Testes das concentrações alcalinas de cozimento mais adequadas para separação das fibras do colmo externo de *Saccharum spp.*

**Table 2 - Testing of the suitable cooking alkaline solutions for separating the fibers of the external thatched *Saccharum spp.***

<b>COZIMENTO ALCALINO – COLMO EXTERNO</b>				
	<b>Quantidade de material (g)</b>	<b>Quantidade de água (L)</b>	<b>Quantidade de NaOH (g)</b>	<b>Tempo de Cozimento (Hrs)</b>
<b>AMOSTRA I</b>	200	8	32	3
<b>AMOSTRA II</b>	200	8	40	3
<b>AMOSTRA III</b>	200	8	48	3

O processo de manufatura artesanal do papel a partir das fibras do colmo externo ocorreu de acordo com a mesma metodologia descrita anteriormente para a confecção de papel a partir das fibras do colmo interno; exceto pelo tempo de trituração das fibras no liquidificador artesanal (que, para as fibras do colmo externo, durou aproximadamente, 15 minutos). Ressalta-se que após a disposição das malhas fibrosas sobre os papéis absorventes – tanto para as folhas das fibras do colmo interno quanto do colmo externo -, estes foram submetidos à secagem ao ar livre por, aproximadamente, 72 horas (3 dias).

## **6. RESULTADOS E DICUSSÕES**

### **6.1. Dimensões das Fibras**

A Tabela 3 contempla os valores totais, médios, desvios padrões e as interações dimensionais referentes aos valores mensurados em cada uma das dimensões de interesse das fibras de *Saccharum spp.*, explicando o possível comportamento ou qualidade esperada da polpa a ser produzida com as fibras.

**Tabela 3.** Valores totais, médios, desvios padrões e interações dimensionais de fibras de bagaço de *Saccharum* spp.

**Table 3 - Total mean values, standard deviations and dimensional interactions of bagasse fibers *Saccharum* spp.**

<b>COLMO EXTERNO</b>				
	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>Comprimento (mm)</b>	2,830	1,139	1,689	0,375
<b>Largura (µm)</b>	40	14,51	26,83	6,92
<b>Espessura da Parede (µm)</b>	15	3,75	6,29	2,22
<b>Diâmetro do Lume (µm)</b>	25,29	6,42	14,24	5,98
<b>Fração Parede (%)</b>	-	-	46,92	-
<b>Coefficiente de Flexibilidade (%)</b>	-	-	53,08	-
<b>Índice de Runkel (%)</b>	-	-	0,03	-
<b>COLMO INTERNO</b>				
	<b>Máximo</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
<b>Comprimento (mm)</b>	1,634	0,920	1,20	0,21
<b>Largura (µm)</b>	26,39	10,93	19,92	3,57
<b>Espessura da Parede (µm)</b>	7,87	2,32	4,41	1,65
<b>Diâmetro do Lume (µm)</b>	19,5	4,59	11,10	3,75
<b>Fração Parede (%)</b>	-	-	44,25	-
<b>Coefficiente de Flexibilidade (%)</b>	-	-	55,72	-
<b>Índice de Runkel (%)</b>	-	-	0,04	-

Os valores médios encontrados para as fibras da cana-de-açúcar, tanto para as constituintes do *Ce* quanto para as constituintes do *Ci*, foram significativamente superiores à média das mensurações de comprimentos de fibras de eucalipto encontradas por Oliveira *et. al.* (2012) (aproximadamente, 73% e 24% maiores, respectivamente); ressalta-se que o mesmo efeito pôde ser observado nos dados referentes aos diâmetros dos lumes das fibras mensuradas. Neste contexto, torna-se possível especular acerca da viabilidade das fibras de *Saccharum* spp. para a confecção de papéis que demandem maior resistência à tração, rasgo e arrebatamento – sendo que estes, por sua vez, optam por matérias-primas fibrosas de comprimentos e diâmetros do lume mais avantajados devido à associação direta existente entre tais parâmetros e a resistência da celulose.

Os valores médios obtidos referentes às espessuras das paredes celulares das fibras de cana-de-açúcar foram aproximados dos valores médios referente à mesma dimensão nas espécies de híbridas de *E.urograndis* estudadas por Costa (2011) (que mensurou, aproximadamente, um valor médio de 4,4  $\mu\text{m}$ ); para as demais dimensões e interações dimensionais mensuradas, o comportamento de proximidade entre os valores mensurados também pode ser notado. Segundo a classificação dos valores referentes ao índice de Runkel, explicitada por Runkel *apud* Paula (1999, citado por COSTA, 2011), os valores de 0,03% e 0,04% classificam as fibras de *Saccharum* spp. como excelentes para a produção de papel, aumentando a hipótese confiabilidade de recomendação das mesmas para tal finalidade.

Os coeficientes de flexibilidade mensurados apresentaram-se em valores percentuais relativamente interessantes (acima de 50%), indicando que as fibras da matéria-prima estudada são flexíveis e, conseqüentemente, são capazes de realizar maiores quantidades de interações físico-químicas entre si, afetando positivamente a resistência do papel produzido a partir destas. Por fim, a Fração parede é uma interação dimensional de significativa importância, visto que valores altos para esta revelam o aumento da probabilidade de produção de papéis volumosos e com menores taxas de resistências (MENEGAZZO, 2012); no presente trabalho, os valores referentes à interação em questão ficaram entre 43% e 47%, que estão abaixo dos valores

encontrado para as fibras de *Eucalyptus sp.* na literatura correspondente (em média, variam entre 45% e 55%).

## 6.2. Composição Química

A Tabela 4 apresenta a composição química do material estudado no presente estudo.

**Tabela 4.** Composição Química do bagaço de *Saccharum spp.* estudado.

**Table 4 - Chemical Composition of bagasse *Saccharum spp.* studied.**

<b>COLMO EXTERNO</b>					
	<b>Extrativos Totais (%)</b>	<b>Lignina Insolúvel (%)</b>	<b>Lignina Solúvel (%)</b>	<b>Lignina Total (%)</b>	<b>Holocelulose (%)</b>
<b>Total</b>	4,16	60,48	5,29	65,77	30,07
<b>Média</b>	1,39	20,16	1,76	21,92	76,69
<b>Desvio Padrão</b>	0,04	0,09	0,03	0,13	0,04
<b>COLMO INTERNO</b>					
	<b>Extrativos Totais (%)</b>	<b>Lignina Insolúvel (%)</b>	<b>Lignina Solúvel (%)</b>	<b>Lignina Total (%)</b>	<b>Holocelulose (%)</b>
<b>Total</b>	4,56	50,21	6,78	56,99	38,45
<b>Média</b>	1,52	16,74	2,26	19,00	79,48
<b>Desvio Padrão</b>	0,09	0,06	0,14	0,19	0,09

Como evidenciado na tabela acima, os valores referentes ao percentual de lignina total constituinte do bagaço oscilaram no intervalo entre 19 % a 22%, indicando uma matéria-prima de baixo teor percentual relativo de lignina quando comparada à coníferas, em geral. Tal comparação pode ser estabelecida com base no que se ressalta no trabalho realizado por Moraes *et. al.* (2005), que apontam os valores médios percentuais de lignina total de  $28 \pm 3\%$  para madeiras de coníferas, de  $20 \pm 4\%$  para madeiras de folhosas e de  $11 \pm 3\%$  para gramíneas.

Os valores médios percentuais referentes aos teores de extrativos presentes no bagaço de *Saccharum* spp. oscilaram entre 1,3% e 1,6%, representando uma possível vantagem na utilização da matéria-prima em questão para a produção de celulose pois, segundo Sansígolo (1994, citado por BALLONI, 2009), os extrativos influenciam no consumo de reagentes nos processos químicos de utilização da madeira e na permeabilidade, além de serem compostos indesejáveis no processo de polpação, uma vez que os mesmos podem consumir reagentes químicos e provocar incrustações (pitch) em tubulações e também causar problemas de absorção de lignina e de cargas durante o processo de fabricação do papel (Smook, 1997; citado por BALLONI, 2009). Os valores obtidos no presente estudos aproximam-se dos valores médios percentuais referentes ao teor de extrativos totais de madeira de folhosas, que giram em torno de 2 a 3%, enquanto que para madeira de coníferas, esses valores podem atingir até 10% (ALBINO et al., 2010).

Por fim, os valores médios percentuais referentes ao teor de holocelulose do material oscilaram entre 75 e 80%, apresentando-se relativamente superiores aos mesmos valores referentes a madeiras de Eucaliptos estudadas por Costa (2011), que se apresentaram em torno de 62% a 68%; indicando uma matéria-prima de rendimento de polpa final possivelmente acentuado. Ressalta-se que a metodologia utilizada para o cômputo do teor de celulose no presente trabalho baseou-se na subtração de teores de lignina e extrativos totais.

### **6.3. Polpação**

#### **6.3.1. Solução alcalina para o Cozimento**

Após a etapa de cozimento alcalino das fibras seguida de lavagem das mesmas em água corrente, realizou-se uma análise físico-visual do grau de separação destas, tanto para as constituintes do colmo interno quanto para as do colmo externo. Das soluções alcalinas testadas, obteve-se os melhores resultados de desagregação das fibras ao realizar-se o cozimento com a Amostra III, em ambos os casos, como podemos observar na Tabela 5.

**Tabela 5.** Análise das concentrações de solução alcalina de cozimento mais adequada para separação das fibras do colmo interno de *Saccharum* spp.

**Table 5.** Analysis of alkali concentrations of most appropriate cooking to separate the fibers of the internal thatched *Saccharum* spp.

<b>ANÁLISE FÍSICO VISUAL DO GRAU DE SEPARAÇÃO DAS FIBRAS</b>		
	<b><i>Colmo Interno</i></b>	<b><i>Colmo Externo</i></b>
<b>AMOSTRA I</b>	Fibras muito associadas	Fibras muito associadas
<b>AMOSTRA II</b>	Fibras com associação mediana	Fibras parcialmente associadas
<b>AMOSTRA III</b>	Fibras parcialmente desassociadas	Fibras parcialmente desassociadas

A etapa de cozimento alcalino das fibras com soda cáustica (NaOH) tem por finalidade dissociar a junção de fibras que compõem a matéria prima vegetal estudada, afim de proporcionar uma melhor disposição e reorganização destas estruturas em uma malha fibrosa gerada no processo de confecção de folhas recicladas. Os testes realizados com diferentes proporções de solução alcalina para o cozimento de *Saccharum* spp., evidenciaram que tal procedimento, na confecção do papel artesanal caseiro, torna-se mais factível com a utilização de concentrações de soda cáustica (NaOH) relativamente altas – principalmente para o cozimento do colmo externo, que necessita de proporções 1:0,25 de matéria-prima e quantidade de soda cáustica utilizada, respectivamente.

Nesse contexto, especula-se que a fabricação de papel artesanal com as fibras constituintes do bagaço da cana-de-açúcar seja uma boa fonte alternativa de geração de renda para o pequeno produtor, visto que tal processo aparenta-se economicamente exequível para quantidades limitadas do subproduto em questão. Porém, a nível industrial, especula-se que a produção de celulose e papel a partir das fibras de *Saccharum* spp. não seja economicamente interessante em função da considerável quantidade de soda cáustica (NaOH) necessária ao cozimento alcalino de grandes quantidades de bagaço. Ressalta-se ainda que as tais considerações são de caráter essencialmente especulativo, sendo necessários testes laboratoriais físicos e

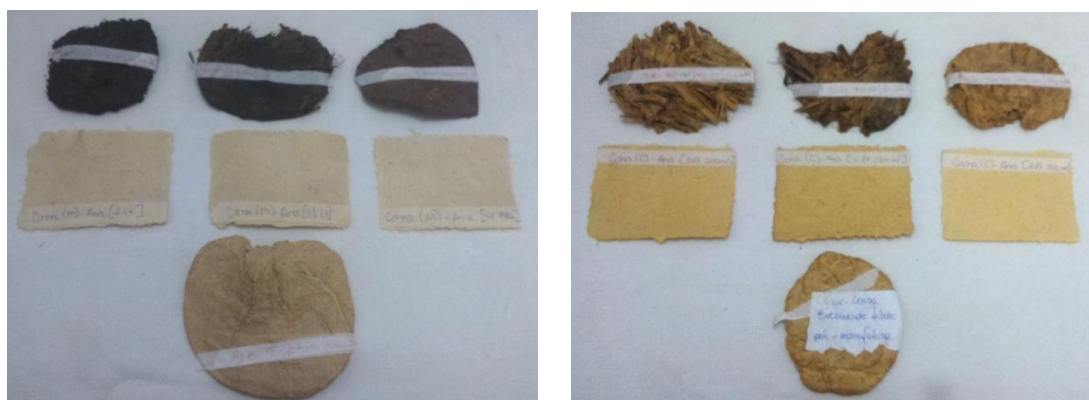


mecânicos com o papel produzido (como testes de resistência à tração, ao rasgo e arrebatamento, por exemplo) a fim de se obter resultados mais concretos acerca das propriedades específicas do produto final manufaturado.

Segundo uma análise visual póstuma do papel reciclado produzido, infere-se que o mesmo apresentou-se de cor escassamente amarelada – tanto para o papel oriundo das fibras do colmo externo quanto do colmo interno -, com textura parcialmente áspera e interações físico-químicas aparentemente efetivas entre as fibras dispostas sobre a malha reticulada, como podemos observar na Figura 4.

**Figura 4** – Aglomerado de fibras resultantes dos testes de cozimento alcalino, malha reticulada gerada no processo de manufatura do papel e aglomerado residual pós manufatura das fibras do colmo interno (esquerda) e das fibras do colmo interno (direita), respectivamente.

**Figure 4** - Cluster of fibers resulting from the alkaline cooking tests, reticulated mesh generated in the manufacturing waste paper and agglomerate after manufacture of the fibers of the inner stem (left) and the fibers of the inner stem (right) , respectively process.



## 7. CONCLUSÕES

- A relativa superioridade dos valores médios referentes aos comprimentos e diâmetros dos lumes das fibras de *Saccharum* spp. quando comparados aos valores médios referentes às fibras de *Eucalyptus* sp. evidenciam a viabilidade de utilização da matéria-prima

em questão para confecção de papéis que demandem maiores resistências ao rasgo, tração e arrebentamento.

- Os valores relativos ao índice de Runkel classificam as fibras de *Saccharum* spp. como excelentes para a produção de papel, aumentando a hipótese confiabilidade de recomendação das mesmas para tal finalidade.
- Os coeficientes de flexibilidades mensurados indicam que as fibras classificam-se como flexíveis e, conseqüentemente, são capazes de realizar maiores quantidades de interações físico-químicas entre si, afetando positivamente a resistência do papel produzido a partir destas.
- O parâmetro estatístico Fração Parede apresentou valores relativamente próximos aos encontrados nas fibras de *Eucalyptus* sp., indicando a baixa probabilidade de produção de papéis volumosos e altas taxas de resistências, em geral.
- As fibras de *Saccharum* spp. apresentam baixos valores percentuais referentes à lignina e extrativos totais, indicando uma matéria-prima que não apresentará maiores problemas relacionados ao consumo excessivo de reagentes no processo de polpação devido à existências relativamente insignificativa desses constituintes químicos indesejáveis.
- Os valores percentuais referentes ao teor de holocelulose apresentaram-se relativamente superiores quando comparados aos mesmos valores referentes às fibras de *Eucalyptus* sp, indicando uma matéria prima de rendimento de polpa final potencialmente acentuado.
- A manufatura de papel artesanal com as fibras constituintes do bagaço da cana-de-açúcar evidencia-se como uma possível fonte alternativa de geração de renda para o pequeno produtor, visto que tal processo aparenta-se economicamente exequível para quantidades limitadas do subproduto em questão.
- O papel reciclado confeccionado apresentou cor escassamente amarelada – tanto para o papel oriundo das fibras do colmo externo quanto do colmo interno -, com textura parcialmente áspera e interações físico-químicas aparentemente efetivas entre as fibras dispostas sobre a malha reticulada.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBINO, V. C. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. **INFLUÊNCIAS DAS CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E DO TEOR DE EXTRATIVOS TOTAIS DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden NA QUALIDADE DA COLAGEM.** *Revista Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 803-811, out./dez. 2010.

ALENCAR, M. M. M. **Reciclagem de lixo numa escola pública do município de Salvador.** *Revista Virtual Candombá*, v. 1, n. 2, p. 96 – 113, jul – dez 2005.

ANDRADE, A. M. de; DUARTE, A. P. C.; BELGACEM, M. N.; MUNARO, E. R. **PRODUÇÃO DE PAPÉIS ARTESANAIS DAS MISTURAS DE APARAS COM FIBRAS VIRGENS DE BAMBU (*Dendrocalamus giganteus*) E DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum*).** *Revista Floresta e Ambiente*. V. 08, n. 0, p. 143-152, jan./dez/ 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – **BRACELPA**. Disponível em:< <http://www.bracelpa.org.br>>. Acesso em: 25 abr. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – **BRACELPA**. **RELATÓRIO DE SUSTENTABILIDADE 2010.** Disponível em:< [http://bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/public/relsustenta/Bracelpa\\_PDF\\_Navegavel\\_PORT\\_Final.pdf](http://bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/public/relsustenta/Bracelpa_PDF_Navegavel_PORT_Final.pdf)>. Acesso em: 05 out. 2014.

AZZINI, A.; JÚNIOR, R. B.; ARRUDA, M. C. Q. **Características Tecnológicas dos caules de juta visando a produção de pastas celulósicas para papel.** *Bragantia*, Campinas, São Paulo, p. 249 – 255, 1986.

AZZINI, A.; SALGADO, A. L. B; JÚNIOR, R. B.; COSTA, A. A. **Caracterização tecnológica de espécies liberianas para o estabelecimento de métodos de análise quantitativa de fibras.** *Bragantia*, Campinas, São Paulo, p. 27 – 32, 1993.

BALLONI, C. J. V. **CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DA MADEIRA DE *Pinus elliottii***. 2009. 1-42 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação no curso de Engenharia Industrial Madeireira) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus Experimental de Itapeva.

BATTISTELLE, R. A. G.; MARCILIO, C.; LAHR, F. A. R. **EMPREGO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum officinarum*) E DAS FOLHAS CAULINARES DO BAMBU DA ESPÉCIE *Dendrocalamus giganteus* NA PRODUÇÃO DE CHAPAS DE PARTÍCULAS**. *Revista Pesquisa e Tecnologia Minerva*, v. 5, n. 3, p. 297-305, 2009.

CARASCHI, J. C.; FILHO, S. P. C.; CURVELO, A. A. S. **PREPARAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE POLPAS PARA DISSOLUÇÃO OBTIDAS A PARTIR DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR**. *Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia*, Instituto de Química de São Carlos – USP, p. 24-29, jul./set. 1996.

CARVALHO, L. C.; BUENO, R. C. O. de F.; CARVALHO, M. M.; FAVORETO, A. L.; GODOY, A. F. **CANA-DE-AÇÚCAR E ÁLCOOL COMBUSTÍVEL: HISTÓRICO, SUSTENTABILIDADE E SEGURANÇA ENERGÉTICA**. *Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 530, mai./jul. 2013.

COSTA, J. A. **QUALIDADE DA MADEIRA DE *Eucalyptus urograndis* , PLANTADO NO DISTRITO FEDERAL, PARA PRDOUÇÃO DE CELULOSE KRAFT**. 2011, 1-86 p. Dissertação (Mestrado no curso de Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

COSTA, W. L. C. da; BOCCHI, M. L. M. **APLICAÇÕES DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZADAS NA ATUALIDADE**. *Revista Ciência & Tecnologia*, Jaboticabal, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 1-13, 2012.

DIAS, B. P. **BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR: MATÉRIA PRIMA PARA FABRICAÇÃO DE MATERIAIS BIODEGRADÁVEIS**. 2011. 1-67 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação no curso de Tecnologia em Biocombustíveis) – Faculdade de Tecnologia de Araçatuba, São Paulo.

GARCEZ, L. R. O. **REAPROVEITAMENTO CELULÓSICO DO PAPEL MOEDA RETIRADO DE CIRCULAÇÃO.** Ago. 2010, 46 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação no curso de Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília.

GATTI, T. H. **Do berço ao berço: agregação de valor e de desempenho socioambiental para a produção de papéis especiais com resíduos da agricultura.** Brasília, 2008, 190 p. Tese de Doutorado. Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília.

HAMERSKI, F. **ESTUDO DE VARIÁVEIS NO PROCESSO DE CARBONATAÇÃO DO CALDO DE CANA-DE-AÇÚCAR.** 2009. 149 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

**IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES.** *Nossos Produtos: Celulose.* Disponível em:< <http://www.bracelpa.org.br/web/pt/nossos-produtos/celulose.htm>>. Acessado em: 20 de maio de 2014, as 14:20 horas.

JÚNIOR, A. C. T.; OLIVEIRA, R. A. de; PARK, K. J. **UTILIZAÇÃO DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR NA FABRICAÇÃO DE BRIQUETES.** Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, São Paulo.

LACERDA, N. O. S. **PRODUÇÃO DE PAPEL ARTESANAL DE FIBRA DE BANANEIRA: UMA PROPOSTA DE ENSINO DE QUÍMICA POR PROJETO.** Brasília, dez. 2009, 253 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – Área de Concentração “Ensino de Química”) – Universidade de Brasília.

LEME, P. R.; SILVA, S. L. e; PEREIRA, A. S. C.; PUTRINO, S. M.; LANNA, D. P. D.; FILHO, J. C. M. N. **UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM DIETAS COM ELEVADA PROPORÇÃO DE CONCENTRADOS PARA NOVILHOS NELORE EM CONFINAMENTO.** *Revista Brasileira de Zootecnia*, Piracicaba, v. 32, n. 6, p. 1786-1791, 2003.

LOPES, C. R. A.; CONTADOR, C. R. **ANÁLISE DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE NO BRASIL.** 1998, 130 p. Tese (Doutorado em Administração e Gestão de Negócios), Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

MAGRO, F. J.; TAKAO, G.; CAMARGO, P. E.; TAKAMATSU, S. Y. **BIOMETRIA EM CANA-DE-AÇÚCAR.** Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 18 p., jun. 2011.

MENEGAZZO, M. L. **CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE CELULOSES BRANQUEADAS DE PINUS E EUCALYPTUS EM ANALISADOR ÓPTICO AUTOMÁTICO DE FIBRAS.** 2012. 1-77 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

NEVES, F. L. **Reciclagem de embalagens cartonadas Tetra Pak.** *Tetra Pak, Monte Mor, Brasil.* Disponível em: <[http://www.esculturasurbanas.com.br/site/downloads/Reciclagem\\_de\\_embalagens\\_cartonadas.pdf](http://www.esculturasurbanas.com.br/site/downloads/Reciclagem_de_embalagens_cartonadas.pdf)>. Acesso em: 25 abr. 2014.

OLIVEIRA, J. G. L de; OLIVEIRA, J. T. da S.; ABAD, J. I. M.; SILVA, A. G. da; FIEDLER, N. C.; VIDAURE, G. B. **PARÂMETROS QUANTITATIVOS DA ANATOMIA DA MADEIRA DE EUCALIPTO QUE CRESCEU EM DIFERENTES LOCAIS.** *Revista Árvore*, Viçosa, Minas Gerais, v. 36, n. 3, p. 559-567, 2012.

RODRIGUES, L. D. **A CANA-DE-AÇÚCAR COMO MATÉRIA-PRIMA PARA A PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS: IMPACTOS AMBIENTAIS E ZONEAMENTO AGROECOLÓGICO COMO FERRAMENTA PARA MITIGAÇÃO.** 2010. 64 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação no curso de Especialização em Análise Ambiental) – Universidade Federal de Juiz de Fora.

SOARES, N. S.; OLIVEIRA, R. J. de; CARVALHO, K. H. A. de; SILVA, M. L. da; JACOVINE, L. A. G.; VALVERDE, S. R. **A CADEIA PRODUTIVA DA**

**CELULOSE E DO PAPEL NO BRASIL.** *Revista Floresta*, Curitiba, Paraná, v. 40, n. 1, p. 1-22, jan./mar. 2010.

SOFFNER, M. L. A. P. **Produção de polpa celulósica a partir do engaço de bananeira.** São Paulo, 2001, 56 p. Dissertação de Mestrado. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Querioz”, Universidade de São Paulo.

THEODORO, A. D. **EXPANSÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR NO BRASIL: OCUPAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL DO CERRADO.** 2011. 62p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação no curso de Tecnologia em Biocombustíveis) - Faculdade de Tecnologia de Araçatuba.

VALVERDE, S. R., SOARES, N. S., SILVA, M. L., JACOVINE, L. A. G., NEIVA, S. A. **O COMPORTAMENTO DO MERCADO DA MADEIRA DE EUCALIPTO NO BRASIL.** *Revista Biomassa e Energia*, v.1, n. 4, p. 393–403, nov./dez. 2004.