SCIENTIA
FORESTALIS

n. 70, p. 125-130, abril 2006

# Avaliação da estabilidade dimensional da madeira acetilada de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden

# Evaluation of the dimensional stability of the wood of *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden after acetylation

[1]Débora de Faria Ferreira Gomes; [2]José Reinaldo Moreira da Silva; [3]Maria Lucia Bianchi; [4]Paulo Fernando Trugilho

## *Resumo*

A modificação química promove melhoria da estabilidade dimensional através da redução de grupos hidroxila livres. Após o tratamento químico, faz-se necessária uma avaliação do material para que fique evidente a modificação química ocorrida. Esse trabalho teve como objetivo fazer a acetilação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden e avaliar o comportamento da madeira após o tratamento. Para tanto, os experimentos foram conduzidos avaliando-se três fatores: posição radial de amostragem na tora, extração com solvente orgânico e tempo de acetilação. Foram analisados corpos-de-prova com dimensões de 20 x 20 x 5 mm (radial:tangencial:longitudinal). Foram obtidos a eficiência do tratamento (ASE), ganho em massa (WPG) e avaliação dos espectros de FT-IR, nas posições radiais de amostragem, nos tratamentos de acetilação e na profundidade de penetração a 0%, 25% e 50%. As propriedades físicas, o ganho em massa (WPG) e a eficiência do tratamento (ASE) apresentaram padrão crescente da medula para a casca. Os espectros de FT-IR detectaram as bandas referentes ao acetato nas amostras acetiladas. Entretanto não houve diferença significativa a 5% nas áreas sob as bandas do acetato nos fatores avaliados.

**Palavras-chave**: Modificação química, Acetilação, Redução da retratibilidade, FT-IR, Eucalipto

## *Abstract*

The chemical modification of wood increases its dimensional stability, throughout the reduction of free hydroxyl groups. After the chemical treatment, it is necessary an assessment of the material so that become evident the occurred chemical modification. The objective of this work was to promote the acetylation of *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden wood and to evaluate the behavior of the material after treatment. So, the experiments were conducted by evaluating three factors: position of the radial sampling in the log, extraction by organic solvent and acetylation time. Samples of 20 x 20 x 5 mm (radial: tangential: longitudinal) were tested. The efficiency of the treatment (ASE), weight per gain (WPG) and evaluation of the FT-IR spectra were assessed. The physical properties, the weight per gain (WPG), and efficiency of the treatment (ASE) showed a pattern of growing from the pith to the bark. The FT-IR spectra detected the bands related to the acetate in the acetylated samples. Nevertheless, there was no significant difference at the level of 5% of probability in the areas under the acetate bands for the evaluated factors.

**Keywords**: Chemical modification, Acetylation, Shrinkage reduction, FT-IR, *Eucalyptus*

## INTRODUÇÃO

A madeira é um material higroscópico capaz de absorver e perder água para a atmosfera causando mudanças dimensionais, desde que abaixo do ponto de saturação das fibras (PSF). Essa higroscopicidade se deve à natureza hidrofílica dos constituintes da parede celular, onde as hidroxilas presentes na celulose, hemiceluloses e lignina são polares e podem se ligar a moléculas de água. Essa variação nas dimensões representa um importante problema prático no processamento e na utilização da madeira.

Por meio da modificação química, pode-se reduzir a tendência da madeira a sofrer variações dimensionais com as alterações de umidade.

[1]Mestre em Engenharia Florestal pela UFLA – Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 – Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: debora-faria@uol.com.br
[2]Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais da UFLA – Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 – Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: jreinaldo@ufla.br;
[3]Professora Adjunto II do Departamento de Química da UFLA – Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 – Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: bianchi@ufla.br
[4]Professor Adjunto IV do Departamento de Ciências Florestais da UFLA - Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: trugilho@ufla.br

Isso se deve ao fato de que as hidroxilas estariam ligadas a outros componentes, não estando assim disponíveis para interação com a água.

Um dos métodos mais promissores de modificação química é a esterificação da madeira. Nesta, a mais estudada é a acetilação com anidrido acético sem a presença de catalisador químico (HOMAN e BONGERS, 2004).

Na reação com anidrido acético, os grupos hidroxílicos presentes nos constituintes da parede celular são convertidos a grupos acetato que apresentam característica hidrofóbica. Essa substituição de grupos hidroxílicos por grupos acetato faz com que a madeira esteja em permanente estado de expansão (HOMAN *et al.*, 2000 e STAMM, 1964). Segundo Rowell (1983) trata-se de uma reação simples na qual o anidrido acético reage com os grupos hidroxílicos da madeira, gerando como subproduto o ácido acético (Figura 1).

$$M\text{-}OH + CH_3\text{-}\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}\text{-}O\text{-}\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}\text{-}CH_3 \rightarrow M\text{-}O\text{-}\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}\text{-}CH_3$$

Fonte: Rowell (1983)

**Figura 1.** Reação entre anidrido acético e grupos hidroxílicos da madeira, em que M = madeira. (Reaction between acetic anhydride and hydroxyl groups of wood, where M = wood)

Ainda de acordo com Rowell (1983), para ganhos em massa (WPG) de 20% a 25% tem-se uma redução da expansão de 70%. A madeira acetilada é mais densa que a não tratada e ocorrem alterações na cor e no brilho do material. Essa variação na cor depende das condições da reação e dos catalisadores utilizados.

Após a acetilação obtêm-se ganhos em massa (WPG) de 20%, que causam "bulking" na parede celular da madeira, principalmente na camada S3 da parede secundária e uma redução nas dimensões do lume (EVANS *et al.*, 2000).

As condições para as reações devem ser suaves e suficientes para que as características da madeira sejam mantidas (ROWELL, 2001). A temperatura requerida para a reação não deve ultrapassar 120°C para evitar degradação térmica nos constituintes da madeira (ROWELL, 1983).

A madeira a ser tratada deve conter umidade abaixo de 5%. Isso se deve ao fato de o grupo hidroxílico da água ser mais reativo que o grupo hidroxílico disponível na madeira, fazendo com que a hidrólise seja mais rápida que a substituição durante a reação (ROWELL, 1990).

De acordo com Cotrim *et al.* (1999), a espectroscopia no infravermelho tem sido amplamente utilizada na caracterização de madeiras. Várias pesquisas foram feitas para identificar espécies por meio da determinação de seus componentes utilizando os espectros de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR). Trata-se de uma técnica analítica não destrutiva e segura para se usar em madeiras.

Chauchan *et al.* (2001) obtiveram espectros de FT-IR de madeira acetilada de *Hevea brasiliensis*. Foram observados aumento de absorção em 1740 e 1220 $cm^{-1}$ e redução na banda entre 3000 e 3600 $cm^{-1}$. Segundo os autores, esses dados evidenciam a reação química entre o anidrido acético e os grupos hidroxílicos presentes na parede celular.

Adebajo e Frost (2004) obtiveram espectros de FT-IR de algodão acetilado com anidrido acético e catalisado com 4-dimetilaminopiridina (DMAP). Os autores detectaram uma redução na banda em 3337 $cm^{-1}$ referente ao grupo hidroxílico nas amostras acetiladas em relação às não acetiladas. Também foram detectados os acréscimos nas bandas dos grupos referentes ao acetato em 1742, 1368 e 1234 $cm^{-1}$.

Outro trabalho em que a acetilação foi avaliada por FT-IR foi desenvolvido por Khalil *et al.* (2002), no qual foi feita a reação entre anidrido acético e fibras de diversas origens. Também foi observado um aumento na absorção em 1750, 1375 e 1220 $cm^{-1}$ referentes ao grupo acetato. A região em 3400 $cm^{-1}$, referente aos grupos hidroxílicos, foi maior para as amostras não acetiladas.

Indrayan *et al.* (2000) acetilaram *Pinus merkusii* Jungh et de Vriese, *Anthocephalus sinensis* Lamk A. Rich ex Walp e *Pinus taeda*. Foi possível observar um acréscimo nas absorções em bandas de 1730, 1380 e 1240 $cm^{-1}$, todas referentes ao grupo do acetato.

Face ao exposto, esse trabalho objetivou acetilar a madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e avaliar a redução da instabilidade dimensional da mesma.

## MATERIAL E MÉTODOS

De uma árvore de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden foram retirados a 1,30 m de altura (DAP), corpos-de-prova em 3 posições radiais de amostragem: na região próxima à medula (Central), a 50% (Intermediária) e a 100% (Externa) do raio. Foram retirados dezesseis corpos-de-prova em cada posição radial, sendo quatro corpos utilizados para cada tratamento. Com intuito de facilitar o processo de retirada dos extrativos da

madeira e a penetração dos reagentes e baseando -se nos trabalhos de Hill *et al.* (1998), a dimensão de cada amostra foi de 20 x 20 x 5 mm.

Das amostras foram obtidas as massas, em balança de sensibilidade de 0,0001g e as dimensões lineares radiais e tangenciais mediante o uso de um micrômetro. O volume foi obtido pelo método da massa deslocada por imersão no mercúrio.

Foi feita a acetilação utilizando amostras com extrativos e amostras livres de extrativos. A remoção dos extrativos foi realizada em soxlet, sendo utilizada uma mistura de tolueno:acetona:metanol (4:1:1), e 5 horas de refluxo.

No processo de acetilação, primeiramente as amostras foram secas em estufa a vácuo, a 40°C até que adquirissem massa constante. Posteriormente, foram mergulhadas em anidrido acético em um béquer. O conjunto foi inserido em um recipiente, ao qual foi aplicado vácuo até que as amostras estivessem completamente saturadas. A saturação dos corpos-de-prova foi verificada quando estes submergiam no fundo do béquer contendo o anidrido acético. A seguir, o conjunto foi colocado em banho de óleo mineral à temperatura de 120°C, por 6 ou 12 horas. Após a reação, foi realizada nova extração com tolueno: acetona:metanol (4:1:1) por 5 horas, para que se retirassem resíduos de anidrido acético e do ácido acético formado durante a reação. O material foi então lavado com acetona e, em seguida, retornou para a estufa a (105 ± 5°C), até massa constante. Os novos valores da massa, dimensões e volume para a madeira acetilada foram obtidos de acordo com o procedimento descrito anteriormente.

Os valores de expansão volumétrica (S), redução da expansão ou resultado da eficiência do tratamento (ASE) e ganho em massa (WPG) foram obtidos conforme equações citadas por Stamm (1964), nas Equações 1 e 2, e pelos autores Mallon e Hill (2002) e Khalil *et al.* (2002), na Equação 3:

$$S = \left(\frac{V_2 - V_1}{V_1}\right) x\ 100 \qquad \textit{(Equação 1)}$$

em que: S = Coeficiente de expansão volumétrica (%).
$V_1$ = Volume de madeira seca ($cm^3$).
$V_2$ = Volume de madeira úmida ($cm^3$).

$$ASE = \left(\frac{S_2 - S_1}{S_1}\right) x\ 100 \qquad \textit{(Equação 2)}$$

em que: ASE = Eficiência do tratamento (%).
$S_1$ = Expansão volumétrica da madeira não tratada (%).
$S_2$ = Expansão volumétrica da madeira tratada (%).

$$WPG(\%) = \left(\frac{MT - MnT}{MnT}\right) x\ 100 \qquad \textit{(Equação 3)}$$

em que: WPG = Ganho em massa (%).
MT = Massa seca tratada (g).
MnT = Massa seca não tratada (g).

Para o grau de estabilidade da ASE, foram realizados quatro ciclos de imersão em água e secagem, para verificação do tratamento químico na parede celular (ROWELL, 1983). Em cada ciclo, foram obtidos o coeficiente de expansão volumétrica (S) para amostras acetiladas e controle, a eficiência do tipo de acetilação (ASE) e o ganho em massa (WPG) para amostras acetiladas. Foram obtidas lâminas de 14 µm de espessura no plano transversal a 0%, 25% e 50% no sentido longitudinal dos corpos-de-prova para avaliação da penetração do anidrido acético. Para isso as amostras foram impregnadas, a vácuo, com óleo mineral nujol, a fim de possibilitar o corte no micrótomo. Os espectros de FT-IR foram obtidos por meio dr aparelho de infravermelho Digilab série Excalibur, FTS 3000 com acessório de reflectância total atenuada (ATR) a 45°. Em cada amostra transversal foram realizadas três leituras em posições diferentes, a fim de se obterem dados representativos para cada profundidade avaliada. A avaliação experimental foi realizada utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado, à significância de 5%.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade básica e as contrações lineares e volumétricas apresentaram diferença significativa a 5% de significância nas posições radiais avaliadas (Tabela 1). Segundo Panshin e De Zeeuw (1970), essa tendência é explicada pela presença de madeira juvenil, próxima à medula, e adulta, próxima à casca. As células juvenis são mais curtas e apresentam paredes mais finas, o que propicia menor quantidade de massa nas posições intermediária e central. Segundo Silva (2002) e Tsoumis (1991), as contrações apresentam relação diretamente proporcional à densidade.

Os valores médios (%) e o teste de médias para a eficiência do tratamento (ASE) e ganho em massa (WPG), encontram-se na Tabela 2. A eficiência do tratamento (ASE) e o ganho em massa (WPG) apresentaram mesmo padrão de distribuição, aumentando no sentido medula-casca. Essa tendência está de acordo com Stamm (1964), que afirmou existir uma relação direta entre esses dois fatores.

**Tabela 1.** Comparação múltipla das médias para as propriedades físicas da madeira, em função da posição radial de amostragem no caule. (Multiple comparison of the means for the physical characteristics of wood, related to the radial position of sampling in the stem).

| Posição radial de amostragem | Db ($g/cm^3$) | Contrações (em %) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Volumétrica | Tangencial | Radial |
| Externa | 0,620 a | 12,8 a | 8,3 a | 4,0 a |
| Intermediária | 0,543 b | 11,4 b | 7,2 b | 3,3 b |
| Central | 0,520 b | 10,8 b | 6,6 c | 3,4 b |
| CV (%) | 4,8 | 6,9 | 5,1 | 6,2 |

Db = Densidade básica; CV = coeficiente de variação
Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

**Tabela 2.** Comparação múltipla das médias para a eficiência do tratamento (ASE) e ganho em massa (WPG), em função das posições radiais de amostragem no caule. (Multiple comparisons of the means for the ant shrink efficiency (ASE) and weight per gain (WPG) related to the radial position of sampling in the stem).

| Posição Radial | ASE (%) | WPG (%) |
|---|---|---|
| Externa | 56,13 a | 14,89 a |
| Intermediária | 54,28 a | 13,91 b |
| Central | 50,37 b | 11,18 c |
| Média | 53,59 | 13,29 |

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

Foram encontrados valores de WPG menores do que os encontrados por Rowell (1990), para o *Pinus taeda*, que foram de 13,9 a 22,8%. Os resultados foram semelhantes ao encontrado por Chauchan *et al* (2001), para *Hevea brasiliensis*, com WPG 13,8%. Entretanto, esses autores não analisaram a posição radial de amostragem.

Na Figura 2 encontram-se os espectros da madeira com e sem acetilação. Os espectros de infravermelho por transformada de Fourier (FT-IR) comprovaram a presença da acetilação por meio das bandas em 1740 $cm^{-1}$, referente ao estiramento da ligação C=O; em 1367 $cm^{-1}$, referente ao estiramento da ligação C-H, e em 1220 $cm^{-1}$, referente ao estiramento da ligação C-H, na amostra acetilada.

Khalil *et al.* (2002) afirmaram que se podem associar as áreas sob as bandas referentes ao grupo acetato com a quantidade desse produto presente na amostra após cada acetilação. A seguir, encontram-se as análises de variância para os fatores posição radial de amostragem, diferentes acetilações e suas interações e também para a profundidade de amostragem nas áreas sob as bandas do acetato.

Na Tabela 3 encontram-se os valores médios das áreas sob as bandas referentes ao acetato, em cada posição radial de amostragem. Pôde-se verificar semelhança entre os valores das posições central e intermediária, para as bandas em 1740 e 1367 $cm^{-1}$. Em todas as bandas observou-se que as maiores médias foram encontradas na posição externa.

**Tabela 3.** Dispersão dos valores médios das áreas sob as bandas do acetato, avaliadas em função da posição radial de amostragem no caule. (Dispersion of area average values under the acetate bands evaluated as function of radial position of sampling in the stem).

| Onda ($cm^{-1}$) | Posição radial de amostragem | | |
|---|---|---|---|
| | Central | Intermediária | Externa |
| 1740 | 0,592 | 0,586 | 0,626 |
| 1367 | 0,091 | 0,092 | 0,097 |
| 1220 | 0,762 | 0,707 | 0,860 |

Na Tabela 4 encontram-se os valores médios das áreas sob as bandas do acetato, obtidas nas diferentes acetilações avaliadas. Observou-se que as bandas do acetato não detectaram diferença significativa, a 5% de significância. Esses dados informam que, independente do tempo e presença ou não de extração, a acetilação ocorreu de forma semelhante. Também se observou que as maiores áreas são obtidas nas acetilações de 12 horas, independente da extração ou não da madeira, mostrando a maior presença do acetato e, conseqüentemente, que este tratamento é mais efetivo.

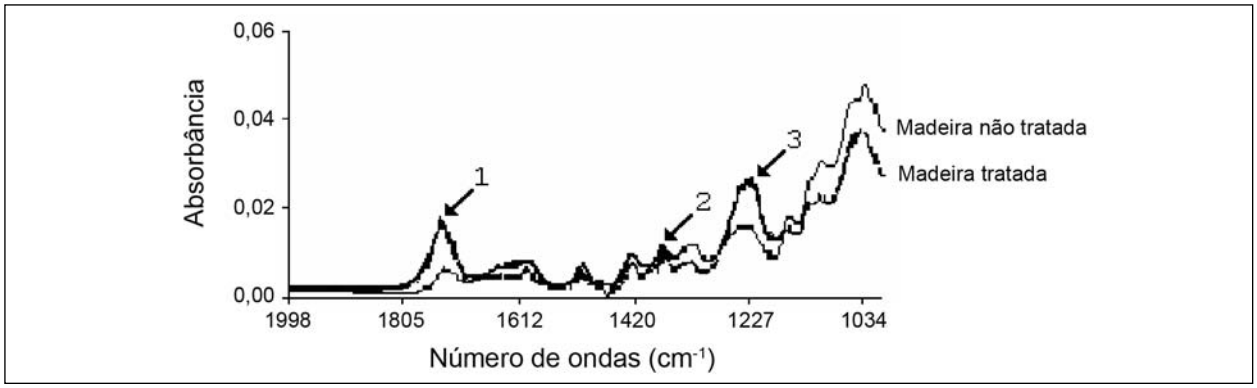


**Figura 2.** Espectros de FT-IR dos pontos médios das amostras tratadas e não-tratadas: 1 = absorção em 1740 $cm^{-1}$ (C=O), 2 = absorção em 1367 $cm^{-1}$ (C-H) e 3 = absorção em 1220 $cm^{-1}$ (C-H), do grupo acetato. (FT-IR Spectra of the average points of treated and non treated samples: 1 = absorption in 1740 $cm^{-1}$ (C=O), 2 = absorption in 1367 $cm^{-1}$ (C-H) and 3 = absorption in 1220 $cm^{-1}$ (C-H), of acetate group).

**Tabela 4.** Valores médios das áreas sob as bandas do acetato, em função das diferentes acetilações. (Area average values under the acetate bands, as function of the different acetylations).

| Onda ($cm^{-1}$) | Diferentes acetilações | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Com extração | | Sem extração | |
| | 6 horas | 12 horas | 6 horas | 12 horas |
| 1740 | 0,581 | 0,684 | 0,519 | 0,621 |
| 1367 | 0,089 | 0,105 | 0,083 | 0,095 |
| 1220 | 0,705 | 0,842 | 0,701 | 0,860 |

A análise de variância das áreas sob as bandas do acetato indicou efeito significativo para a interação (posições radiais de amostragem versus acetilações), apenas para a banda em 1220 $cm^{-1}$. A Tabela 5 apresenta o resultado do desdobramento da interação e avaliação da posição radial de amostragem dentro das diferentes acetilações de 6 horas, pois as acetilações de 12 horas não apresentaram efeito significativo dessa interação. Observa-se que, para a acetilação de 6 horas, as maiores áreas foram obtidas na posição radial externa.

**Tabela 5.** Desdobramento da interação entre posição radial de amostragem e acetilações de 6 horas, para a banda do acetato em 1220 $cm^{-1}$. (Interaction between sampling radial position and acetylation of six hours time, for the band of acetate in 1220 $cm^{-1}$).

| Posição radial de amostragem | Acetilações em 6 horas | |
|---|---|---|
| | Com extração | Sem extração |
| Externa | 0,862 a | 0,921 a |
| Intermediária | 0,750 a b | 0,521 b |
| Central | 0,502 b | 0,659 a b |

Médias seguidas de letras iguais nas colunas não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

A Tabela 6 apresenta o resultado do desdobramento da interação e avaliação das diferentes acetilações dentro da posição central de amostragem, pois as posições intermediárias e externas não apresentaram efeito significativo dessa interação. Os dados apresentados mostraram que as diferenças, significativas a 5% de significância, para a banda de 1220 $cm^{-1}$ ocorreram na posição de amostragem central, para a qual as maiores áreas foram obtidas nas acetilações de 12 horas. As diferenças obtidas na posição central ocorrem, possivelmente, devido à maior quantidade de extrativos nesta região, dificultando a penetração e a reação e também pelo fato dessa região ser constituída por madeira juvenil, com baixa permeabilidade.

Não houve diferença significativa a 5% de significância entre as profundidades de amostragem da madeira avaliadas, em função das áreas sob as bandas do acetato. Dessa forma, pode-se assegurar que os tipos de acetilação utilizados, em todas as posições radiais, foram eficientes em penetrar e reagir a 0,25 cm da espessura do corpo-de-prova, representando metade do seu comprimento. Esse fato revela que a acetilação foi bem sucedida ao longo de todo o comprimento das amostras, com penetração a partir dos planos, principalmente do transversal, devida à disposição dos elementos anatômicos.

**Tabela 6.** Desdobramento da interação entre diferentes acelilações e posição central de amostragem, para a banda do acetato em 1220 $cm^{-1}$. (Interaction between acetilations and sampling central position, for the band of acetate in 1220 $cm^{-1}$).

| Diferentes acetilações | Posição central |
|---|---|
| Sem extração e 12 horas de acetilação | 1,047 a |
| Com extração e 12 horas de acetilação | 0,840 a b |
| Sem extração e 6 horas de acetilação | 0,659 b |
| Com extração e 6 horas de acetilação | 0,502 b |

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Tukey.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que:

- a eficiência das acetilações ou redução da expansão volumétrica (ASE), o ganho em massa (WPG), a densidade básica e as contrações lineares e volumétricas apresentaram padrão de distribuição crescente no sentido medula-casca;
- os espectros de FT-IR detectaram as bandas do acetato em 1740 $cm^{-1}$ (C=O), 1367 $cm^{-1}$ (C-H) e 1220 $cm^{-1}$ (C-H), presentes nas amostras acetiladas;
- as áreas sob as bandas do acetato não apresentaram diferenças significativas entre as posições radiais de amostragem;
- as áreas sob as bandas do acetato não apresentaram diferença significativa entre as acetilações;
- A região central foi a única que apresentou efeito significativo para a interação (posições radiais de amostragem versus acetilações), apenas para a banda em 1220 $cm^{-1}$. Os maiores valores foram obtidos nos tempos de 12 horas de acetilação;
- não foi encontrada diferença significativa entre as profundidades de amostragem, evidenciando que houve reação até 50% do comprimento da amostra (0.25 cm).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEBAJO, M.O.; FROST, R.L. Infrared and 13C MAS nuclear magnetic resonance spectroscopic study of acetylation of cotton. **Spectrochimica Acta Part A**, Oxford, v.60, n.1/2, p.449-453, 2004.

CHAUCHAN, S.S.; AGGARWAL, P.; KARMARKAR, A.; PANDEY, K.K. Moisture adsorption behavior of esterified rubber wood (*Hevea brasiliensis*). **Holz als Roh- und Werkstoff**, New York, v.59, n.4, p.250-253, 2001.

COTRIM, A.R.; FERRAZ, A.; GONÇALVES, A.R.; SILVA, F.T.; BRU, R.E. Identifying the origin of lignin and monitoring their structural changes by mea of FTIR-PCA and –SIMCA. **Bioresouce Technology**, Oxford, v.68, n.1, p.29-34, 1999.

EVANS, P.D.; WALLIS, A.F.A.; OWEN, N.L. Weathering of chemically modified wood surfaces: natural weathering of Scots pine acetylated to different weight gain. **Wood Science and Technology**, New York, v.34, n.2, p.151-165, 2000.

HILL, C.A.S; JONES, D; STRICKLAND, G.; CETIN, N.S. Kinetic and mechanistic aspects of the acetylation of wood with acetic anhydride. **Holzforschung, Berlin**, v.52, n.6, p.623-629, 1998.

HOMAN, W.J.; BONGERS, F. Influence of up-scaling processes on degree and gradient of acetylation in Spruce and Beech. In: FINAL WORKSHOP COST ACTION E22 ENVIRONMENTAL OPTIMIZATION OF WOOD PROTECTION, Estoril, 2004. **Proceedings**. Estoril: International Research Group on Wood Protection, 2004.

HOMAN, W.J.; TJEERDSMA, B.F.; BECKERS, E.P.J.; JORISSEN, A. Structural and other properties of modified wood. In: CONGRESS WCTE, 2000, Whistler. **Proceedings**. Whistler, 2000.

INDRAYAN, Y.; YUSUF, S.; HADI, Y.S.; NANDIKA, D.; IBACH, R.E. Dry wood termite resistance of acetylated and polymerized tributyltin acrylate (TBTA) Indonesian and USA wood: sustainable utilization of forest products: socio-economical and ecological management of tropical forests. In: INTERNATIONAL WOOD SCIENCE SYMPOSIUM, 3., 2000, Kyoto. **Proceedings**... Kyoto, 2000. p.181-187.

KHALIL, H.P.S.A.; ISMAIL, H.; ROZMAN, H.D.; AHMAD, M.N. The effect of acetylation on interfacial strength between plant fibers and various matrices. **European Polymer Journal**, Oxford, v.37, n.5, p.1037-1045, 2002.

MALLON, S.; HILL, C.A.S. Covalent bonding of wood through chemical activation. International **Journal of Adhesion and Adhesives**, Oxford, v.22, n.6, p.465-469, 2002.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill, 1970. 705p.

ROWELL, R.M. Chemical modification of wood: a review. **Commonwealth Forestry Bureau**, Oxford, v.6, n.12, p.363-382, 1983.

ROWELL, R.M. Chemical modification of wood. In: HON, D.N.S.; SHIRAISHI, N. (Ed.). **Wood and cellulosic chemistry**. New York: Marcel Dekker, 1990. p.703-756.

ROWELL, R.M. Performance driven composites from lignocellulosic resources. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENCE AND TECHNOLOGY OF COMPOSITE MATERIALS, 2001, Mar del Plata. **Proceedings**. Mar del Plata, 2001. p.29-32.

SILVA, J.R.M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden**. 2002. 179p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

STAMM, A.J. **Wood and cellulose science**. New York: Ronald Press, 1964. 549p.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure: properties and utilization**. New York: Chapmam & Hall, 1991. 494p.

Recebido em 09/03/2005
Aceito para publicação em 16/03/2006