

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi comparar as características da madeira e das propriedades da polpa de *E. deglupta* Bl., tendo como referência o *E. saligna*. As características dimensionais das fibras e dos elementos de vasos da madeira em estudo apresentaram valores superiores aos da madeira de comparação. A constituição química da madeira de *E. deglupta* demonstrou menores valores para as solubilidades e elementos fundamentais. O *E. deglupta* se caracterizou por apresentar menor densidade básica e maior consumo de madeira por unidade de peso de celulose produzida. Foram obtidas polpas kraft das duas espécies e os melhores valores para resistência à tração, alongamento, arrebentamento e rasgo foram mostrados, inicialmente, pela polpa de *E. deglupta*. Entretanto, para dobras duplas, resistência à passagem de ar e densidade aparente, o *E. deglupta* apresentou resultados sempre inferiores aos do *E. saligna*.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a madeira do gênero *Eucalyptus* se constitui como uma das principais fontes de matéria-prima para a indústria papelreira, sendo responsável por 65% da celulose produzida pela indústria nacional. Apesar desta enorme aceitação do gênero, apenas um número reduzido de espécies são utilizadas a nível comercial, havendo sempre um grande interesse pela introdução de novas espécies, que atendam às exigências do setor industrial em qualidade e produção de madeira.

Uma espécie que tem merecido atenção tanto na Ásia e África tropical, como também na América Central e do Sul, onde existem plantios experimentais bem sucedidos, é o *E. deglupta* Bl. É uma espécie que adapta-se bem em região de clima tropical úmido de temperatura média anual de 24 - 26°C, precipitação 2500 - 4000 mm e regime de chuvas distribuído uniformemente durante o ano, cuja região compreende, no Amazonas, ao noroeste do Estado (Golfari & Neto, 1970). No município de Manaus, em um plantio realizado com o objetivo de produzir sementes, o *E. deglupta* Bl. proveniente de Papua, Nova Guiné, tem se

(*) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

destacado por um excelente incremento volumétrico (Fernandes, 1983). Na região do Jarí bons resultados têm sido apresentados pelo *E. deglupta* Bl., comparando com outras espécies exóticas, quanto ao índice de sobrevivência e desenvolvimento em altura, diâmetro e volume (Batista & Borges, 1983). É destacado por Grijpma, 1969, pela importância que a espécie poderá representar para os trópicos úmidos da América Latina, em virtude de seu rápido crescimento e diversidade de usos de sua madeira.

O *E. deglupta* Bl. é uma espécie relativamente bem estudada, visando seu aproveitamento na produção de celulose e algumas referências sobre a qualidade de suas celuloses podem ser encontradas na literatura (Koeppen, 1958; Phillips & Logan, 1976; Foelkel et al., 1978 & Logan et al., 1984). Por suas boas qualidades silviculturais que vêm sendo demonstradas em nossa região, o *E. deglupta* Bl. poderá torna-se uma espécie promissora para reflorestamento em larga escala e dentre outros usos, possivelmente para futura utilização na produção de celulose, conforme já vem sendo considerado em países do sudeste Asiático e Nova Guiné.

O presente trabalho teve como finalidade estudar algumas características da madeira e propriedades da polpa kraft não branqueada de *E. deglupta* Bl. Os resultados foram comparados com os obtidos de *E. saligna*, uma das espécies mais utilizadas na produção de celulose kraft na indústria nacional.

MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo foram utilizados o *Eucalyptus deglupta* Blume, proveniente de um plantio experimental para produção de sementes, com 5 anos e 7 meses de idade, quando do abate, localizado em Manaus - AM., desenvolvido pelo Departamento de Silvicultura Tropical do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e o *E. saligna*, procedente de plantações da Fábrica Simão em Jacaré - SP., que foi analisado para efeito de comparação. As árvores foram seccionadas em toras, descascadas manualmente e transformadas em cavacos, através de um picador laboratorial Appleton. Após a classificação dos cavacos em classificador sueco Vibro-Energy Separator, foram secos ao ar e armazenados em sacos plásticos para uniformização e conservação do teor de umidade.

Para a determinação das características anatômicas foi feita a individualização das fibras e dos demais elementos anatômicos, tratando-se os pequenos palitos de madeira com solução constituída de ácido acético glacial (50%), água oxigenada 130V (30%) e água destilada (20%), em estufa a 60°C. Foram realizadas 200 medições para cada característica e determinadas relações consideradas importantes entre as dimensões fundamentais das fibras. As análises químicas foram realizadas segundo normas da ABCP, à exceção da determinação do teor de celulose que foi realizado pelo método Kürschner e Hoffer. A densidade básica foi determinada de acordo com a norma TAPPI T 258 os - 76.

Para a deslignificação das madeiras foi empregado o processo kraft. Os cozimentos foram realizados em digestor rotativo, 1,5 rpm, de aço inoxidável, com capacidade de 50 litros, aquecido eletricamente, dotado de sete tubos-reatores com capacidade individual

de dois litros. Cada cozimento foi realizado com duas repetições. Os níveis de álcalis ativos adotados variaram de 11 à 18% como Na_2O , para analisar o desempenho de deslignificação das madeiras. Os outros parâmetros de cozimentos mantidos constantes foram os seguintes: sulfidez, 25%; atividade, 100%; temperatura, 170°C; tempo até temperatura, 100 minutos; tempo na temperatura, 50 minutos; relação licor madeira, 4:1 e cavacos, 300g a.s. Após os cozimentos os cavacos foram submetidos a uma lavagem preliminar e posteriormente desintegrados em "Allibe Pulper" e as polpas obtidas foram classificadas em depurador Brecht Holl, utilizando tela com fendas de 0,2mm. Para a determinação das propriedades físico-mecânicas foram escolhidas as polpas que apresentaram o grau de deslignificação de $20,5 \pm 0,5$. A moagem das polpas para desenvolvimento de resistências foi efetuado em moinho centrifugal Jokro à 6% de consistência. A confecção das folhas foi realizada em formador Köthen-Rapid e as propriedades físico-mecânicas foram determinadas segundo normas da ABCP. Os valores médios das propriedades foram graficamente interpolados para os graus de moagem pré-estabelecidos 20, 30, 40, 50 e 60° SR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dimensões das fibras e dos elementos vasculares

As dimensões das fibras e dos elementos vasculares das madeiras de *E. deglupta* e *E. saligna* estão apresentadas no Quadro I. Numa análise geral, observa-se que as dimensões das fibras e dos elementos vasculares da madeira de *E. deglupta* foram superiores aos da madeira de *E. saligna* e comparáveis aos valores apresentados por Redko (1983). Os valores para o comprimento e diâmetro do lúmen das fibras superaram aos da madeira de comparação, cerca de 15,5% e 4,9%, respectivamente. No que diz respeito aos parâmetros que relacionam as dimensões fundamentais das fibras, verifica-se que os coeficientes de flexibilidade foram iguais para as duas espécies, enquanto que o índice de Runkel e a fração parede resultaram, também, em valores muito próximos com ligeira superioridade para os de *E. deglupta*. Com relação ao índice de enfiamento, as fibras da madeira de *E. deglupta* apresentaram maior valor que as de *E. saligna*.

O número e dimensões dos elementos vasculares são importantes na utilização da madeira para a produção de polpa, tendo em vista que as propriedades de superfície dos papéis feitos com folhosas dependem da natureza e da compatibilidade dos mesmos com as fibras que o formam. O comprimento médio dos elementos vasculares da madeira de *E. deglupta* foi superior ao da madeira de *E. saligna* (0,50 e 0,40 mm, respectivamente). Valores semelhantes para largura foram apresentados pelas duas espécies. O maior comprimento apresentado pelo *E. deglupta*, possivelmente, não se tornaria um inconveniente na utilização de sua polpa, haja vista que o *E. deglupta* da região do Jarí, com características semelhante, tem apresentado resultados físico-mecânicos bastante promissores, Redko (1983).

Quadro 1. Características dimensionais das fibras e dos elementos vasculares das madeiras de *E. deglupta* e *E. saligna*.

| Dimensões | <i>E. deglupta</i> | <i>E. saligna</i> |
|--|--------------------|-------------------|
| F I B R A S | | |
| Comprimento, mm | | |
| . médio | 1,08 | 0,91 |
| . desvio-padrão | 0,22 | 0,17 |
| . coeficiente de variação, % | 0,20 | 0,19 |
| Largura, μm | | |
| . média | 18,58 | 17,53 |
| . desvio-padrão | 2,95 | 2,48 |
| . coeficiente de variação, % | 15,93 | 14,16 |
| Lúmen, μm | | |
| . médio | 9,66 | 9,18 |
| . desvio-padrão | 2,25 | 2,13 |
| . coeficiente de variação, % | 23,29 | 23,26 |
| Espessura da parede, μm | | |
| . média | 4,46 | 4,16 |
| . desvio-padrão | 1,07 | 1,18 |
| . coeficiente de variação, % | 23,99 | 28,36 |
| Coeficiente de flexibilidade, % | 52 | 52 |
| Índice de enfiamento | 58 | 52 |
| Fração parede, % | 48 | 47 |
| Índice de Runkel | 0,92 | 0,91 |
| ELEMENTOS DE VASOS | | |
| Comprimento, mm | | |
| . médio | 0,50 | 0,40 |
| . desvio-padrão | 0,11 | 0,01 |
| . coeficiente de variação, % | 21,50 | 23,96 |
| Largura, mm | | |
| . média | 0,20 | 0,19 |
| . desvio-padrão | 0,05 | 0,05 |
| . coeficiente de variação, % | 28,84 | 24,74 |

Composição química e densidade básica das madeiras

Os resultados médios das análises químicas e das densidades básicas das madeiras são mostrados no Quadro II.

Os valores encontrados para as solubilidades das madeiras em diferentes solventes

foram ligeiramente inferiores para o **E. deglupta**. Os menores teores de celulose e pentosanas foram apresentados pelo **E. deglupta**, os quais, associado aos seu teores mais elevado de lignina, que deverá ser particularmente significativo nos resultados de polpação pela sua maior dificuldade de deslignificação, contribuirão para que as polpas de **E. deglupta** apresentem rendimentos inferiores aos de **E. saligna**. Apesar do teor de cinzas do **E. deglupta** ter sido superior ao da madeira de comparação, provavelmente, não viria a causar problemas no processo de recuperação do licor negro. Com relação à densidade básica, o **E. deglupta** apresentaria um maior consumo específico de madeira por tonelada de celulose produzida.

Quadro II. Composição química e densidade básica das madeiras de **E. deglupta** e **E. saligna**.

| Análises | Espécies | |
|------------------------------------|--------------------|-------------------|
| | E. deglupta | E. saligna |
| Solubilidade em: | | |
| . água fria | 1,27 | 2,63 |
| . água quente | 3,14 | 3,23 |
| . NaOH 1% | 14,54 | 16,67 |
| . álcool-benzeno | 2,37 | 2,74 |
| Teor de: | | |
| . celulose | 50,75 | 52,24 |
| . pentosanas | 17,98 | 19,12 |
| . lignina | 24,54 | 20,76 |
| . cinzas | 0,38 | 0,16 |
| Densidade, g/cm³ | 0,404 | 0,446 |

Deslignificação das madeiras

Os valores médios referentes às características de deslignificação das madeiras encontram-se no Quadro III. O **E. deglupta** foi a espécie que apresentou maior dificuldade de deslignificação. Para a obtenção da polpa de número kappa próximo de 20, por exemplo, a necessidade de álcali ativo foi 2% superior para a madeira de **E. deglupta**. Na faixa dos limites de álcalis ativos analisados, o **E. deglupta** apresentou o maior rendimento total, apenas quando foi utilizado o nível de 11% de álcali ativo. Em termos de rendimento depurado, os resultados encontrados para o **E. deglupta** mostraram-se inferiores aos obtidos para o **E. saligna**. Os menores rendimentos apresentados pelo **E. deglupta** podem ser explicados pelos menores teores de celulose e pentosanas e maior teor de lignina da madeira. Com relação ao teor de rejeitos, nos níveis iniciais de álcalis (11 à 14%) o **E. deglupta** foi a espécie que resultou em maiores percentagens. A partir de 15% de álcali ativo, praticamente não houve diferença nos percentuais obtidos.

Quadro III. Influência do álcali ativo na polpação das madeiras de *E. deglupta* e *E. saligna*.

| Espécies | Alcali ativo % | Rendimento, % | | Teor de rejeitos % | Número kappa |
|--------------------|----------------|---------------|----------|--------------------|--------------|
| | | total | depurado | | |
| <i>E. deglupta</i> | 11 | 69,3 | 20,1 | 43,2 | 74,8 |
| <i>E. saligna</i> | | 57,3 | 38,1 | 19,2 | 47,9 |
| <i>E. deglupta</i> | 12 | 51,4 | 34,7 | 16,7 | 47,5 |
| <i>E. saligna</i> | | 57,4 | 52,9 | 4,5 | 30,2 |
| <i>E. deglupta</i> | 13 | 51,3 | 47,4 | 3,9 | 27,1 |
| <i>E. saligna</i> | | 53,2 | 51,0 | 2,1 | 23,8 |
| <i>E. deglupta</i> | 14 | 48,8 | 46,4 | 2,4 | 23,6 |
| <i>E. saligna</i> | | 51,1 | 49,9 | 1,2 | 20,3 |
| <i>E. deglupta</i> | 15 | 46,2 | 45,2 | 1,0 | 21,4 |
| <i>E. saligna</i> | | 49,4 | 48,6 | 0,8 | 19,1 |
| <i>E. deglupta</i> | 16 | 44,9 | 44,4 | 0,5 | 20,7 |
| <i>E. saligna</i> | | 48,1 | 48,1 | - | 18,4 |
| <i>E. deglupta</i> | 17 | 43,6 | 43,5 | 0,1 | 18,1 |
| <i>E. saligna</i> | | 46,9 | 46,8 | 0,1 | 17,2 |
| <i>E. deglupta</i> | 18 | 42,3 | 42,0 | 0,3 | 18,1 |
| <i>E. saligna</i> | | 45,9 | 45,9 | - | 16,6 |

Os valores referentes ao consumo de madeira por tonelada de celulose são mostrados no Quadro IV.

Quadro IV. Consumo específico por tonelada de celulose absolutamente seca (a.s.).

| Consumo específico | <i>E. deglupta</i> | <i>E. saligna</i> |
|------------------------------------|--------------------|-------------------|
| m ³ sólido/t polpa a.s. | 5,51 | 4,39 |

O consumo de madeira por tonelada de celulose é uma importante característica que relaciona a densidade básica da madeira e o seu respectivo rendimento em celulose depurada. O *E. deglupta* foi a espécie que apresentou o maior consumo específico volumétrico, o que deve-se ao fato de ser menos denso que o *E. saligna*.

Propriedades físico-mecânicas das polpas

Os Quadros V e VI apresentam os resultados médios encontrados para as propriedades físico-mecânicas das polpas.

O *E. deglupta* foi a espécie cuja polpa exigiu um maior tempo de refino para ummes

mo grau de moagem, o que, conseqüentemente, implica em maior consumo de energia. A maior facilidade de moagem apresentada pela polpa de *E. saligna* deve estar relacionada, possivelmente, com o teor mais elevado de hemiceluloses na madeira e com as características dimensionais das fibras (especificamente espessura da parede).

A resistência à tração, expressa como comprimento de auto-ruptura, o alongamento e o índice de arrebatamento da polpa de *E. deglupta* mostraram-se inicialmente superior, havendo entretanto, uma inversão de valores com o aumento do tempo de moagem, visto que por volta de 40 °SR, por exemplo, o *E. saligna* já demonstrava melhores valores para as propriedades em análise. Uma explicação para esse comportamento apresentado pela polpa de *E. deglupta*, em níveis mais baixos de moagem, é que sua polpa apresentava um maior grau de coesão interfibrilar causado, possivelmente, por um melhor desempenho nessa etapa de moagem, uma vez que as melhorias nas referidas propriedades foram mais pronunciadas nessa fase ou pelo fato da espécie possuir fibras de maior comprimento médio, os quais exigiram um maior esforço para se separarem da estrutura do papel. Por outro lado, os valores mais baixos de resistência apresentados com a intensificação da moagem, pode ter sido motivado pela maior exigência em álcali na polpação, com conseqüentes danos e eliminação de carboidratos, principalmente hemiceluloses, que, por conseguinte, devem ter contribuído para uma moagem mais lenta.

Com relação a resistência ao rasgo foi verificado, também, melhores valores para a polpa de *E. deglupta* nos graus iniciais de moagem, alcançando seu valor máximo a 50 °SR, enquanto a de *E. saligna* a 60 °SR, ainda demonstrava uma tendência de crescimento. As propriedades de resistência ao dobramento e resistência à passagem de ar foram igualmente superiores para a polpa de *E. saligna*, o que pode ser atribuído, provavelmente, a uma melhor homogeneidade de suas folhas.

Em vista de alguns resultados inferiores encontrados para o *E. deglupta*, uma possível objeção ao uso de sua polpa poderia estar relacionada com seu rendimento relativamente baixo. Este importante fator conduz a um sério problema econômico, que é a maior exigência da madeira por unidade de peso de polpa. Com relação às propriedades físico-mecânicas, a polpa da madeira de *E. deglupta* apresentou resistências aceitáveis.

Quadro V. Valores médios das propriedades físico-mecânicas da polpa de *E. deglupta* B1.

| Propriedades | °SR | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| Tempo de moagem, min. | 14 | 38 | 48 | 59 | 85 |
| Auto-ruptura, km | 4,87 | 6,60 | 6,92 | 7,15 | 7,60 |
| Alongamento, % | 1,00 | 1,45 | 1,50 | 1,93 | 2,40 |
| Índice de arrebatamento | 16,90 | 33,00 | 37,30 | 42,15 | 50,05 |
| Índice de rasgo | 72,00 | 100,5 | 104,0 | 106,5 | 104,9 |
| Dobras duplas | 7 | 14 | 16 | 69 | 130 |
| Resistência à passagem de ar, s/100 cm ³ | 1,6 | 3,3 | 3,6 | 8,2 | 23,3 |
| Densidade aparente, g/cm ³ | 0,566 | 0,612 | 0,625 | 0,645 | 0,680 |

Quadro VI. Valores médios das propriedades físico-mecânicas da polpa de *E. saligna*.

| Propriedades | °SR | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 |
| Tempo de moagem, min. | 09 | 32 | 41 | 55 | 81 |
| Auto-ruptura, km | 4,05 | 6,28 | 7,62 | 8,30 | 9,02 |
| Alongamento, % | 0,80 | 1,40 | 1,58 | 2,17 | 2,58 |
| Índice de arrebentamento | 11,90 | 30,06 | 36,90 | 48,20 | 60,20 |
| Índice de rasgo | 60,00 | 91,80 | 101,0 | 106,5 | 111,0 |
| Dobras duplas | 6 | 42 | 100 | 161 | 206 |
| Resistência à passagem de ar, s/100cm ³ | 2,0 | 6,9 | 17,1 | 26,2 | 140,0 |
| Densidade aparente, g/cm ³ | 0,590 | 0,626 | 0,647 | 0,666 | 0,687 |

SUMMARY

In this study the papermaking potencial of *E. deglupta* Bl. is compared with that of *E. saligna*. Anatomical and chemical characteristics were studied along with wood density. In the study of delignification *E. deglupta* required more alkali for the same kappa number. In early stages of beating pulp from *E. deglupta* showed better values of tearing. However for folding, resistance to air flow and apparent density *E. deglupta* consistently showed results inferior to those of *E. saligna*.

Referências bibliográficas

- Batista, M. P. & Borges, J. F. - 1983. Avaliação do crescimento de quatro espécies exóticas, na região do Jarí, Pará. In: **Congresso Latino-Americano de Celulose e Papel**, 3., São Paulo, v. 1. p. 1 - 15.
- Fernandes, N. de P. - 1983. O desenvolvimento do *Eucalyptus deglupta* no município de Manaus. **Boletim do Engenheiro Florestal**, Manaus, 1(2): 1 - 6, maio/junho/julho.
- Foelkel, C.E.B.; Zvinakevicius, C.; Andrade, J. R. de; Kato, J.; Sobrinho, J. M. - 1978. Eucaliptos tropicais na produção de celulose kraft. In: **Congresso Anual da ABCP**, 11., São Paulo. p. 5 - 12.
- Golfari, L. & Pinheiro Neto, F. A. - 1970. Escolha de espécies de eucalipto potencialmente aptas para diferentes regiões do Brasil. **Brasil Florestal**, São Paulo, 1(3): 17 - 38, julho/setembro.
- Koeppen, A. von - 1958. Pulping studies on *Eucalyptus deglupta* Bl., *Bruguiera parviflora* Wright and Arn., *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. **Tappi**, Atlanta, 41(8): 460-464.
- Logan, A. F.; Phillips, F. H.; Willians, M. D.; Eddowes, P. J. - 1984. Pulpwood potencial of some fast growing tropical hardwoods. **Appita**, 37(5): 391 - 99. (march).
- Phillips, F. H. & Logan, A. F. - 1976. Papua New Guinea hardwoods: Future source of raw material for pulping and papermaking. **Appita**, 30(1): 29 - 40. (july).
- Redko, B. V. P. - 1983. Vasos de Folhosas: *Eucalyptus deglupta*, *Eucalyptus urophylla*, *Gmelina arborea*. In: **Congresso Anual da ABCP**, 16, São Paulo, v. 4. p. 1169 - 1194.

(Aceito para publicação em 25.03.1988)