



Todo o conteúdo do artigo, exceto onde está identificado, está licenciado sob uma Licença Creative Commons. Fonte: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-50982016000100321&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 15 dez. 2017.

REFERÊNCIA

CARDOSO, Mahalia Sojo; GONÇALEZ, Joaquim Carlos. Aproveitamento da casca do coco-verde (cocos nucifera l.) Para produção de polpa celulósica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 321-330, jan./mar. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1980-50982016000100321&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 15 dez. 2017. doi: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509821126>.

APROVEITAMENTO DA CASCA DO COCO-VERDE (*Cocos nucifera* L.) PARA PRODUÇÃO DE POLPA CELULÓSICAUTILIZACION OF COCONUT HUSK (*Cocos nucifera* L.) FOR CELLULOSE PULP PRODUCTIONMahalia Sojo Cardoso¹ Joaquim Carlos Gonzalez²**RESUMO**

A casca do coco-verde é um resíduo do consumo da água de coco. Em cidades litorâneas este resíduo já tem se tornado um grande problema, pois é de difícil decomposição. O presente estudo teve como objetivo avaliar a casca do coco-verde (*Cocos nucifera* L.) para a produção de celulose kraft. A matéria-prima foi caracterizada com relação à densidade básica, composição química, dimensão das fibras e proporção de elementos anatômicos. Foram realizados três cozimentos-teste sendo que um deles foi escolhido para repetição. Em cada um deles variou-se a carga alcalina visando à elaboração de curvas de cozimento. Nos resultados do processo de polpação foram encontrados valores altos de número kappa, baixos rendimentos e baixos teores de rejeito. As seguintes características do material, baixa densidade básica (0,128 g/cm³), alta quantidade de extrativos (33,68%) e baixa proporção de fibras (22,11%), corroboraram para estes resultados. Assim, a produção de polpa celulósica a partir da casca do coco-verde pelo processo kraft, não se mostrou como uma alternativa viável tecnicamente.

Palavras-chave: *Cocos nucifera*; casca do coco-verde; polpação kraft.

ABSTRACT

The coconut husk is a residue from consumption of coconut water. In coastal cities this residue has already become a big problem, because it is difficult to decompose. The present study aimed to evaluate the husk of the coconut (*Cocos nucifera* L.) for production of kraft pulp. The raw material was characterized and had its basic density, chemical composition, fiber size and proportion of anatomical elements analyzed. Pulping tests were conducted and one of them was chosen for repetition. In each pulping the alkali charge was variable in order to prepare an alkaline curve. The results from the pulping process show high levels of kappa number, low yields and low rejects content. The following characteristics of the material, low basic density (0.128 g/cm³), high amount of extractives (33.68%) and low proportion of fibers (22.11%), corroborate to these results. Thus, the production of pulp from the coconut husk by the kraft process, it is not an alternative technically feasible.

Keywords: *Cocos nucifera*; coconut husk; kraft pulping.

INTRODUÇÃO

O setor de papel e celulose envolve a fabricação de pastas celulósicas, com base em diversos tipos de matérias-primas fibrosas, principalmente a madeira, transformando-as em

vários tipos de papéis. A celulose é um carboidrato de alto peso molecular, sendo o principal componente químico da madeira e de certos vegetais fibrosos.

Segundo Barrichelo e Brito (1979), qualquer matéria-prima fibrosa é passível de ser utilizada na produção de celulose do ponto de vista

1 Engenheira Florestal, Graduada em Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte, CEP 70904-970, Brasília (DF). mahaliase@gmail.com

2 Engenheiro Florestal, Dr., Professor do Curso de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Campus Darcy Ribeiro, Asa Norte, CEP 70904-970, Brasília (DF). goncalvez@unb.br

tecnológico. Porém, quando analisada sob o aspecto econômico, uma série de fatores deve ser levada em consideração, como: porcentagem de fibras; características anatômicas, morfológicas, físicas e químicas; quantidade disponível em local de fácil acesso; possibilidade de regeneração em curto e médio prazo; custos relativamente baixos; existência de mercado para o tipo de celulose a ser produzida.

Neste contexto, vários estudos já foram realizados com fibras vegetais como fonte de matéria-prima alternativa na produção de celulose e papel, como por exemplo, a fibra vegetal do buriti (*Mauritia vinifera* Martius) (PEREIRA et al., 2003), do tucum (*Bactris inundata* Martius) (PEREIRA et al., 2002), do bambu (*Bambusa vulgaris*) (GOMIDE et al., 1982), do açai (*Euterpe oleracea* Mart.) (MELO et al., 1975), de espécies de sisal (*Agave sp.*) (AZZINI; CIARAMELLO, 1977), caule da mandioca (AZZINI et al., 1996a) e palha de cana-de-açúcar (AZZINI et al., 1996b).

Considerando a crescente preocupação quanto ao meio ambiente que tem impulsionado o uso de recursos não agressivos ao planeta, o uso de fibras vegetais para diversos fins se torna uma boa alternativa, por ser um material renovável, biodegradável e de baixo custo. A fibra de coco-verde (*Cocos nucifera* L.), além de reunir tais características, possui baixo custo de processamento, bom desempenho e diversidade de uso (TAKAHASHI, 2009).

O fruto do *Cocos nucifera* é considerado um fruto seco, indeiscente do tipo drupa, por ser formado por um só carpelo e conter em seu interior uma só semente. O mesocarpo, parte mais desenvolvida no coco, é constituído por um conjunto muito denso de fibras bastante resistentes. Já o endocarpo é excepcionalmente espesso e duro, envolvendo a única semente desse fruto, a qual se constitui do embrião e de um tecido nutritivo muito extenso, que forma a parte comestível do coco, inclusive o líquido contido em seu interior. O epicarpo apenas reveste-o externamente (FERRI, 1990).

O mercado de coco-verde tem crescido nos últimos anos no Brasil. Contudo, a casca de coco-verde, subproduto do uso e da industrialização da água de coco, ainda é em grande parte depositada em lixões e aterros sanitários. Assim, este resíduo gera custos e impactos para a sociedade, que são agravados nas cidades litorâneas do país, onde o consumo de água de coco é mais alto.

Visto que a casca de coco-verde é um material de difícil decomposição, levando mais

de oito anos para se decompor (CARRIJO et al., 2002) e que 80% a 85% do peso bruto do coco-verde é considerado lixo (ROSA et al., 2001), a utilização da casca do coco-verde processada, além da importância econômica e social, já que pode ser uma fonte extra de renda aos vendedores de coco-verde, é também importante do ponto de vista ambiental, o que lhe confere um forte apelo sustentável (RAMPAZZO, 2011).

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar a casca do coco-verde (*Cocos nucifera* L.) para a produção de celulose kraft, tendo em vista sua utilização como matéria-prima alternativa na produção de papel. Tem como objetivos específicos: a determinação da constituição anatômica e química, determinação da densidade básica e a produção de polpas não branqueáveis a partir dos processos de polpação kraft convencional, utilizando-se a casca do coco-verde.

MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta do coco-verde foi realizada nos próprios locais de venda de água de coco na região urbana de Brasília. Foram coletados 100 cocos verdes de tamanho, massa e características visuais aproximadas.

A matéria-prima para obtenção das fibras foi o mesocarpo do coco (*Cocos nucifera* L.). Portanto, os frutos verdes foram abertos, sendo removido o endocarpo e o albúmen sólido (castanha), a fim de se aproveitar a parte mais fibrosa do fruto, mesocarpo, juntamente com o epicarpo.

Esse material, denominado neste trabalho como casca do coco-verde, foi picado manualmente e transformado em cavacos de aproximadamente 4 cm x 2 cm para a produção de polpa celulósica e análises. Os cavacos foram secos em estufa a 40°C até massa constante e acondicionados em sacos de polietileno. Em seguida foram encaminhados ao Laboratório de Química, Celulose e Energia da Universidade de São Paulo - USP/ESALQ, em Piracicaba - SP.

A fim de aprimorar a caracterização do material, foram coletados mais dois cocos-verdes, nos mesmos locais de venda anteriores, para a caracterização anatômica. Esta caracterização utilizou o material em sua forma úmida e foi realizada no Laboratório de Anatomia Vegetal da Universidade de Brasília (UnB).

Parâmetros analisados

Os parâmetros analisados na casca do coco-verde foram: densidade básica, teor de extrativos totais, teor de lignina e holocelulose (por diferença) e caracterização anatômica.

Densidade básica

A densidade básica foi determinada através dos métodos do Máximo Teor de Umidade e da Balança Hidrostática (FOELKEL et al., 1971), tomando-se 27 amostras de cavacos da casca do coco-verde. A utilização dos dois métodos teve a finalidade de verificar a equivalência entre os mesmos.

As amostras foram imersas em água até atingirem a saturação total, com auxílio de uma bomba de vácuo. Estas amostras foram retiradas da água e devidamente pesadas, obtendo-se o peso úmido, em seguida foram pesadas imersas em água, obtendo-se o peso imerso. Por último foram colocadas em estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ até massa constante, determinando-se o peso seco.

A densidade básica obtida pelo Método da Balança Hidrostática foi calculada através da equação 1 e pelo Método do Máximo Teor de Umidade através da equação 2, seguintes:

$$Db = \frac{PSA}{PUA - PIA} \times DI \quad (\text{Equação 1})$$

$$Dp = \frac{1}{\left(\frac{PUA}{PSA}\right) - 0,346} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: Db = densidade básica (g/cm^3); PSA = peso seco da amostra (g); PUA = peso úmido da amostra (g); PIA = peso imerso da amostra (g); DI = densidade da água, (g/cm^3).

Teor de extrativos totais, teor de lignina e holocelulose

Os teores de extrativos totais e lignina Klason (solúvel e insolúvel) foram determinados conforme método baseado na norma TAPPI (*Technical Association of the Pulp and Paper Industry*) de 1998. O teor de holocelulose foi calculado por diferença, de acordo com a seguinte equação:

$$\text{Holocelulose (\%)} = 100 - [\text{Extrativos(\%)} + \text{Lignina(\%)}]$$

Caracterização anatômica

Para a determinação das dimensões das fibras, foram retiradas, com uso de estiletos, pequenas lascas de dois cocos diferentes, totalizando duas amostras. Este material foi submetido à maceração com peróxido de hidrogênio e ácido acético 1:1 a 60°C por um período suficiente para que ocorresse a individualização dos elementos anatômicos. Após a individualização do material, o mesmo foi lavado com água destilada e corado com safranina. Com o material dissociado, foram montadas 10 lâminas histológicas de cada amostra e de cada lâmina foram medidos comprimento, largura e diâmetro do lume de 10 fibras, totalizando 200 medições. As medições foram realizadas com auxílio do *software* de análise de imagem Las EZ V 1.7.0 e o microscópio óptico Leica ICC 50.

Na mensuração das fibras, foram obtidas informações relativas ao seu comprimento (l), diâmetro (D) e diâmetro do lume (d), sendo indiretamente determinada a espessura da parede celular (e) (Equação 1). As medições foram realizadas no microscópio óptico Leica ICC 50, sendo que o comprimento da fibra foi medido no foco 4x e o diâmetro e diâmetro do lume no foco 20x.

$$e = \frac{D - d}{2}$$

Com os valores das dimensões das fibras foram calculadas as relações com as seguintes equações: Fração Parede (FP) equação (eq.) (2), Coeficiente de Flexibilidade (CF) eq. (3), Índice de Enfeltramento (IE) eq. (4) e Índice de Runkel (IR) eq. (5), a continuação:

$$FP = \left(\frac{2e}{D}\right) \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

$$CF = \left(\frac{d}{D}\right) \times 100 \quad (\text{Equação 3})$$

$$IE = \left(\frac{1}{D}\right) \quad (\text{Equação 4})$$

$$IR = \left(\frac{2e}{d}\right) \quad (\text{Equação 5})$$

Em que: l = Comprimento da fibra; e = Espessura da parede da fibra; D = Diâmetro da fibra; d = Diâmetro do lume da fibra.

Para a quantificação das fibras e tecido de

preenchimento presente na casca do coco-verde, foram analisadas quatro lâminas contendo cortes transversais da casca do coco-verde (epicarpo e mesocarpo). Os cortes histológicos (30 μm de espessura) foram feitos com auxílio de um micrótomo rotativo.

A porcentagem de fibras e tecido parenquimático foi determinada a partir da medição da área ocupada pelos tecidos em uma área de 1 mm^2 desenhada em duas regiões diferentes, apical e central. Foram tomadas três medições para cada corte em cada região.

Processo de polpação

O processo de polpação foi realizado em autoclave rotativa com capacidade de 20 litros, contendo 8 cápsulas de aço inoxidável individualizadas com capacidade para 40 g de cavacos de coco, absolutamente seco.

Foram realizados três cozimentos-teste sendo que um deles foi escolhido para repetição, totalizando quatro cozimentos. As condições dos cozimentos estão descritas nas Tabelas 1 a 3, nas quais se pode observar que a carga alcalina foi variada, visando à elaboração de uma curva de cozimento. Além da carga, variou-se também a

TABELA 1: Condições do primeiro cozimento.

TABLE 1: Condition of first pulping.

Parâmetro	Condições
Álcali Ativo (% como NaOH)	16,18,20,22,24,26,28,30
Sulfidez (%)	25
Relação Licor/madeira (l/kg)	5:1
Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)	170
Tempo de aquecimento (min)	90
Tempo de cozimento (min)	60

TABELA 2: Condições do segundo cozimento.

TABLE 2: Condition of second pulping.

Parâmetro	Condições
Álcali Ativo (% como NaOH)	24,26,28,30,32,34,36,38
Sulfidez (%)	25
Relação Licor/madeira (l/kg)	7:1
Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)	170
Tempo de aquecimento (min)	90
Tempo de cozimento (min)	90

TABELA 3: Condições do terceiro cozimento.

TABLE 3: Condition of third pulping.

Parâmetro	Condições
Álcali Ativo (% como NaOH)	26,28,30,32,34,36,38,40
Sulfidez (%)	25
Relação Licor/madeira (l/kg)	7:1
Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$)	170
Tempo de aquecimento (min)	90
Tempo de cozimento (min)	120

relação licor/madeira e o tempo de cozimento para melhor definição destas variáveis.

Ao final de cada cozimento as polpas foram lavadas exaustivamente em água corrente, a fim de se garantir máxima remoção do licor residual, desagregadas em *hidrapulper* laboratorial, depuradas em depurador laboratorial com fendas de 0,2 mm, centrifugadas e armazenadas em sacos de polietileno para análises posteriores. Os rejeitos foram coletados e secos em estufa $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ até massa constante.

Assim, as polpas obtidas foram analisadas de acordo com os parâmetros: Rendimento bruto; Rendimento depurado; Teor de rejeitos; Número kappa (norma TAPPI Methods – T236 cm-85).

O licor negro proveniente do final de cada cozimento foi coletado e devidamente identificado de acordo com cada carga de álcali ativo utilizada. Foram determinados dois parâmetros, álcali residual e pH do licor. O pH do licor foi medido com auxílio de um pHmetro e o álcali residual foi determinado de acordo com a metodologia utilizada no LQCE.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da casca do coco-verde Densidade básica

O valor determinado para a densidade básica obtido neste trabalho ($0,13 \text{ g/cm}^3$) condiz com o valor descrito por Vale et al. (2004), de $0,11 \text{ g/cm}^3$ e está próximo ao valor do trabalho desenvolvido por Van Dam et al. (2006), de $0,15 \text{ g/cm}^3$. Os dois métodos utilizados na determinação da densidade básica obtiveram valores muito próximos, Método da Balança Hidrostática ($0,127 \text{ g/cm}^3$) e Método do Máximo Teor de Umidade ($0,129 \text{ g/cm}^3$), o que leva a inferir que ambos podem ser utilizados na

determinação da densidade básica da casca do coco-verde.

A densidade básica da casca do coco-verde pode ser considerada baixa quando comparada com as matérias-primas empregadas na produção de celulose e papel, classificadas como não madeiras, tais como: *Bambusa vulgaris* Schrad (AZZINI, 1976; TOMAZELLO FILHO e AZZINI, 1988) que variou de 0,428 g/cm³ a 0,810 g/cm³ e *Bambusa tuldoidea* Munro (AZZINI et al., 1988), que apresenta uma densidade média de 0,646 g/cm³; e classificadas como madeiras, *Pinus elliottii* (0,316 g/cm³), *Pinus taeda* (0,347 g/cm³) e *Pinus caribaea* (0,353 g/cm³) (FOELKEL, 1975). De acordo com Foelkel et al. (1990), madeiras menos densas levam à redução do rendimento volumétrico em celulose por volume de cavacos.

Composição química

O teor de extrativos encontrado (33,68%) foi alto comparando com teores de extrativos de madeiras como as coníferas, que variam de 5 a 8% e as folhosas que variam de 2 a 4% (BRITO, 1985). Já o teor de lignina (19,47%), pode ser considerado mediano quando comparado aos valores obtidos para madeira, 24 a 34% para coníferas, 25 a 33% para folhosas de zonas tropicais, 16 a 24% para folhosas de zona temperada e 17 a 23% para gramíneas (D'ALMEIDA, 1988).

Os resultados encontrados por outros autores para o coco diferem dos resultados obtidos no presente trabalho, como pode ser observado na Tabela 4.

É importante mencionar que, os trabalhos apresentados na Tabela 4 foram realizados com fibras de coco e não com a casca, conforme esta pesquisa. Por outro lado, da mesma forma que outros materiais fibrosos residuais, a fibra ou a casca de coco mostram uma ampla variação na composição

química. Segundo Van Dam et al. (2006), os valores dependem da variedade genética, da espécie, do tipo de solo, das condições de crescimento e da maturidade do coco no momento do corte.

Outra observação importante é que, segundo Van Dam et al. (2004b), o tecido parenquimático que envolve as fibras no mesocarpo possui uma quantidade de extrativos substancialmente maior que as fibras. Isto explica a grande diferença da quantidade de extrativos encontrada no presente estudo, no qual o material estudado é a casca do coco e na literatura citada, o material é somente a fibra. Apesar de as comparações serem feitas com materiais de composição diferentes do coco, tornam-se válidas como parâmetros referenciais para esta matéria-prima alternativa, uma vez que a literatura sobre a casca do coco-verde, como a pesquisada neste trabalho, é escassa.

Caracterização anatômica

As fibras das monocotiledôneas são em geral finas, cilíndricas e terminadas em ponta aguçada. A determinação das dimensões das fibras é importante para a caracterização de matérias-primas destinadas à produção de polpa celulósica, pois estas dimensões estão estreitamente associadas com a qualidade da polpa e as características do papel (SOFFNER, 2001).

O comprimento médio da fibra do coco-verde determinado neste estudo foi de 0,796 mm. Sob o ponto de vista papeleiro, Kuan et al. (1988), citado por Silva (1998), relataram que as fibras vegetais geralmente são classificadas como fibras longas quando possuem comprimento médio entre 2 e 5 mm e como fibras curtas quando possuem comprimento médio entre 0,5 e 1,5 mm. Assim, as fibras obtidas da casca do coco-verde podem ser classificadas como curtas, como as fibras do eucalipto.

TABELA 4: Composição química do coco descrita em diferentes trabalhos.

TABLE 4: Chemical composition of coconut described in different works.

Parâmetro	Teores (%)					
	Cardoso ¹ (2012)	Noguera et al. (2000)	Omar (2006)	Asasutjarit et al. (2007)	Ferraz (2011)	Rampazzo (2011)
Extrativos	33,68				4,86	9,76
Holocelulose	46,84	26 - 55	56,3	68,9	60,90	57,58
Lignina	19,47	35 - 45	32,8	32,1	34,24	33,66

Em que: ¹ Presente estudo.

Segundo Gonçalez (2011), a espessura da parede da fibra tem sua principal influência explicada como uma função de uma maior ou menor condição de sofrer colapso. As fibras de paredes espessas diminuem sua capacidade em sofrer colapso, mantendo suas formas tubulares na estrutura do papel, reduzindo a resistência deste. A espessura média da parede da fibra do coco (5,034 μm) é próxima à fibra de *Eucalyptus sp* (BARRICHELO e BRITO, 1976).

O índice de Runkel avalia o grau de colapso das fibras durante o processo de produção de papel. No presente estudo o índice de Runkel obtido foi de 1,50, sendo assim a polpa celulósica é classificada como regular para a produção de papel, de acordo com a classificação do Índice de Runkel, porém, a fração parede determinada (57,86%) encontra-se dentro do limite de até 60% recomendado por Foelkel et al. (1978) para a produção de polpa celulósica de boa qualidade. Em geral, admite-se que quando a fração parede for maior que 40%, as fibras serão mais rígidas.

Quanto ao coeficiente de flexibilidade, quanto maior seu valor, mais flexível será a fibra, ocorrendo maiores possibilidades de ligações entre as mesmas, o que aumentaria as resistências à tração e ao estouro do papel (FOELKEL et al., 1978). As fibras do material estudado são flexíveis, apresentando um bom valor (42,14%), o que indica que a mesma possui boa flexibilidade aliada à boa rigidez. O Índice de Enfeltramento indica que quanto maior o seu valor maior será a resistência da fibra ao rasgo e o valor encontrado para a fibra estudada (47,92%) pode ser considerado mediano.

A análise da estrutura anatômica do material estudado é de fundamental importância para verificar a frequência e porcentagem de fibras. Os cortes histológicos mostram que o mesocarpo do coco-verde possui uma estrutura anatômica típica de plantas monocotiledôneas: presença de feixes vasculares, grande quantidade de células de parênquima de preenchimento e esclereídes na parte apical (perto da epiderme).

A proporção de fibras na casca do coco-verde verificada nesta pesquisa foi de 22,11%, enquanto a porcentagem de parênquima foi de 77,88%. Van Dam et al. (2004b) relataram em seu estudo do mesocarpo do coco-verde, a presença de 28% de fibras e 72% de tecido parenquimático. Van Dam et al. (2004b) ainda, citando Ohler (1984) e Viswanathan e Gothandapani (1999), relatam a presença de 20 a 30% de fibras e 70 a 80% de tecido

parenquimático do peso do mesocarpo do coco.

Os elementos anatômicos mais importantes em termos de polpação são as fibras, pois estão relacionadas com o rendimento e qualidade da polpa celulósica. A casca do coco-verde possui baixa proporção de fibras, em comparação com os demais elementos anatômicos. E isto é um grande indicador de baixo rendimento no processo de polpação. Além disso, a polpa obtida deverá apresentar elevada proporção de células de parênquima, as quais colaboram para reduzir a ligação interfibras e, por consequência, reduzir as resistências mecânicas da polpa.

Polpação kraft

No processo de polpação kraft buscou-se atingir o número kappa 18, tendo em vista que o número kappa normalmente utilizado para polpação kraft não branqueada está entre 16 a 19 (FOELKEL, 2007). Para isso foram realizados três cozimentos, variando as condições de cada um. O cozimento 2 foi o escolhido para a repetição, visto que seus valores foram medianos podendo melhor representar o processo kraft adotado neste estudo.

Analisando separadamente os parâmetros rendimento bruto e depurado, teor de rejeitos e número kappa, em função do álcali ativo (Figuras 1, 2, 3 e 4) tem-se que, com o aumento do nível de álcali nos cozimentos houve um incremento do nível de deslignificação e, conseqüentemente, redução do número kappa, dos rendimentos (brutos e depurados) e do teor de rejeitos.

Considerando que o objetivo primordial da produção de polpas celulósicas não branqueáveis é obter o maior rendimento possível com menor número kappa, uma vez que esse parâmetro está relacionado ao consumo de matéria-prima e ao custo da polpa celulósica, observa-se que o material estudado não se ajusta a essa finalidade, pois não foi obtida uma boa deslignificação, mesmo com cargas alcalinas altas (Figura 1). Talvez a caracterização anatômica do material possa explicar este baixo rendimento do processo, visto que o material é composto por apenas 22,11% de fibras.

O rendimento bruto diminui com o aumento da carga alcalina aplicada, o que é explicado pelo aumento da deslignificação e da degradação das fibras. Contudo, no presente trabalho, mesmo nas cargas alcalinas mais baixas o rendimento bruto não alcançou 50% (Figura 2).

No Brasil, de modo geral, estabeleceu-se

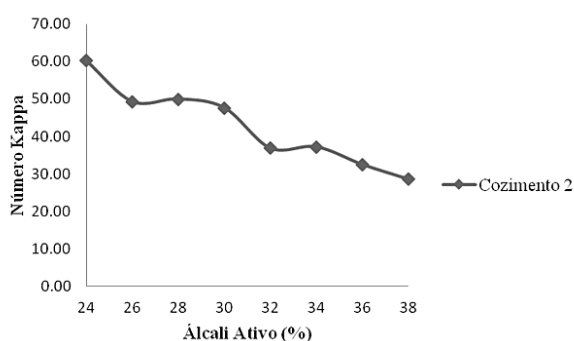


FIGURA 1: Valores de número kappa médio em função do álcali ativo para o processo de polpação kraft com coco.

FIGURE 1: Average values of kappa number as a function of alkali charge for the kraft pulping process with coconut.

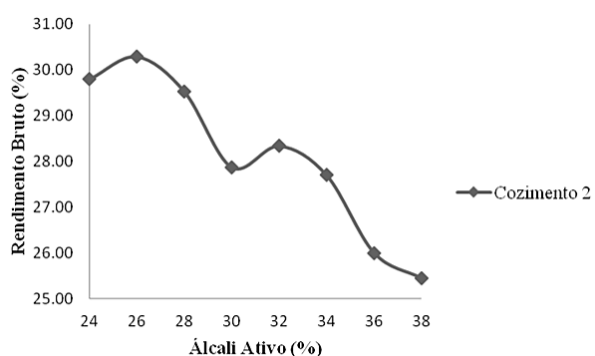


FIGURA 2: Valores de rendimentos brutos médios em função do álcali ativo para o processo de polpação kraft com coco.

FIGURE 2: Average value of gross yield as a function of alkali charge for the kraft pulping process with coconut.

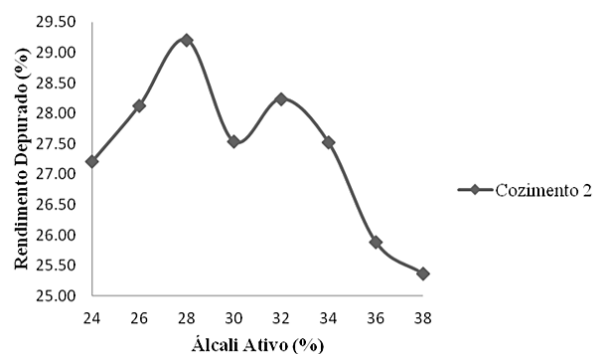


FIGURA 3: Valores de rendimentos depurados médios em função do álcali ativo para o processo de polpação kraft com coco.

FIGURE 3: Average value of screened yield as a function of alkali charge for the kraft pulping process with coconut.

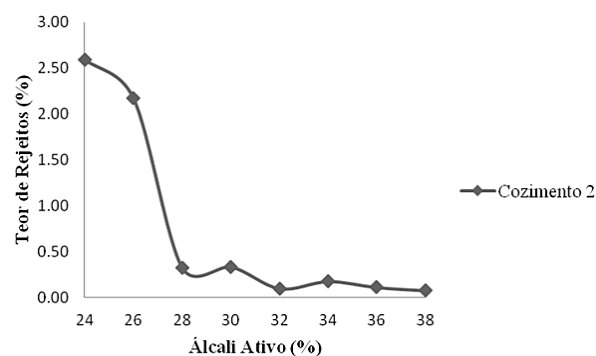


FIGURA 4: Valores de teor de rejeitos médio em função do álcali ativo para o processo de polpação kraft com coco.

FIGURE 4: Average value of reject content as a function of alkali charge for the kraft pulping process with coconut.

um rendimento de 50% como limite inferior para seleção de clones (GOMIDE et al., 2005). Gomide et al. (2010) em um estudo realizado com clones de *Eucalyptus sp*, nos quais foram feitos cozimentos kraft com carga alcalina média de 20%, obtiveram um rendimento médio de 49,5%. Darkwa (1978) utilizando os processos kraft e soda para a produção de polpa celulósica de *Musa paradisiaca* L., obteve rendimentos entre 50,4 e 34,5% e números kappa variando de 58,8 a 9,4, para o processo kraft.

A baixa densidade básica juntamente com a alta quantidade de extrativos presente no mesocarpo do coco-verde pode ter contribuído para o baixo rendimento encontrado associado às altas taxas de

álcali ativo, uma vez que os extrativos consomem os reagentes no processo de polpação, diminuindo a qualidade da polpa e o rendimento do processo.

Neste trabalho, no cozimento 2, os teores de rejeitos obtidos foram baixos, consequentemente os valores de rendimento bruto e depurado encontrados foram próximos (Figura 3).

Os teores de rejeitos encontrados para o cozimento 2 foram baixos, demonstrando que houve uma boa impregnação e difusão do licor de cozimento no material em estudo durante o processo de polpação (Figura 4).

As características da matéria-prima e os parâmetros do processo de polpação, principalmente

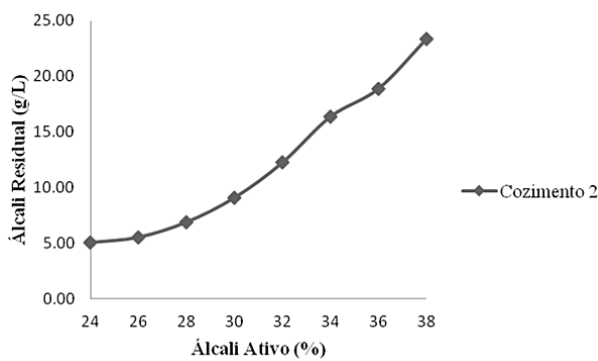


FIGURA 5: Álcali residual do licor negro em função da carga alcalina aplicada no cozimento kraft com o coco.

FIGURE 5: Alkali residual of the black liquor as a function of alkali charge for the kraft pulping process with coconut.

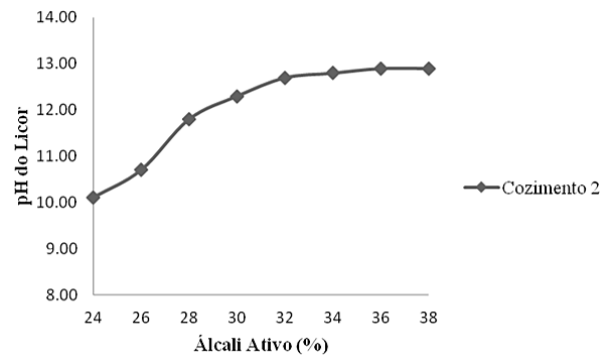


FIGURA 6: pH do licor negro em função da carga alcalina aplicada no cozimento kraft com o coco.

FIGURE 6: pH of the black liquor as a function of alkali charge for the kraft pulping process with coconut.

tempo e temperatura de impregnação, fator H e carga alcalina, estão intimamente relacionados ao teor de rejeitos no processo de polpação (ALMEIDA, 2003).

Análise do licor negro

O álcali residual representa o resíduo do álcali ativo (NaOH e Na_2S) após o cozimento, sendo quantificado através da análise do licor negro por titulação. No processo de polpação, o consumo de álcali tem grande importância, já que a falta de álcali no processo faz com que a reação não ocorra de forma completa e homogênea e o excesso de álcali promove a aceleração da polpação, não pretendida (COSTA, 2011).

A Figura 5 mostra que o álcali ativo residual reduziu com a diminuição da carga alcalina utilizada no cozimento. Contudo, é importante que o álcali ativo no final do processo não caia a níveis tão baixos que possam comprometer a qualidade da polpa através da reprecipitação da lignina (inferior a 5g/L) (GULLICHSEN, 1999). O teor mínimo de carga alcalina residual no cozimento 2 realizado neste trabalho foi de 5,00 g/L, estando na média do valor preconizado.

Os níveis de álcali ativo residual no licor negro estão diretamente relacionados ao pH do mesmo. Pela análise da Figura 6, observa-se que à medida que a carga alcalina aumenta tem-se um incremento na quantidade de álcali residual presente no licor negro e consequentemente valores mais

altos de pH.

Em seu estudo, Santos (2005) ressaltou ser extremamente importante que o pH do licor ao final do cozimento seja superior a 11, pois indica a presença suficiente de álcali residual, capaz de prevenir a precipitação de componentes orgânicos, inclusive a lignina, presentes no licor residual, o que prejudicaria a qualidade da polpa.

No presente estudo foram encontrados dois valores de pH abaixo de 11 no cozimento 2: 10,1 (24% de álcali ativo) e 10,7 (26% de álcali ativo), os quais coincidem com valores de álcali residual muito baixos. Todos os outros licores possuem pH superior a 11, tendo um pH médio de 12,3 (Figura 6).

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que a casca do coco-verde possui baixa densidade básica ($0,128 \text{ g/cm}^3$), elevado teor de extrativos totais (33,68%) e baixa proporção de fibras (22,11%). Estas características corroboraram para o baixo rendimento associado a elevadas taxas de álcali ativo aplicadas nos cozimentos realizados. As fibras da casca do coco-verde são classificadas como curtas e possuem características morfológicas que permitem sua utilização como matéria-prima para a produção de polpa celulósica, visando à fabricação de papel.

De modo geral, os parâmetros obtidos

no processo de polpação kraft demonstram que o material apresentou um bom nível de deslignificação, porém, com elevadas taxas de álcali ativo aplicado e baixo rendimento, demonstrando que o processo de polpação kraft, como foi realizado, não pode ser considerado uma alternativa tecnicamente viável para a produção de polpa celulósica a partir da casca do coco-verde. O cozimento 2 apresentou valores medianos que melhor caracterizam o comportamento do material em estudo no processo de polpação, sendo o escolhido para representar o processo kraft adotado neste estudo.

O processamento da casca do coco-verde, com o intuito de separar apenas as fibras presentes no material, e o uso de um pré-tratamento, como a lavagem do material com água quente, poderiam melhorar o processo de polpação e tornar o coco-verde uma alternativa tecnicamente viável para a produção de polpa celulósica. E, por ser um material ainda pouco explorado, recomenda-se a realização de estudos futuros que visem à caracterização e possíveis usos da casca do coco-verde, como a confecção de compósitos e outros produtos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F.S. **Influência da carga alcalina no processo de polpação Lo-Solids para madeira de eucalipto**. 166 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- ASASUTJARIT, C. et al. Development of coconut coir-based lightweight cement board. **Construction and Building Materials**, v.21,n.2 , p. 277-288. 2007.
- AZZINI, A. A influência das dimensões dos cavacos de *Bambusa vulgaris* Schrad no rendimento, porcentagem de rejeitos, número kappa e alvura da celulose obtida pelo processo sulfato. In: CONGRESSO ANUAL DA ABCP, 9. **Anais**. São Paulo: ABTCP. p.201-213. 1976.
- AZZINI, A.; CIARAMELLO, D. Dimensões das fibras em agave. **Bragantia**, Campinas , v. 36, n. 1, p.35-38. 1977.
- AZZINI, A. et al. Densidade básica do colmo e fibras celulósicas em progênies de *Bambusa tuldooides* Munro. **Bragantia**: v. 47, n.2, p.239-246. 1988.
- 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. 1996a.
- AZZINI, A.; ZIMBACK, L.; GONDIM-TOMAZ, R.M.A. Palha de cana-de-açúcar como matéria-prima na obtenção de fibras celulósicas para papel. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 1, p. 137-140. 1996b.
- BARRICHELO, L.E.G. & BRITO, J. O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria-prima para a indústria de celulose e papel. **Serie Divulgação PRODEPEF**, Brasília, n. 45, p. 1-145. 1976.
- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. A Utilização da Madeira na Produção de Celulose. In: **Circular Técnica** (pp. 1-16). Piracicaba: IPEF. 1979.
- BRITO, J.O. **Química da madeira**. Piracicaba: ESALQ. 126 p. 1985.
- CARRIJO, O. A., LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca de coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 533-535. 2002.
- COSTA, J. A. **Qualidade da madeira de Eucalyptus urograndis, plantado no Distrito Federal, para produção de celulose kraft**. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília. 2011.
- D'ALMEIDA, M.L.O. **Celulose e papel: tecnologia de fabricação do papel**. 2 ed. São Paulo: SENAI; IPT. 964 p. 1988.
- DARKWA, N.A. **Pulping characteristics of plantain (*Musa paradisiacal* L.) pseudostems**. 138 f. Thesis (Ph. D.) – North Carolina State University. North Carolina. 1978.
- FERRAZ, J.M. **Produção e propriedades de painéis de fibra de coco verde (*Cocos nucifera* L.) em mistura com cimento Portland**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília. 2011.
- FERRI, M. G. **Botânica: morfologia externa das plantas [organografia]**. 15ed. São Paulo: Editora NOBEL. p.148. 1990.
- FOELKEL, C. E. Resíduos sólidos industriais da produção de celulose Kraft de eucalipto. In: **Eucalyptus Online Book & Newslette**. 2007. Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT05_residuos.pdf> Acesso em: jun. 2012.
- FOELKEL, C. E.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. In: **Congresso Florestal Brasileiro**, 6, Campos do Jordão. Anais. Campos do Jordão: p.719-728. 1990.
- FOELKEL, C.E.B. Celulose kraft de *Pinus* spp. In: CONVENÇÃO ANUAL DA ABCP, 8, São Paulo, 1975. **Anais**. São Paulo: ABTCP. p.193-211. 1975.

- 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, n.2/3, p.65-74. 1971.
- FOELKEL, C.E.B. et al. (1978). Eucaliptos tropicais na produção de celulose kraft. In: **Cenibra Pesquisa** (pp. 1-31). Belo Oriente n.68. 1978.
- GOMIDE, J. L. et al. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de Eucalyptus do Brasil. In: **Revista Árvore** (pp. v.29, n.1, p.129-137). Viçosa. 2005.
- GOMIDE, J. L.; FANTUZZI N, H.; REGAZZI, A.J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.2 , 339-344. 2010.
- GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, R.C. Estudos das potencialidades do Bambusa vulgaris para produção de papéis tipo Kraft. **O Papel**, São paulo , v. 43, n. 7, p. 38-42. 1982.
- GONÇALEZ, J.C. **Nota de aula da disciplina Celulose e Papel**. 1o semestre de 2011. Universidade de Brasília/Departamento de Engenharia Florestal. 2011.
- GULLICHSEN, J. Fiber line operations. In: J. GULLICHSEN, & C. FOGELHOLM, **Chemical pulping** (pp. chap.2, p. A18-A243). Jyväskylä: Gummerus Printing. 1999.
- KUAN, G.S.S.; BENAZZI, R.C.; BERGMAN, S. Celulose e papel: tecnologia de fabricação do papel. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, v.2, p.757-796, 1988
- MELO, C.F.M.; WISNIEWSKI, A.; ALVES, S.M. Possibilidades papeleiras do açazeiro. **O Papel**, São Paulo , v. 36, n. 1, p. 33-43. 1975.
- NOGUERA, P. et al. Coconut coir waste, a new and viable ecologically-friendly peat substitute. In: **Acta Horticulturae**, 517 (pp. 279-286). 2000.
- OMAR, A. K. M. Chemical Composition, Anatomy, Lignin Distribution, and Cell Wall Structure of Malaysian Plant Waste Fiber. **BioResoucers**, v.1, n.2 , 220-232. 2006.
- PEREIRA, S. J. et al. Celulose de buriti (Mauritia vinifera Martius). **Scientia Forestales**, Piracicaba, n. 63, p. 202-213. 2003.
- PEREIRA, S.J. et al. Morfologia e densidade básica das folhas de tucum (Bactris inundata Martius). **Ciência Florestal**, Santa Maria, p 39-48. 2002.
- RAMPAZZO, A. P. **Caracterização físico-química e anatômica da fibra de coco verde (Cocos nucifera L.)**. Trabalho de conclusão do curso de graduação de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF. 2011.
- ROSA, M.F. et al. **Caracterização do pó da casca de coco verde usado como substrato agrícola**. Comunicado Técnico, 54. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical , p. 6. 2001.
- SANTOS, S. R. Influência da Qualidade da Madeira de Híbridos de Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla e do processo Kraft de polpação na Qualidade da Polpa Branqueada. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2005.
- SILVA, A.G. **Utilização do pseudocaulo de bananeira para produção de celulose e papel**. 90 f. Dissertação (M.S.) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1998.
- SOFFNER, M. L. A. P. **Produção de polpa celulósica a partir de engaço de bananeira**. 56 f. Dissertação (M.S.) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 2001.
- TAKAHASHI, H. Aproveitamento de fibra de coco verde com amido de mandioca visando aplicações em sistemas de embalagem. **XVII Congresso Interno de Iniciação Científica da Unicamp**, 1. Technical Association of Pulp and Paper Industry, Test methods. Atlanta: Tappi Press (1998). 2009.
- TOMAZELLO FILHO, M.; AZZINI, A. Variação e estrutura dos colmos de bambu (Bambusa vulgaris Schrad). **O papel**. v.49, n.12, p. 155-161. 1988.
- VALE, A. T.; BARROSO, R. A.; QUIRINO, W. F. Caracterização da biomassa e do carvão vegetal do coco da bahia (Cocos nucifera L.) para uso energético. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 4, p.365-370. 2004.
- VAN DAM, J.E.G., VAN DEN OEVER, M.J.A., KEIJERS, E.R.P. Production process for high density high performance binderless boards from whole coconut husk. **Industrial Crops Products**, 20, p 97-101. 2004b.
- VAN DAM, J.E.G. et al. Process for production or high density/high performance binderless boards from whole coconut husk Part2: Coconut rusk morphology, composition and properties. **Industrial Crops and Products**, 24, 96-104. 2006.