

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CARACTERIZAÇÃO DO LINTER RECICLADO DE ALGODÃO:
ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA À PRODUÇÃO DE CELULOSE**

FABRICIO JUNKI BLANCO KUMABE

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp – Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Ciência Florestal.

BOTUCATU - SP

Setembro - 2016

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CARACTERIZAÇÃO DO LINTER RECICLADO DE ALGODÃO:
ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE**

FABRICIO JUNKI BLANCO KUMABE

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Angeli Sansígolo

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp – Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre
em Ciência Florestal.

BOTUCATU - SP

Setembro - 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

K96c Kumabe, Fabricio Junki Blanco, 1990-
Caracterização do linter reciclado de algodão: alternativa sustentável para a produção de celulose / Fabricio Junki Blanco Kumabe. - Botucatu : [s.n.], 2016
vii, 38 f. : fots. color., ils., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2016
Orientador: Cláudio Angeli Sansígolo
Inclui bibliografia

1. Algodão. 2. Indústria de reciclagem. 3. Celulose. 4. Sustentabilidade. I. Sansígolo, Cláudio Angeli. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CARACTERIZAÇÃO DO LINTER RECICLADO DE ALGODÃO:
ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A PRODUÇÃO DE CELULOSE

AUTOR: FABRÍCIO JUNKI BLANCO KUMABE

ORIENTADOR: CLAUDIO ANGELI SANSIGOLO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIÊNCIA FLORESTAL,
pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. CLAUDIO ANGELI SANSIGOLO

Dep de Ciencia Florestal / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP

Prof. Dr. ELIAS TAYLOR DURGANTE SEVERO

Depto de Ciência Florestal / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP

Profa. Dra. CAMILA KISSMANN

Departamento de Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu

Botucatu, 05 de setembro de 2016

A minha família,
dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter permanecido comigo nos momentos difíceis e não ter me deixado fraquejar.

Ao meu pai Edson e a minha irmã Livia, por estarem ao meu lado torcendo pelo meu sucesso. A minha mãe Clarice, por toda a ajuda e apoio e pelo exemplo de esforço e dignidade.

À Universidade Estadual Paulista - UNESP pela oportunidade oferecida para a realização do curso de mestrado. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa e concessão da bolsa.

Ao professor Dr. Claudio Angeli Sansigolo, meu orientador, pelo auxílio, pelos ensinamentos, pela amizade, dedicação e compreensão.

Aos professores, Dra. Camila Kissmann e Dr. Elias Taylor Durgante Severo, pela disponibilidade em participar da banca.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pelo conhecimento transmitido. Aos amigos e colegas, obrigado.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	1
SUMMARY	2
1 INTRODUÇÃO.....	3
2 OBJETIVO	6
2.1 Objetivo específico	6
3 REVISÃO DE LITERATURA	7
3.1 Algodão	7
3.2 Linter de Algodão	8
3.3 Qualidades do Linter	10
3.3.1 Propriedades físicas	10
3.3.2 Propriedades químicas	12
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4.1 Material.....	16
4.2 Métodos	16
4.2.1 Características químicas dos linters.....	17
4.2.2 Determinação das propriedades físicas dos linters	17
4.2.3 Determinação das características anatômicas dos linters	18
4.2.4 Polpação mecânica dos linters.....	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5.1 Caracterizações químicas do linter residual	19
5.2 Características físicas e anatômicas do linter residual.....	24
6 CONCLUSÃO.....	32
7 REFERÊNCIAS	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química de linter de algodão.....	9
Tabela 2. Caracterização da polpa celulósica de linter de algodão.	10
Tabela 3. Resultados médios da composição química dos materiais estudados.	20
Tabela 4. Resultados médios da composição física dos materiais estudados.....	25
Tabela 5. Classificação das fibras do linter residual de algodão em equipamento Bauer McNett.....	26

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Corte transversal da semente de algodão	8
Figura 2. Linter residual alvejado 30, aumento de 1mm.	28
Figura 3. Linter residual alvejado 30, aumento de 2mm.	28
Figura 4. Linter residual alvejado 30, aumento de 500 μ m.	29
Figura 5. Linter residual blue 30, aumento de 1mm.	29
Figura 6. Linter residual blue 30, aumento de 500 μ m.	30
Figura 7. Linter residual blue 40, aumento de 1 mm.	30
Figura 8. Linter residual blue 40, aumento de 500 μ m.	31

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo determinar as propriedades físicas, químicas e anatômicas do linter residual de algodão (linter reciclado Blue 40, Blue 30, e Alvejado 30), oriundo da indústria têxtil. Para a caracterização foram coletadas três amostras, onde se analisou teor de umidade, densidade aparente, teor de holocelulose, extrativos totais, lignina, número kappa e solubilidade em NaOH 1 e 5%, em água quente e água fria, teor de cinzas, e determinação das dimensões das fibras e relações entre as dimensões de fibras, todas as análises procederam de acordo com as normas da TAPPI. Na avaliação física da: umidade, as médias dos tratamentos não apresentaram diferença significativa. Para densidade aparente houve diferença estatística entre os tratamentos Blue 30 e Blue 40. Já a avaliação do teor holocelulose os tratamentos foram diferentes, Blue 40 apresentou a maior média. Para avaliação do teor de extrativos foram encontrados valores de 6,40%, 5,02% e 3,05% para os tratamentos Blue 30, 40 e Alvejado 30, no qual o Blue 30 é estatisticamente diferente do Alvejado 30, e o Blue 40 semelhante a ambos, respectivamente. O teor de lignina do Blue 40 apresentou a menor média, seguido do tratamento Blue 30 e Alvejado. A porcentagem de cinzas no Blue 40 foi superior comparado aos outros tratamentos. Na avaliação da solubilidade em NaOH 1%, os tratamentos Blue 30 e Alvejado 30 apresentaram médias iguais, já o tratamento Blue 40 apresentou resultado inferior. A solubilidade em NaOH 5% os tratamentos Blue 30 e Blue 40 apresentaram médias iguais, diferentes do Alvejado 30. Os valores de solubilidade em água fria foram iguais para o Blue 40 e Alvejado 30 e superiores ao Blue 30. Os valores de solubilidade em água quente foram iguais para Blue 30 e Alvejado 30 e superiores ao Blue 40 (1,84%). Sendo assim conclui-se que a Blue 40 apresentou melhores características química, física e anatômica para produção de celulose.

Palavra-Chave: Sustentabilidade, Algodão, Reciclado, Celulose

CHARACTERIZATION OF LINTER RECYCLED COTTON: SUSTAINABLE ALTERNATIVE FOR THE PULP AND PAPER PRODUCTION. Botucatu, 2016. 38 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FABRICIO JUNKI BLANCO KUMABE

Adviser: CLÁUDIO ANGELI SANSÍGOLO

SUMMARY

This study aimed to determine the physical, chemical and anatomical residual cotton linters (linters Recycled Blue 40, Blue 30, and Targeted 30) from the textile industry. For the characterization Three samples were collected, which were analyzed moisture content, bulk density, holocellulose content, extractives, lignin, kappa number and solubility in NaOH 1 and 5% in hot water and cold water, ash content, and determination of fiber dimensions and relationships between the fiber dimensions, all analyzes conducted according to the standards of TAPPI. In the physical evaluation of: humidity, the treatment means no significant difference. For apparent density was no statistical difference between treatments Blue 30 and Blue 40. Since the assessment of the content holocelulose treatments were different, Blue 40 had the highest average. To evaluate the extractives content were found values of 6.40%, 5.02% and 3.05% for treatments Blue 30, 40 and Targeted 30, wherein Blue 30 is statistically different from Targeted 30, and Blue 40 similarly to both, respectively. The lignin content of the Blue 40 had the lowest average, followed by the treatment Blue 30 and Targeted. The percentage of ash in Blue 40 was higher compared to other treatments. In assessing the solubility of NaOH 1%, treatments Blue 30 and 30 Targeted had equal means, since the treatment Blue 40 showed lower results. The solubility in NaOH 5% and the Blue 30 Blue 40 treatments showed equal means, different Targeted 30. The solubility values were equal in cold water for Targeted Blue 40 and 30 and the upper Blue 30. The water-solubility figures hot were equal to 30 and Blue Targeted 30 and above the Blue 40 (1.84%). Therefore, it is concluded that Blue 40 showed better chemical characteristics, physical and anatomical for pulp production.

Keyword: Linter, Cotton, Recycled, Pulp

1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa posição de destaque global no setor de celulose, onde mantém-se desde 2012 entre os quatro maiores produtores mundiais, e o segundo maior exportador. A razão do alto crescimento da produção de celulose nacional é resultado da elevada competitividade interna, que por sua vez, é oriunda da floresta planta. Além disso, o Brasil apresenta condições edafoclimáticas favoráveis que, combinado a um longo histórico de investimento em pesquisa e desenvolvimento, resultou na elevação da produtividade do Pinus e, principalmente, do Eucalipto brasileiro ao maior patamar mundial (BRACELPA, 2015).

O sucesso do Brasil no mercado global de celulose parece estar limitado ao eucalipto. Toda a exportação brasileira de fibra curta é produto desse gênero florestal, enquanto a produção nacional de celulose de fibra longa, direcionada ao mercado interno, mostra um crescimento bastante limitado. Atualmente, a produção nacional dessa fibra é insuficiente para atender à demanda interna, motivando a busca por fontes alternativas, como, por exemplo, a utilização de não madeira (VIDAL; HORA, 2012).

Apesar de a madeira ser hoje a principal fonte de matéria prima para produção de papel e celulose, outras fontes de fibras vegetais vêm sendo utilizadas como alternativas para a produção de celulose. A produção de polpa celulósica proveniente de fibras de plantas não arbóreas representa entre 5 – 7% do total de polpa produzida no

mundo, e o principal interesse deste tipo de celulose é que ela proporciona excelentes fibras para fabricação de papéis (LÓPEZ et al., 2000). E é nesse contexto que se insere a busca por recursos sustentáveis e economicamente viáveis.

O aproveitamento de resíduos (passivo ambiental) de plantas de características não arbóreas provenientes do setor industrial são potencialmente favoráveis para a produção de polpa além de economicamente viável, pois, consiste em revalorizar o que para o setor teoricamente já não tem mais valor. Em decorrência, vários estudos têm sido realizados testando a qualidade dessas fibras para a produção de celulose, como por exemplo: papéis artesanais com fibras virgens de bambu (*Bambusa vulgaris Schrad. ex J.C. Wendl*) e de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L. Basionônio) (ANDRADE et al., 2001), celulose com fibras vegetais de buriti (*Mauritia vinifera* Martius) (PEREIRA et al., 2003), celulose com fibras da palmeira tucum (*Bactris nundata* Martius) (PEREIRA et al., 2004), fibra de coco verde (*Palma Coco* Mill) para produção de celulose e papel (SENHORAS, 2004), celulose com o caule de mandioca (*Manihot sculenta* Crantz) (AZZINI, et al., 1996), e com o linter derivado do aproveitamento do algodão (*Gossypium* sp.)

É importante ressaltar que desde os primórdios da colonização, monoculturas como o algodão são utilizadas com as mais diversas finalidades em todo o mundo. No Brasil, a cultura do algodão é disseminada por quase todas as regiões do país, é produzido principalmente nos estados de Mato Grosso, Bahia, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Maranhão. Como 5º produtor, atrás da China, Índia, Estado Unido e Paquistão, o País produziu 1.467 milhão de toneladas na safra 2014/2015, sendo o terceiro maior exportador mundial (SNA, 2015).

Na atualidade, praticamente toda a produção de algodão é destinada à indústria têxtil, enquanto que na antiguidade a maior parte do algodão produzido era utilizado, por exemplo, para produção de celulose e papel, por apresentar características químicas favoráveis para esta tecnologia. Por tanto, visando à utilização atual do algodão e as ideias conservacionistas, alternativas de aproveitamento residual da indústria vem à tona, como por exemplo, a utilização de linter reciclado de algodão.

O linter consiste em uma matéria-prima na maioria das vezes descartadas pela indústria, que facilmente pode ser aproveitada para as mais diversas vertentes. Diante da demanda de celulose e papel acredita-se que a busca por

potencialidades sejam necessárias, como por exemplo, resíduos das indústrias, complementando assim na disponibilização e no suprimento da demanda atual.

2. OBJETIVO

O objetivo geral foi estudar as características e propriedades do linter de algodão (linter reciclado blue 40, linter reciclado blue 30, e linter reciclado alvejado 30), obtido como resíduo da indústria têxtil para fabricação de celulose e papel.

2.1. Objetivo específico

- Determinar as características químicas dos linters (teor de holocelulose, extrativos totais, lignina, número kappa e solubilidade em NaOH e água quente, teor de cinzas).
- Avaliar as propriedades físicas dos linters (determinação do teor de umidade, e densidade aparente).
- Analisar as características anatômicas dos linters (classificação em equipamento Bauer McNett, determinação das dimensões das fibras e relações entre as dimensões de fibras).

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Algodão

Segundo Carvalho et al. (2014), o algodão (*Gossypium* sp.) no Brasil é cultivado praticamente em todo o país, a Norte-Nordeste, que compreende os estados de Tocantins, Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Bahia, a região Centro – Oeste, com os estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás e a Sul-Sudeste que compreende os estados de São Paulo, Paraná e Minas Gerais. Em todas essas regiões são utilizados diferentes sistemas de produção, que vão desde pequenas glebas de agricultura familiar até culturas empresariais com alto nível tecnológico.

Desde a revolução industrial o algodão é considerado a cultura mais importante responsável pelo fornecimento de fibras têxteis. A planta possui um aproveitamento quase completo, oferecendo os mais variados produtos de utilidade, além de ser uma excelente matéria-prima para a indústria de papel e celulose, uma vez que suas características químicas, físicas e mecânicas são extremamente favoráveis para esta tecnologia (McGOVERN et al., 1987). No entanto, quase 100% do algodão produzido é destinado a indústria têxtil. Em função disto, os resíduos gerados no processo industrial

surgiram como alternativa para a produção de celulose e papel a partir dos chamados “linters” de algodão.

3.2. Linter de Algodão

Linters de algodão são as fibras curtas deixadas nas sementes, após a retirada das fibras de algodão propriamente ditas (Figura 1). Os linter são classificados anatomicamente como tricomas, do tipo tectores, formados por uma única célula que se projeta para fora da epiderme e apresentam paredes secundárias celulósicas espessadas, no entanto, existem algumas exceções nas quais é possível verificar a presença de lignina (ESAU, 1974). O linter presente nas sementes é escarificado através de serras circulares, que variam de acordo com a profundidade do corte, podendo ser removido com um ou mais cortes. Quando removidos em uma só operação, ocorre o chamado moinho corrido, que é uma mistura de fibras longas e curtas. Quando há a necessidade de mais de uma operação, o primeiro corte remove as fibras mais longas e o segundo corte remove as fibras mais curtas, havendo a separação desses materiais (McGOVERN, 1987).

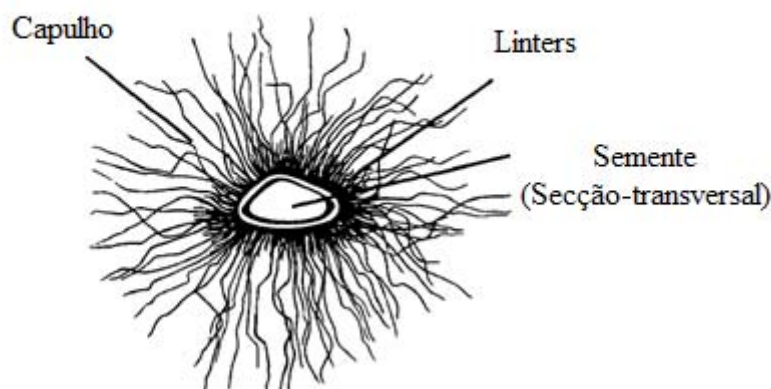


Figura 1. Corte transversal da semente de algodão (*Gossypium* sp.)

Fonte: Kilpnen (1992)

O comprimento de fibra após a operação é de 3 – 7 mm, sendo que no primeiro corte variam de 5 – 7 mm, e no segundo cortes de 3 – 5 mm. Para as fibras

próximas ao tegumento da semente a espessura da parede também aumenta, apresentando variações na relação fibra e lume (McGOVERN, 1987).

A qualidade do linter varia de acordo com as condições de solo e clima, pois, estes fatores podem influenciar diretamente no crescimento da fibra e principalmente nos tamanhos das fibras, o que tornam estes parâmetros relevantes quando se trata da seleção de matéria-prima para as fábricas de celulose (ZHIJUN HU et al., 2005).

Correlacionando a composição química do linter com as propriedades da matéria-prima utilizada na indústria de papel e celulose, é notável as vantagens na utilização deste subproduto. Segundo Sczostak (2009), o linter de algodão apresenta-se positivamente quando analisamos suas propriedades que estão inteiramente relacionadas com a qualidade e ao rendimento de polpa, como por exemplo: alto teor de holocelulose e baixo teor de lignina (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química de linter de algodão.

Componente	(%)
Umidade	6,33 ± 0,06
Cinzas	2,32 ± 0,04
Extrativos	5,59 ± 1,91
Lignina	0,68 ± 0,35
Holocelulose	81,51 ± 4,12
Hemicelulose	4,60 ± 0,60
α – celulose	76,91 ± 7,19

Fonte: Adaptado de Moraes et al. (2013)

Considerando a composição química do linter de algodão (Tabela 1), é possível certificar-se do potencial desta matéria-prima para a indústria de celulose. PaperMart (2012), em estudo com o mesmo tipo de matéria-prima, efetuou-se a caracterização da polpa celulósica (Tabela 2) obtida a partir do processo kraft.

Tabela 2. Caracterização da polpa celulósica de linter de algodão.

Grau de refino (Schöpper Riegler)	30	45	60	75
Comprimento médio das fibras, mm	1,51	1,43	1,24	1,06
Alvura (Elrepho), %	84	83,5	82,3	82,1
Opacidade, %	78,0	79,4	78,4	78,0
Gramatura, g/cm ²	66	65,5	69,3	67,8
Espessura, µm	108	103	97	89
Volume específico aparente, cm ³ /g	1,64	1,57	1,40	1,31
Resistencia a tração	1,86	2,15	2,84	3,14
Comprimento de alta ruptura, Km	2,87	3,34	4,17	4,72
Esticamento, %	2,34	2,71	3,0	2,83
Resistencia a estouro, KPa	121	135	184	202
Índice de estouro, KPa.m ² /g	1030	880	860	730
Índice de rasgo, mN.m ² /g	15,6	13,2	12,4	10,8
Porosidade Gurley, s/100 cm ³	3,21	11,1	90,1	508

Fonte: Adaptado de Papermart (2012).

3.3 Qualidades do Linter

A qualidade da matéria-prima raramente será definida por uma única propriedade. Para os estudos de caracterização de qualidade do material, visando à produção de celulose, adotam-se vários parâmetros, onde se incluem os testes laboratoriais. É notório que não existe uma única propriedade que aperfeiçoe toda a operação da fábrica e a qualidade do produto. Os parâmetros analisados são classificados como físicos, sendo o de maior importância a densidade básica por apresentar fácil determinação em laboratório ou até mesmo em campo e estar diretamente ligada às características do produto final; os químicos, que determinam os teores de holocelulose, lignina e extrativos; e anatômicos, que estuda as porcentagens e dimensões das fibras e as porcentagens de vasos e parênquimas (FOELKEL, 2009; SHIMOYAMA, 1990).

3.3.1 Propriedades físicas

3.3.1.1 Densidade básica

O parâmetro físico mais utilizado na determinação da qualidade é a densidade básica, a qual estabelece relação entre o peso seco do material, em gramas ou

toneladas, e seu volume, respectivamente em centímetros cúbicos ou metros cúbicos, quando saturados em água (FOELKEL et al; 1971). Segundo Foelkel et al. (1990) é de suma importância o conhecimento deste índice, pois, ligada a ele estão outras propriedades que direta ou indiretamente sofrem alteração caso haja variação de tal parâmetro.

A variação da densidade básica ocorre entre espécies e materiais. Estas variações dependem da magnitude dos vasos e das espessuras das paredes celulares das fibras. O aumento da espessura da parede celular das fibras ou o aumento na proporção das fibras em relação à proporção dos vasos acarreta no aumento da densidade. Grandeza inversamente proporcional com o aumento na proporção de vasos e diminuição na espessura da parede celular, resultante na redução da densidade (OLIVEIRA; SILVA, 2003).

Para a indústria de celulose e papel, a conhecimento a respeito da densidade básica pode fornecer informações bastante pontuais ao que tange a impregnação da matéria-prima e o rendimento do processo, a qual está geralmente associada às características de qualidade e de resistências físico-mecânicas da polpa (QUEIROZ et al., 2004). Além disso, a densidade básica tem alta correlação com o rendimento na produção de celulose (CARVALHO; NAHUIZ, 2004).

A densidade aparente dos cavacos é definida pela relação entre a massa seca e o volume aparente (volume dos cavacos + volume dos vazios entre os cavacos). A densidade aparente varia com espécies, tamanho dos cavacos e distribuição do tamanho dos cavacos. Pode variar de 0,120 a 0,200 t/m³ (GULLISCHEN; FOGELHOLM, 1999).

3.3.1.2 Teor de umidade

A umidade é importante, por razões econômicas, pois apresenta correlação direta com propriedades como estabilidade dimensional, resistência física, e operabilidade papel (TAPPI, 1994). De acordo com Cassales et al. (2011) o linter de algodão possui teor de umidade em torno de 6,33%, relativamente baixo quando comparado com teores de outras matérias-primas, como madeira, que possui ampla variação dependendo da espécie, como o *Pinus* que apresenta teor de umidade equivalente

a 86,65% e o *Eucalyptus* 84%. É importante salientar a correlação direta entre densidade da madeira e o teor de umidade (ALMEIDA et al., 2014).

3.3.2 Propriedades químicas

Saber a composição química da matéria-prima destinada à produção de celulose é de grande importância, uma vez que estes índices fornecerão condições para que se estabeleçam os parâmetros do processo de polpação, como o consumo de reagentes, rendimento em celulose e quantidade de sólidos gerados no licor negro (WEHR, 1991).

3.3.2.1 Holocelulose

A holocelulose é a junção de polímeros de celulose e hemiceluloses, onde, a celulose é o principal componente da parede celular dos vegetais e o mais abundante composto orgânico da natureza. A celulose se apresenta sob a forma de fibrilas juntamente com outros como componentes em vegetais superiores (TRUGILHO et al., 1996).

As hemiceluloses são constituintes desejáveis na polpação, pois contribuem para o rendimento e apresentam efeitos benéficos na ligação das microfibrilas e na resistência de polpa celulósica. Em decorrência de suas qualidades desejáveis, a maior parte dos processos de obtenção de polpa celulósica procura extrair o mínimo possível de hemiceluloses (GOMES, 2007).

De acordo com Nascimento et al. (2016), o teor de holocelulose no linter apresenta média de 81,51%, o que é considerado elevado quando comparado ao teor de holocelulose da madeira, onde folhosas como *Eucalyptus* apresentam uma variação de 74,3% a 75% (COSTA et al. 2014), e coníferas como *Pinus* de 64 a 67% (FENGEL; WEGENER, 1989).

3.3.2.2 Lignina

A lignina é um constituinte indesejável no processo de produção de celulose química. O processo de polpação em geral, tem como objetivo principal a

remoção da maior fração possível de lignina, de modo que se preserve às fibras sem causar danos (GONZAGA, 1983). A lignina é o segundo composto orgânico mais abundante na biomassa vegetal. Trata-se de um componente complexo composto por macromoléculas tridimensionais de origem fenil-propano de complicado fracionamento, assumindo assim, a necessidade de drásticos processos químicos (FOELKEL, 2013).

O teor de lignina na madeira sofre variações que podem ser influenciadas por diversos fatores de formação, nas folhosas o teor de lignina é de 20 a 24%, enquanto em coníferas é de 28 a 30% (FENGEL; WEGENER, 1989). No linter, o teor de lignina é baixo e inconstante, pois, existe uma grande variação estrutural das fibras, uma vez que as mesmas passaram por diversos processos de corte, além disso, é importante salientar o fato de linters serem tricomas e não células de esclerênquima, o que explicaria o baixo teor de lignina.

3.3.2.3 Extrativos

Os extrativos são compostos químicos constituídos basicamente de ácidos graxos, álcoois, fenóis, terpenos, esteróides, resinas, ceras, e outros compostos orgânicos. Estes compostos existem na forma de monômeros, dímeros e polímeros (ROWELL et al., 2005). Os extrativos ainda que apresentem pequenas frações em relação ao todo, são pontos negativos quando relacionados ao processo de polpação, pois, são agentes causadores do “pitch”, que é a ocorrência de incrustações resinosa (ALMEIDA; SILVA, 2001).

A madeira apresenta em média um teor de extrativo bastante variado, pois possui dependência com a densidade e o tipo de material. Almeida e Silva (2001) estudaram dois clones de *Eucalyptus* híbridos (*E. urograndis*) de densidades 0,513 e 0,482 g/cm³ que resultaram em teores de extrativos totais de 1,05 e 2,98%. O linter de algodão é representado com teores que variam de 5 – 5,59% (SCZOSTAK, 2009).

3.3.2.4 Solubilidade

A solubilidade é um dos parâmetros de relevante importância, pois é indicativo do grau de deterioração do material por fungo ou por calor, luz e oxidação, além de tornar possível conhecer a aptidão da matéria prima ao apodrecimento ou degradação (TAPPI, 1998).

3.3.2.4.1 Solubilidade em NaOH

Solução alcalina (NaOH) extrai carboidratos de baixo peso molecular, que consistem principalmente de hemicelulose e celulose degradada. A solubilidade da celulose indica uma extensão da degradação de celulose durante a formação da pasta e do branqueamento (TAPPI, 1998). A solubilidade da madeira de Eucalipto em soda a 1% apresenta variações de 18,28 a 24,62% (TRUGILHO et al., 2007), enquanto o Pinus varia de 10,46 a 17,07% (Brand e Muñiz, 2007). Assim, a solubilidade da madeira pelo NaOH 1% e 5% podem indicar o grau de degradação da celulose pelo ataque de fungos, aquecimento, luz, oxidação, etc (TRUGILHO et al., 2007).

3.3.2.4.2 Solubilidade em H₂O

Teste para solubilidade em água é normalmente aplicado à polpas que não são extraídas com solventes orgânicos. Entretanto para a extração com solventes orgânicos é requerido um solvente como tricloroetano que dissolverão somente um mínimo. Segundo Brand e Muñiz (2007) a solubilidade em água pode sofrer variações, onde, a solubilidade em água quente varia de 2,26 a 4,21% para o Pinus, e de 3,54 a 5,34% para o Eucalipto. Em água fria a solubilidade apresenta valores mais baixos de 1 a 2,50% para o Pinus e 2,70 a 3,48% para o Eucalipto.

3.3.2.5 Teor de cinzas

O teor de cinzas é uma expressão convencional para o resíduo na ignição a partir de uma amostra sólida de acordo com certos procedimentos de ensaio.

Como resultado, um número empírico dará uma indicação da quantidade de sais minerais e outras substâncias inorgânicas na amostra (BRUKER, 2016).

3.3.2.5 Número Kappa

Para avaliação da qualidade da polpa foi feita o número de kappa, que segundo MIMMS (1993) fornece o desempenho e a eficácia do processo de cozimento, pois informa o grau de deslignificação atingido na polpa (DIOGO, 2014). De acordo com Gonzalez (2009) polpas com número kappa entre 15 e 35 podem ser branqueáveis produzindo papéis para uso fino, número kappa de 30 a 70 são polpas não branqueáveis destinadas à produção de papeis para outros fins como embalagens e número kappa de 70 a 120 são polpas com alta concentração de lignina e devem ser destinadas a produção de papelão.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

O material consistiu de três amostras de linters (linter reciclado blue 40, linter reciclado blue 30 e linter reciclado alvejado 30) obtido como resíduo da indústria têxtil, o linter de número 30 apresenta maior grau de refino, quando comparados ao de numeração 40. As amostras foram fornecidas pela empresa Etex Industrial e Comercial Têxtil Ltda., localizada em São Paulo – SP. Esta empresa compra os retalhos das indústrias têxteis (principalmente de calças jeans), desfia e utiliza estes linters para diversas finalidades (palmilha de sapato, papel, fibrocimento e na indústria automobilística).

4.2 Métodos

4.2.1. Características químicas dos linters

As amostras de linters foram moídas em macro-moinho Wiley, e posteriormente classificada para obtenção da fração 40/60 mesh. Foram efetuadas as seguintes análises em cada amostra de linter: solubilidade em NaOH 1% (TAPPI T 4 wd-75), solubilidade em NaOH 5% (TAPPI T 4 wd-75), solubilidade em água quente e em água fria (TAPPI T 207 cm-99), teor de extrativos totais (TAPPI T 12 wd-82), teor de lignina Klason insolúvel em ácido sulfúrico (TAPPI T 249 cm-85), teor de holocelulose (designificação com clorito de sódio) e teor de cinzas (TAPPI T 211 om-85).

4.2.2. Determinação das propriedades físicas dos linters

O teor de umidade (TAPPI T 258 o m-11) foi determinado através da equação 1, o testes foram realizados em triplicata.

$$U_{bu} = \frac{PU - PS}{PU} \times 100 \quad (1)$$

Sendo:

U_{bu} = umidade base úmida, %;

PU = peso com umidade do linter, g;

PS = peso seco em estufa do linter a 103 ± 2 ° C, g;

A densidade aparente dos linters foi efetuada usando um recipiente cilíndrico de capacidade conhecida. As determinações foram efetuadas em triplicata e determinada através da equação 2.

$$DAL = \frac{PS}{VA} \quad (2)$$

Sendo:

DAL = densidade aparente do linter, g/cm³;

PS = peso seco do linter a 103 ± 2 ° C, g;

VA = volume aparente do linter, cm^3

4.2.3. Determinação das características anatômicas dos linters

A classificação das fibras foi realizada em classificador de fibras Bauer McNett, marca TMI, equipado com as peneiras padrão US 16 - 30 - 50 - 100 e 200 mesh, correspondente as seguintes aberturas em mm: 1,190 - 0,595 - 0,297 - 0,149 - 0,074 mm (norma TAPPI T 233 cm-95). Em cada determinação foi utilizado o equivalente a 10 g l.s. de polpa durante 10 minutos. Foram efetuadas determinações em duplicata para quantificar as retenções da polpa nas cinco peneiras. Ao final, as fibras da polpa foram classificadas por comprimento nessas cinco frações.

Para análise em microscópio, foram confeccionadas folhas de gramatura referente a 1g de linter seco/ m^2 , posteriormente com o uso de papel contact foram retidas amostra de área referente a 10 cm^2 , e em seguida levado ao microscópio para a caracterização, onde as amostras foram fotografadas.

4.2.4. Polpação mecânica dos linters

A polpação mecânica dos linters foi efetuada em moinho centrífugo Jokro Mühle, 150rpm, utilizando 16g por panela, a uma consistência de 6%, nos níveis 4500, 6750, 9000, 11250 e 13500 revoluções para verificar a possibilidade de formação de folhas de papel para realização dos ensaios físico-mecânicos. O grau de refino foi avaliado através da determinação do grau Schöpper-Riegler (SCAN-M3:65).

4.2.5. Análise estatística

Os resultados obtidos neste estudo foram analisados utilizando o programa Statistic 7 e realizada a análise de variância e o teste de comparação de médias Tukey no nível de 5% de significância.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados analisados no presente trabalho refere-se as características químicas, físico mecânicas e anatômica. Segundo MIMMS (1993) informações sobre os parâmetros químicos, físicos e anatômicos são essenciais para o direcionamento da produção de celulose e papel, pois cada um destes pode influenciar os processos positivamente ou negativamente e em graus distintos.

5.1 Caracterizações químicas do linter residual

Os resultados encontrados para a composição química do Linter do algodão estão apresentados na Tabela 3. Foram analisados o teor de holocelulose, lignina, extrativos e cinzas, como também a solubilidade em água quente, água fria e NaOH a 1% e 5%. Para analisar quais das amostras apresentavam melhores resultados, foi aplicado o teste Tukey à nível de 5%. Todos os tratamentos foram significativos e apresentaram diferença entre si.

Tabela 3. Resultados médios da composição química dos materiais estudados.

Análise Química	Linter reciclado			Média, %	CV %
	Blue 30	Blue 40	Alvejado		
Teor de holocelulose %	86,38b	90,82a	78,91c	85,37	0,31
Teor de extrativos%	6,40a	5,02ab	3,05b	4,82	14,36
Teor de lignina, %	8,57b	1,95c	11,8a	7,46	0,55
Cinzas, %	1,45a	0,89b	0,82b	1,05	11,08
Solubilidade NaOH 1%, %	8,68a	5,30b	8,02a	7,33	3,70
Solubilidade NaOH 5%, %	6,91a	6,31a	4,06b	5,76	5,61
Solubilidade em H₂O_{fria}, %	5,04a	2,20b	5,04a	4,09	3,60
Solubilidade em H₂O_{quente}, %	4,97a	1,84b	4,70a	3,84	6,42
Número Kappa	19,3	19,5	2,3	13,70	----

*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey no nível de 5% de significância.

Segundo Wehr (1991) o conhecimento da composição química da matéria prima destinada à produção de celulose é de grande valia, uma vez que os dados fornecerão condições para que se estabeleçam os parâmetros do processo de polpação, como o consumo de reagentes, rendimento em celulose e quantidade de sólidos gerados no licor negro.

Na avaliação do teor holocelulose os tratamentos apresentaram diferenças entre si sendo que o tratamento Blue 40 apresentou a maior média (90,82%), superior quando comparado ao tratamento Blue 30 e Alvejado 30. Resultado esperado ao considerar que linters são tricomas com parede de celulósicas espessa. No entanto, a variação estrutural provenientes dos diferentes tipos de cortes evidenciou que a uniformidade do material é um fator que influencia na composição química, notável em tal análise.

Morais et al. (2013) trabalhando com o mesmo tipo de matéria-prima encontrou valores bastante semelhantes, onde, obteve teor de holocelulose de (81,57±4,12%). Ao considerarmos a principal matéria-prima utilizada na tecnologia de produção de celulose, como as coníferas e as folhosas de características arbóreas, são interessantes os comparativos entre a não madeira estudada nesse trabalho e as principais espécies.

No trabalho de Bonfatti Júnior (2010) ao avaliar as propriedades anatômicas, química da espécie *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl., para a produção de celulose Kraft com diferentes cargas de álcali, obteve um teor de holocelulose de 66,28% valores bastante semelhantes aos encontrados por Gomide et al. (1982) e

Fernández (2010) (64,94 e 66,63% respectivamente) trabalhando com a mesma espécie que Bonfatti Júnior (2010).

Já no trabalho González (2002) avaliando as características químicas de *Pinus taeda* L., o autor encontrou teores de holocelulose de 64,50%, Andrade (2006) trabalhando com a mesma espécie, mas com plantios de diferentes idades (8, 14 e 20 anos) obteve valores para holocelulose variando entre 70,61 a 73,30%.

Gomide et al. (2005) estudaram a composição química de 13 clones comerciais de espécies do gênero *Eucalyptus*, de empresas florestais brasileiras e obteve resultados variando entre 64,5 a 70,2% para teores de holocelulose. Pereira et al. (2000) ao trabalhar com *Eucalyptus benthamii* Maid. & Camb., obteve um teor de holocelulose de 69,70%. Porém, Diogo (2014) ao avaliar a qualidade da celulose de clones de *E. grandis* e de um híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla* apresentou teores de 77,01% para o clone híbrido e 77,06% para o clone de *E. grandis*. Já Santos (2011) em seu trabalho com *E. urograndis* obteve uma porcentagem de holocelulose de 74,71%.

Para avaliação do teor de extrativos os tratamentos apresentaram diferenças entre si. O tratamento Blue 40 apresentou média semelhante tanto ao tratamento Blue 30 quanto ao Alvejado 30 conforme a análise estatística. Portanto, nota-se que o baixo teor de extrativo está diretamente relacionado ao alto teor de holocelulose, pois são grandezas inversamente proporcionais.

Morais et al. (2013) ao caracterizar o linter de algodão, encontrou valores baixos ($0,68 \pm 0,35$) quando comparados com o presente trabalho. Ao analisar e investigar tamanha diferença acredita-se que os resultados foram diferentes pelo fato das matérias-primas serem residuais, proveniente de processos industriais, ao contrário do material utilizado pelo mesmo autor.

Ao comparar tais valores as outras espécies utilizadas para produção de celulose.

Bonfatti Júnior (2010) trabalhando com a espécie *B. vulgaris*, obteve um teor de extrativos de 11,55% valores inferior se comparado ao trabalho de Gomide et al. (1982) que obteve um percentual de 13,37% e superior a Fernández (2010) que teve um teor de extrativos de 9,46% trabalhando com a mesma espécie que Bonfatti Júnior (2010).

Já no trabalho González (2002) com *Pinus taeda* avaliando o teor de extrativos, essa espécie apresentou um teor de 8,2%. Andrade (2006) trabalhando com a mesma espécie obteve valores variando entre 1,85 a 3,10%.

Gomide et al. (2005) em seu trabalho sobre clones de *Eucalyptus* sp., obteve valores de extrativos variando entre 1,76 e 4,13%. Pereira et al.(2000) ao trabalhar com *E. benthamii*, obtiveram um teor de extrativos de 6%. Porém, Diogo (2014) em seu trabalho com *E. grandis* e *E. grandis* x *E. urophylla* apresentou teores de 1,64% e 1,61% respectivamente. Já Santos (2011) em seu trabalho com *E. urograndis* obteve um teor de extrativos totais de 2,11%.

Conforme Ferreira et al. (1997) o estudo do teor de extrativos é importante na produção de celulose e papel, em razão, principalmente do consumo de reagentes químicos, perda de rendimento, inibição de reações, incrustação de materiais na polpa e nos equipamentos, corrosão, podendo também causar certa dificuldade no branqueamento.

Para avaliação do teor de lignina os tratamentos apresentaram diferenças entre si sendo que o tratamento Blue 40 apresentou a menor média (1,95%), seguido do tratamento Blue 30 e Alvejado 30. Os resultados obtidos no presente trabalho se diferenciaram do trabalho Bonfatti Júnior (2010) para a espécie *B. vulgaris*, onde o autor obteve um teor de lignina de 22,17% valores este superior se comparado ao trabalho de Gomide et al. (1982) que obteve um percentual de 17,91% e inferior a Fernández (2010) que teve um teor de lignina de 22,91% trabalhando com a mesma espécie. Tal resultado deve-se ao fato da proporcionalidade inversa entre a lignina e os teores de celulose e hemicelulose, onde tricomas em decorrência de sua formação tendem a apresentar valores baixos de lignina.

González (2002) trabalhando com *Pinus taeda* obteve um teor de lignina de 27,3%. Andrade (2006) trabalhando com a mesma espécie obteve valores que variaram entre 26,54 a 29,17%. Gomide et al. (2005) trabalhando com clones de *Eucalyptus*, obteve resultados variando entre 27,5 e 31,7% para teor de lignina total. Já Pereira et al.(2000) ao trabalhar com *E. benthamii*, obteve um teor de lignina de 24,30%. No trabalho de Diogo (2014) com *E. grandis* e *E. grandis* x *E. urophylla* o teor de lignina foi de 23,73% e 23,82% respectivamente.

Aos avaliar os dados do presente trabalho com os demais estudos acima citados é possível verificar que o linter obteve o teor de holocelulose maior os de

eucalipto, pinus e do bambu. Já em relação ao teor de extrativos o valor foi menor que o bambu e muito próximo ao do pinus e do eucalipto. E o teor de lignina foi bem menor se comparado aos trabalhos com pinus, eucalipto e bambu.

Conforme Bonfatti Júnior (2010) os extrativos e a lignina são constituintes considerados como indesejáveis no processo de produção de celulose química, sendo suas determinações, indicativos sobre o rendimento de processo e consumo de reagentes durante a polpação. Ou seja, quanto menor for o teor de extrativos e lignina melhor será o rendimento no processo durante a polpação. Com os resultados obtidos no presente estudo é possível verificar que o linter tem um bom potencial para produção de celulose e papel.

Ao avaliar a porcentagem de cinzas, os tratamentos apresentaram diferenças entre si sendo que o tratamento Blue 30 apresentou a maior média, seguido do tratamento Blue 40 e Alvejado 30. Os tratamentos Blue 40 e Alvejado 30 apresentaram médias semelhantes conforme a análise estatística, sendo que a média geral para os três tratamentos foi igual a 1,05%. Morais et al. (2013) analisando o teor de cinzas obteve valor superior quando comparado ao presente trabalho, onde, variando de $2,32 \pm 0,04$. Santos (2011) analisando a composição química da madeira de *E. urograndis* obteve um percentual de cinzas de 0,20%, teor bastante baixo se comparado ao presente trabalho.

E na avaliação da solubilidade em NaOH 1% e 5% os tratamentos apresentaram diferenças entre si, sendo que os tratamentos Blue 30 e Alvejado 30 apresentaram médias iguais (8,68% e 8,02% respectivamente) para a solubilidade em NaOH 1%, já o tratamento Blue 40 apresentou resultado inferior aos demais tratamentos (5,30%). Já para a solubilidade em NaOH 5% os tratamentos Blue 30 e Blue 40 apresentaram médias semelhantes (6,91 e 6,31% respectivamente), já o tratamento Alvejado 30 apresentou resultado inferior aos demais tratamentos (4,06%). A média geral para solubilidade em NaOH 1% e 5% dos tratamentos foi igual a 7,33% e 5,76% respectivamente. Os valores obtidos neste trabalho são bastante semelhantes aos encontrados em alguns trabalhos, no qual se estuda esse parâmetro para madeira, pois, não é convencional a testes de solubilidades para o linters de algodão.

Santos (2011) trabalhando com *E. urograndis* onde em solubilidade NaOH 1% obteve médias iguais a 8,18%, no entanto para solubilidade NaOH 5% a média obtida por Santos (2011) foi maior (10,62%). Porém, Diogo (2014) ao avaliar a qualidade da celulose de clones de *E. grandis* e de um híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*

apresentou teores de NaOH 1% de 11,07% para o clone híbrido e 10,60% o clone de *E. grandis* valores maiores se comparados ao do presente trabalho.

Na avaliação da solubilidade em água fria e quente os tratamentos apresentaram diferenças entre si sendo que os tratamentos Blue 30 e Alvejado 30 apresentaram médias iguais para solubilidade em água fria e médias semelhantes para solubilidade em água quente, já o tratamento Blue 40 apresentou resultado inferior aos demais tratamentos.

No presente trabalho houve uma grande variação entre os tratamentos analisados, onde o tratamento Alvejado 30 obteve o menor valor de kappa (2,3), já os demais tratamentos, Blue 30 e Blue 40 apresentaram valores superiores (19,3 e 19,5 respectivamente).

De acordo com Gonzalez (2009) polpas com número kappa entre 15 e 35 podem ser branqueáveis produzindo papéis para uso fino. Com base nestes dados, pode-se afirmar que o linter de algodão analisado no presente trabalho pode ser usado para produção de papeis para uso fino, sendo que o tratamento Alvejado 30 obteve valores abaixo de 15, sendo considerada uma ótima matéria prima para produção desse tipo de papel.

No trabalho de Diogo (2014) com clone de eucalipto o resultado do número kappa para carga com álcali ativo 14% ficou variando de 23,3 a 27,1 para o clone *E. grandis* e 24,8 a 28,2 para o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*. Após submeter a polpa a cozimento de álcali ativo 16% o número de kappa reduziu para 17,54 para o *E. grandis* e 18,33 para o *E. grandis* x *E. urophylla* resultado considerado pelo autor aceitável para esse gênero.

5.2 Características físicas e anatômicas do linter residual

A avaliação das propriedades físicas principalmente densidade básica e umidade do linter, são fundamentais para sua utilização no processo de obtenção da celulose, pois seus valores vão influenciar não quantidade dos demais componentes principalmente a lignina. Os resultados encontrados para a composição física do Linter do algodão estão apresentados na Tabela 4. Foi analisado o percentual de umidade e densidade aparente, sendo que para avaliar quais das amostras apresentavam melhores resultados, foi aplicado o teste Tukey à nível de 5%. Todos os tratamentos foram significativos e não apresentaram diferença significativa entre si.

Tabela 4. Resultados médios da composição física dos materiais estudados.

Análise Física	Blue 30	Blue 40	Alvejado 30	Média	CV%
Teor de secos %	95,55a	94,28a	95,28a	95,04	0,47
Umidade %	4,45a	5,72a	4,72 ^a	4,96	----
Densidade aparente, g/cm³	0,082b	0,088a	0,075c	0,075	1,73

*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey no nível de 5% de significância.

Na avaliação física da umidade, as médias dos tratamentos não apresentaram diferença significativa. Já para densidade aparente os tratamentos apresentaram diferença estatística entre si, na qual, o Blue 40 apresentou a maior média, seguida do Blue 30 e Alvejado 30. Logo, para tal resultado notou-se a influencia do grau de refino e numero do corte na densidade do material e posteriormente nos resultados.

Motta (2009) em seu trabalho avaliou três tipos de linter (hidrolisado, mecânico e neutralizado) e seus resultados mostraram um percentual de umidade de 26,5% para o linter hidrolisado, 7,1% para o linter neutralizado e 5,4% para linter mecânico. Os valores do presente trabalho se comparado ao trabalho de Motta (2009) foi bastante diferente por se tratar de um linter residual de algodão.

Andrade (2006) trabalhando com *Pinus taeda* L., em diferentes idades (8, 14 e 20 anos) obteve valores para densidade aparente variando entre 0,631 a 0,761 g/cm³. Já Alzate (2004) trabalhando com clone de *E. grandis*, *E.salignae* *E.grandis* x *E. urophylla* obteve uma média de densidade aparente de 0,46, 0,54 e 0,54 g/cm³ respectivamente.

Para avaliação das características anatômica do linter residual analisado no presente trabalho foi feita a classificação das fibras por meio do equipamento Bauer McNett. Os dados obtidos estão contidos na Tabela 5, onde é possível verificar que a maior porcentagem de fibras ficou retida na peneira 16 mesh, correspondendo a mais da metade do percentual nos tratamentos Blue 30 e Blue 40, já no tratamento Alvejado 30 mais da metade das fibras ficou retida entre as peneiras 16-50 mesh, havendo diferença estatística entre todos os tratamentos.

Tabela 5. Classificação das fibras do linter residual de algodão em equipamento Bauer McNett.

Amostras	Peneiras Mesh					
	16	30	50	100	200	>200
	Peneiras mm					
	1,190	0,595	0,297	0,149	0,074	>0,074
	Retenção nas peneiras %					
1. Alvejado 30	38,30Ca*	9,80Ae	14,45Ac	12,50Ad	7,30Af	17,65Ab
2. Blue 30	77,10Ba	3,10Bd	4,70Bc	4,65Bc	1,80Bd	8,65Bb
3. Blue 40	86,85Aa	2,35Bc	2,60Cc	1,80Ccd	0,80Bd	5,60Cb

*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Correlacionando a retenção entre os tratamentos, a peneira de 16 mesh, o Blue 40 foi que apresentou a maior retenção, seguido do Blue 30 e Alvejado 30. Para a peneira de 30 mesh o Alvejado 30 foi o tratamento que apresentou a maior média, enquanto o Blue 40 e o Alvejado 30 não apresentaram diferença estatística entre si. A peneira de 50 mesh também apresentou diferença entre todos as amostras, na qual o tratamento Alvejado 30 apresentou a maior média, seguido do Blue 30 e Blue 40, resultado semelhante a peneira de 100 mesh. Para peneira de 200 mesh houve diferença entre os tratamentos, o Alvejado 30 apresentou a maior média, já para o linter Blue 30 e Blue 40 não deferiram entre si. A peneira maior que 200 mesh resultou na diferença estatística entre todos tratamentos, onde, Alvejado 30 teve a maior média.

Na relação de retenção entre peneira, os resultados já eram esperados, pois as peneiras possuem perfurações de diâmetros diferentes, logo, todos os tratamentos apresentaram diferenças entre as peneiras. O linter Alvejado 30 mostrou diferença entre todas as peneiras, o Blue 30 mesmo com a diferença não houve variação estatística entre as peneira de 50 – 100 mesh e de 30 – 200 mesh. Para o linter Blue 40 não houve variação entre as peneiras 30, 50 e 100 mesh, não ocorrendo diferença ainda entre as peneiras de 100 e 200 mesh. Para os testes executados no classificador Bauer McNett, a justificativa para a variação quantitativa entre as peneiras, está diretamente relacionada ao processamento desse material, por se tratar de um resíduo industrialmente processado e oriundo de vários cortes, processo de obtenção do linter.

Embora o teste no classificador não seja comum para o linter de algodão, é possível estabelecer uma relação com resultados provenientes de espécies

arbóreas. No trabalho de Diogo (2014) com clone de eucalipto, ao submeter a polpa ao classificador de fibras Bauer Mcnett, com álcali ativo de 14% a maior percentagem de fibras ficou retida nas peneiras de 16-30 e 30-50 mesh com os respectivos valores para o *E. grandis* de 44,50% e 39,00% e para o *E. grandis* x *E. urophyllade* 44,85% e 37,55%. Novamente submetendo a polpa a cozimento com álcali ativo de 16% o autor aumentou o valor das porcentagens das fibras retidas nas peneiras 16-30 e 30-50 mesh com os respectivos valores para o *E. grandis* de 42,55% e 40,25% e para o *E. grandis* x *E. urophylla* de 48,25% e 36,05% e com isso reduziram o número kappa para um valor aceitável para o eucalipto de 24,97 para 17,54 para *E. grandis* e de 26,37 para 18,33 para *E. grandis* x *E. urophylla*. Tanto no trabalho de Diogo (2014) com no presente trabalho o maior percentual de retenção das fibras foi nas peneiras de 16-50 mesh.

Para determinação da capacidade de refino de cada amostra foi feita a quantificação da drenagem das fibras. Segundo Menegazzo (2012) a resistência à drenagem, é expressa em graus Schöpfer Riegler (°SR), sendo um indicativo da dificuldade com que a água escoar através da camada de fibras, assim, o grau de refino torna-se maior com o aumento da energia aplicada nesta operação. É possível verificar que os valores do grau de Schöpfer Riegler variaram de 10 a 12 onde os tratamentos Alv. 30 e B. 30 apresentaram os mesmos valores (10), já o tratamento B. 40 apresentou um valor um pouco maior (12).

Se comparar os dados do presente estudo como os de Menegazzo (2012) ao trabalhar com *E. globulus*, os valores este trabalho foram menores, no trabalho de Menegazzo (2012) os valores do grau °SR variaram entre 14 a 38. Araújo (2004) trabalhando com eucalipto (*E. saligna*) e bracatinga (*Mimosa scabrella*) obteve valores de 15 para o eucalipto e de 12 a 15 para a bracatinga, o autor ressalta que os valores para bracatinga de baixo (12) pela menor população fibrosa da celulose e seu menor valor de retenção de água, o que favorece a drenagem da água através da estrutura da manta de fibras formada, dado este também observado no presente trabalho.

Na avaliação anatômica do linter residual em microscopia, notou-se a inviabilidade em caracterizar o material em decorrência de elevado grau de atração entre as fibras, resultando em “enovelamento” (Figura 4), além disso, por tratar-se de um resíduo decorrente de vários processos mecânicos, parâmetro como comprimento, espessura de parede e volume de lúmen, são praticamente impossíveis de serem mensurados, como se

pode notar nas imagens abaixo, pois existe uma grande sobreposição das fibras, impossibilitando a diferenciação e caracterização individual.

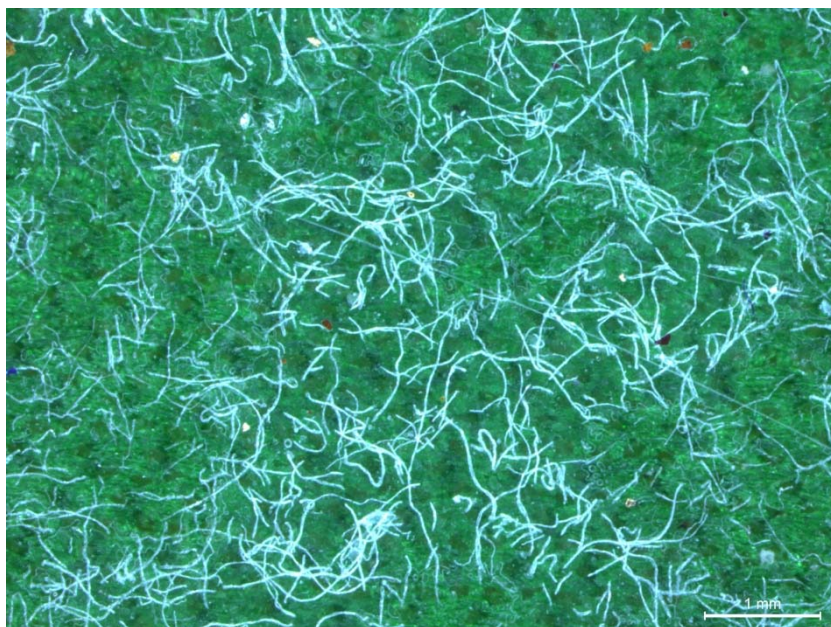


Figura 2. Linter residual alvejado 30, aumento de 1mm.

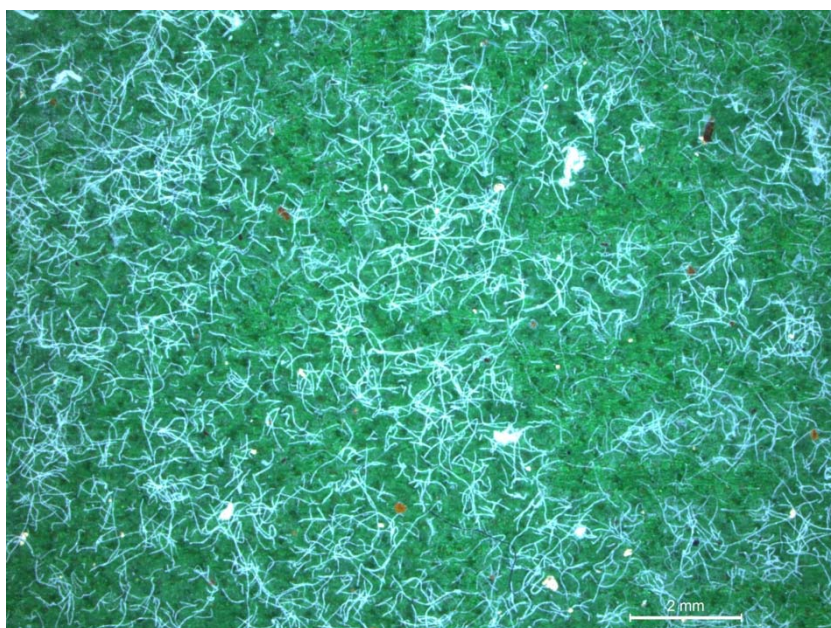


Figura 3. Linter residual alvejado 30, aumento de 2mm.



Figura 4. Linter residual alvejado 30, aumento de 500 μm.

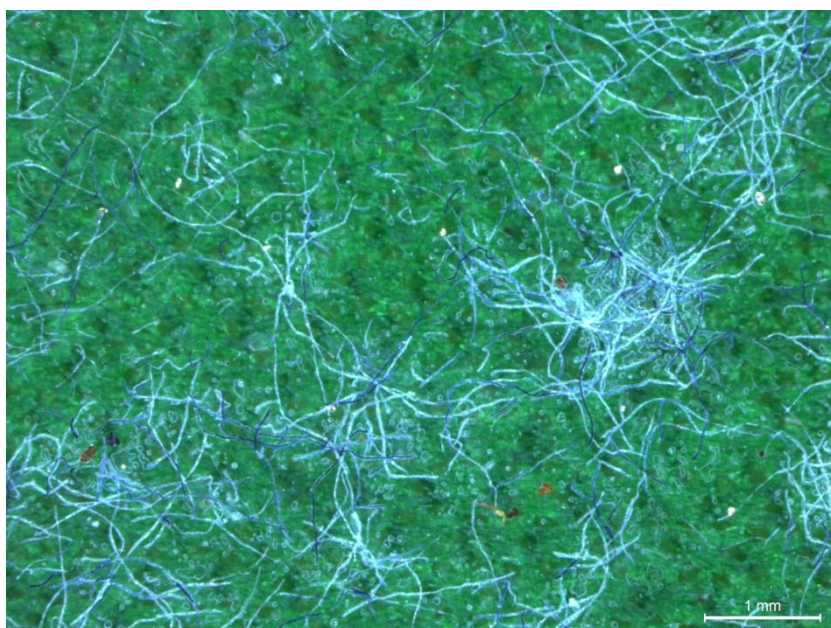


Figura 5. Linter residual blue 30, aumento de 1mm.

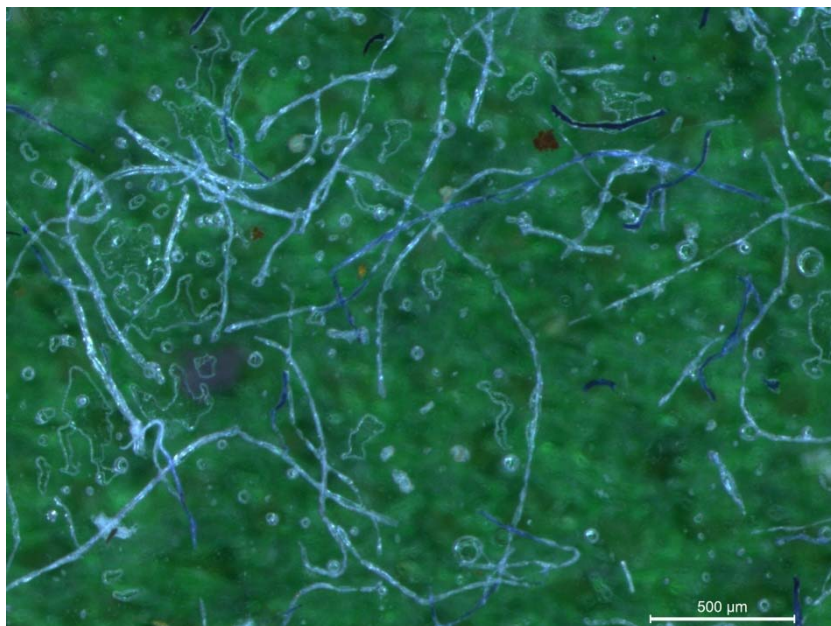


Figura 6. Linter residual blue 30, aumento de 500 μm .

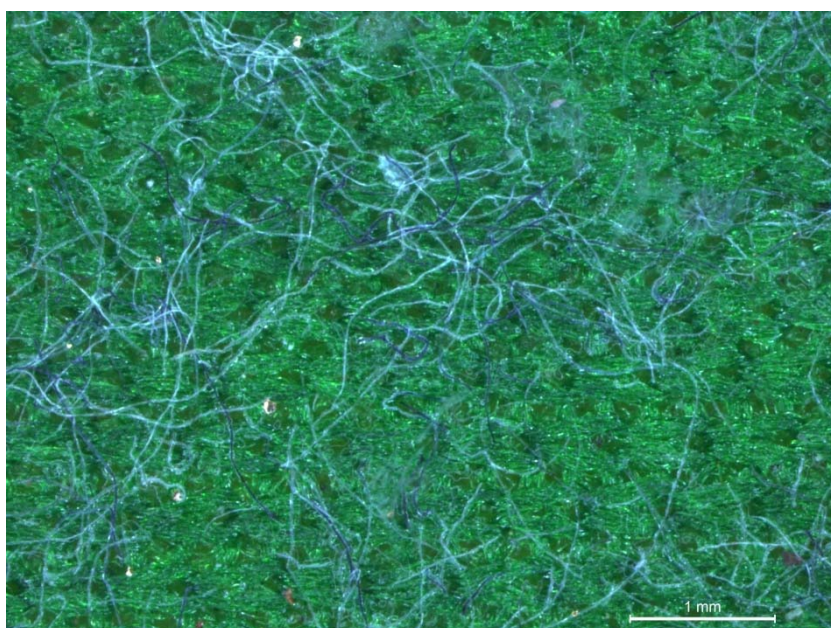


Figura 7. Linter residual blue 40, aumento de 1 mm.

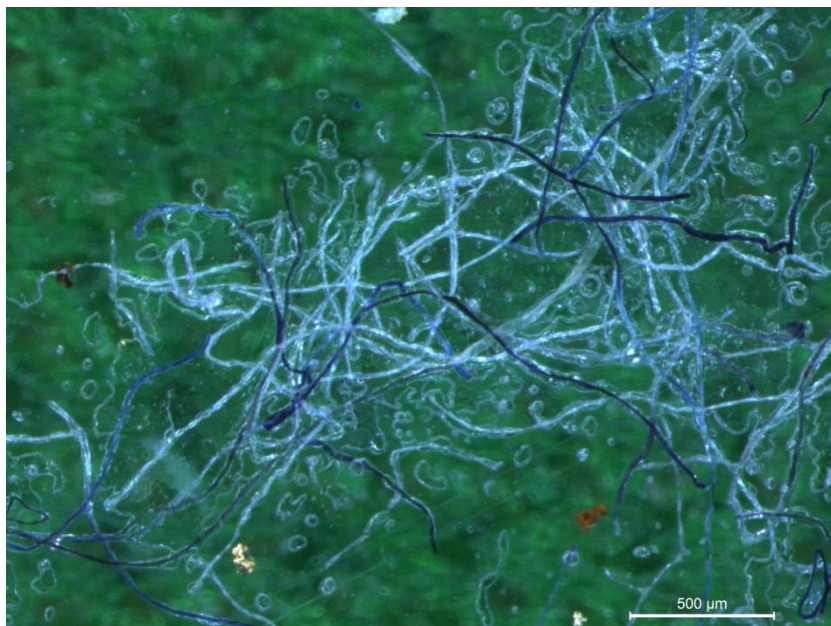


Figura 8. Linter residual blue 40, aumento de 500 μm .

6. CONCLUSÃO

Conclui-se que dentre os linters analisados, o que mostrou as melhores características para a produção de celulose foi o linter residual blue 40, pois:

- Dentre as características químicas analisadas o linter Blue 40 foi que apresentou as melhores medias quando comparadas aos outros tratamentos, principalmente no que tange ao teor de holocelulose.
- Para as propriedades físicas dos linters avaliados, concluiu-se que o teor de umidade não foi estatisticamente diferente entre os tratamentos, porém com relação a densidade o linter Blue 40 foi que apresentou a maior média.
- Ao analisar as características anatômicas, conclui-se que o linter Blue 40 foi quem apresentou maior homogeneidade quando comparado aos outros tratamentos. A classificação dimensional das fibras em microscopia não foi possível em função das características da matéria-prima.

7. REFERÊNCIAS

ANÁLISE de Papel e Celulose. Bruker. Disponível em:

<<https://www.bruker.com/pt/applications/quality-control/paper.html>>. Acesso em: 08 ago. 2016.

ALMEIDA, D. H. et al. Determinação do teor de umidade e densidade básica para espécies de Pinus e Eucalipto. **Revista Científica Eletrônica da FAIT**, v. 1, p. 1-7, 2014.

Disponível em:

<http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/GJqhOS2OjOZ3IRW_2014-4-16-16-31-23.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2016.

ALMEIDA, J.M.; SILVA, D.J. **Efeito da qualidade de extrativos e da acessibilidade do licor na polpação kraft de clones de Eucalyptus**. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 34., São Paulo, 2001. Anais. São Paulo: ABTCP, 2001. p. 1-14

ANDRADE, A. M. de. et al. Produção de papéis artesanais das misturas de aparas com fibras virgens de bambu (*Dendro calamus giganteus*) e de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*). **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p.143 - 152, jan./dez. 2001.

ANDRADE, A.S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L**: influência da idade e classe de produtividade. 2006. 94 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ARAUJO, R. H. **Celulose Kraft produzida a partir das madeiras de bracatinga (*Mimosa scabrella*) e eucalipto (*Eucalyptus saligna*) misturadas em diferentes proporções**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL (BRACELPA). Disponível em: < <http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/rel2015.pdf>>. Acesso em: 10 mar. 2016.

AZZINI, A. et al. Caracterização tecnológica de caules de quatro variedades de mandioca como fonte de fibras celulósicas para papel. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 2, p. 293-297, 1996.

BORGNAKKE; C.; SONNTAG; R. E.; VAN WYLEN, G. J. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. 4. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

BONFATTI JÚNIOR, A. E. **Caracterização das propriedades anatômicas, química e densidade da espécie *Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl., para a produção de celulose Kraft com diferentes cargas de Álcali**. 2010. 67 f. Monografia (Conclusão de Curso em Engenharia Florestal) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B. Influência da época de colheita e da estocagem na composição química da biomassa Florestal. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, p. 66-78, 2012.

CASSALES, A. B. et al. Caracterização morfológica por MEV de fibras de linter de algodão In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO & I COTTON EXPO, 8., 2011, São Paulo.

CARVALHO, L. H. et al. IAC- INSTITUTO AGRONÔMICO. **Centro de Grãos e Fibras**. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/Tecnologias/Algodao/algodao.htm>>. Acesso em: 03 jun. 2014

CARVALHO, A. M.; NAHUZ, M. A. R. Interferência na qualidade e rendimento de polpa celulósica de eucalipto devido ao uso múltiplo da madeira. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 242-256, jul./dez. 2004.

COSTA, T. G. et al. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, 2014, v. 20, n. 1, p. 37-46.

DIOGO, F. A. **Qualidade da madeira e da celulose de clones de *Eucalyptus* spp. de diferentes densidades**. 2014. 39 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2014.

D'ALMEIDA, M.L.O. (Ed.). **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica e do papel**. 2. ed. São Paulo: SENAI/IPT, 1998. v. 2, 964 p.

ESAU, K. **Anatomia das plantas com semente**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 1974.

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

FERREIRA, G. W. et al. Qualidade da celulose Kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunni* implantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 30., **Anais...** São Paulo, 1997.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood**: chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin: Walter de Gruyter, 1989. 613 p.

FOELKEL, C. E. B.; BRASIL, M. A. M. & BARRICHELO, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, Piracicaba, v. 2/3, p. 65-74. 1971.

FOELKEL, C. E. B.; MOURA, E.; MENOCELLI, S. **Densidade básica**: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. **O Papel**, p. 35-40, maio, 1990.

FOELKEL, C.E.B. Propriedades papeleiras das árvores, madeiras e fibras celulósicas do eucalipto. In: **Eucalyptus Online Book & Newsletter**, 2009. 111 p. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT14_PropPapeleiras.pdf> Acesso em: 14 mar. 2016.

FOELKEL, C. E. B. Aspectos práticos e conceituais sobre a fabricação de celulose de mercado do tipo kraft branqueada a partir de madeira de eucalipto In: **Eucalyptus Online Book & Newsletter**, 2013. 111 p. Disponível em: <http://eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT31_ProcessoKraftEucalipto.pdf> Acesso em: 15 mar. 2016.

GOMES, A.F. **Avaliação das características da madeira e da polpa de Eucalyptus mediante aplicação de métodos não destrutivos na árvore viva**. 2007. 141 p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

GOMIDE, J. L. et al. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 129-137, 2005.

GOMIDE, J.L.; COLODETTE, L.J.; OLIVEIRA, R.C. Estudos das potencialidades do *Bambusa vulgaris* para produção de papéis tipo Kraft. **O Papel**, São Paulo, v. 28, n. 7, p. 38-42, 1982.

GONÇALEZ, J. C.; FRAGA, D. G.; SILVA JUNIOR, F. G. Avaliação da Polpação soda de *Pinus taeda* com a adição de Antraquinona. In: CONGRESSO IBERO AMERICANO DE INVESTIGADORES DE CELULOSA Y PAPEL, 2002, São Paulo SP. Congresso Ibero Americano de Celulosa. **Anais...** São Paulo, v. 1. p. 10-20, 2002.

GONCALEZ, J.C. Nota de aula expositiva. **Disciplina Celulose e Papel**. Brasília: UnB – E.F.L. 2009 .

GONZAGA, J.V. **Qualidade da madeira e da celulose kraft de treze espécies de Eucalyptus**. Viçosa: UFV. 1983. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1983.

GULLICHSEN, J.C.J.; FOGELHOLM. **Chemical pulping**. Atlanta: TAPPI Press, Helsinki, 1999. 693 p.

KILPNEN; O. Nonwood speciality pulps. In: **Pulp Conference**, 1992. Finland.

KLOCK, U. Nota de aula expositiva **Disciplina Polpa e Papel. UFPR – DEIM**. Disponível em: <www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock> Acesso em: 27 mar. 2016.

LÓPEZ, F. et al. Comparative study of paper sheets from olive tree wood pulp obtained by soda, sulphite or kraft pulping. **Bioreso use Technology**, n. 71, p. 83-86, 2000

McGOVERN, J. N. et al. Other fibers. In: HAMILTON, F.; LEOPOLD, B. (Ed.). **Pulp and paper manufacture**. 3. ed. Atlanta: The Joint Textbook Committee of the Paper Industry, 1987. v. 3, chap. IX, p. 110-121.

MENEGAZZO, M. L. **Características morfológicas de celulose branqueadas de *Pinus* e *Eucalyptus* em analisador óptico automático de fibras**. 2012. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrônomicas) – Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2012.

MIMMS, A. **Kraft pulping, a compilation of notes**. Atlanta. 2. ed. Tappi Press, 1993. 181 p.

MORAIS, J. P. S. et al. Extraction and characterization of nano cellulose structures from raw cotton linter. **Carbohydrate Polymers**, v. 91, p. 229-235, 2013.

MOTTA, E. G. da. **Utilização do linter hidrolisado como fonte de energia**. 2009. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) pela Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Uberlândia, 2009.

NASCIMENTO, L. D. et al. Perfil ligno celulósico de línter de algodão In: **Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**, Florianópolis, v. 34, 2011.

PAPERMART. Cotton Linters: a valuable raw material for paper industry. **Paper Mart**, jul. 2012. Disponível em :<<http://papermart.in/2012/07/04/5622/>>. Acesso em: 14 mar. 2016.

PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R.C.V.; SHIMIZU, J.Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. 61 Colombo: **Embrapa Florestas**, 2000. 113 p.

PEREIRA, S. de J. et al. Celulose de buriti (*Mauritia vinifera* Martius). **Scientia Forestales**, n. 63, p. 202-213, 2003.

PEREIRA, S. de J. et al. Celulose de tucum (*Bactris inundata* Martius). **Scientia Forestales**, n. 65, p. 130-140, jun. 2004.

QUEIROZ, S. C. S. et al. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex. Maiden X *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p.901-909, 2004.

OLIVEIRA, J. T. da S.; SILVA, J. de C. Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 381-385, 2003

REEVE, D. Pulp bleaching practices and issues. **Short Course**, March 7, 1996 –Tappi, New Orleans, 1996.

ROWELL, W.C. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC Press, 2005. 487 p

RYDHOLM, S. **Pulp processes**. Wiley Interscience, 1967.

SANTOS, R. **Produção de polpa solúvel a partir de *Eucalyptus urograndis***. 2011. 76 f. Monografia (Graduação Curso em Engenharia Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Universidade Estadual Paulista, Itapeva, 2011.

SENHORAS, E. M. Oportunidades da cadeia agroindustrial do coco verde: do coco verde nada se perde, tudo se desfruta. **Revista Urutágua**, Maringá, 2004. Disponível em: <http://www.urutagua.uem.br/005/22tra_senhoras.htm>. Acesso em: 03 set. 2015.

SCZOSTAK, A. **Cotton linter**: an alternative cellulose raw material macro molecular symposia. 280. p. 45-53. 2009.

SHIMOYAMA, V. R. **Variações da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptu* ssp.** 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1990.

SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA (SNA). Disponível em: <<http://sna.agr.br/terceiro-maior-produtor-de-algodao-brasil-procura-crescimento-na-producao>>. Acesso em: 08 ago. 2016

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. Test methods. Atlanta: TAPPI Press, 1999. 573 p.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

TRUGILHO, P. F. et al. Qualidade da madeira de clones de espécies e híbridos naturais de *Eucalyptus*. **Scientia Forestalis**, n. 73, p. 55-62, Março, 2007.

VIDAL, A. C. F.; HORA, A.B. A indústria de papel e celulose. In: BNDES. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. BNDES 60 anos: perspectivas setoriais. Rio de Janeiro, 2012.

WHER, T. R. **Variação nas características da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex-Maiden e suas influências na qualidade de cavacos em cozimento Kraft**. 1991. 84 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

ZHIJUN, H. et al. Research on cotton bast pulping using alkaline peroxide bixis
Pulpmethod. **Paper and Pulp Making**, v. 25, p. 67-69, 2005.