



Caracterização tecnológica da madeira de *Trattinnickia burserifolia* Mart. submetida ao tratamento de acetilação

Gustavo Gomes FIGUEIREDO^{1*}, Andressa Thaís Porazzi BORTOLINI¹,
Diego Martins STANGERLIN¹, Elisângela PARIZ¹, Denise dos Santos OLIVEIRA¹

¹Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, Mato Grosso, Brasil.

*E-mail: gustavofigueiredo13@gmail.com

Recebido em setembro/2018; Aceito em abril/2019.

RESUMO: O tratamento de acetilação é um processo químico de modificação da madeira que visa melhorar algumas das suas propriedades, agregando maior valor ao produto final. Deste modo, objetivou-se avaliar as propriedades físicas, mecânicas e biológicas da madeira acetilada de *Trattinnickia burserifolia* Mart. (amescla). Os tratamentos de acetilação efetuaram-se por imersão em anidrido acético durante dois períodos de tempo – 3 e 6 horas – com temperatura constante de 80°C. O tempo de tratamento de acetilação influenciou significativamente no ganho de massa da madeira, sendo verificados os maiores valores para o tratamento de 6 horas. Por outro lado, a massa específica não foi influenciada significativamente pelo tempo de tratamento. Na absorção em água e retratibilidade volumétrica, após o tempo de 2 horas, 24 horas e saturação total, o tratamento de 6 horas foi o mais eficaz. Na propriedade mecânica de dureza Rockwell, evidenciou-se que a madeira tratada apresentou maiores valores de resistência mecânica. A acetilação da madeira de amescla proporcionou aumento da resistência biológica ao ataque de cupins xilófagos.

Palavras-chave: modificação química; qualidade da madeira; madeira tropical.

Technological characterization of amescla wood submitted to acetylation treatment

ABSTRACT: The acetylation treatment is a chemical process of wood modification that aims to improve some of its properties, adding more value for the final product. In this way, this study aimed to evaluate the physical, mechanical and biological properties of the amescla wood. The acetylation treatment was performed by immersion in acetic anhydride over two time periods – 3 and 6 hours – with a constant temperature of 80°C. The time period of acetylation influenced significantly in the WPG (weight percentual gain) of the wood, and the highest values were noticed for the 6 hours treatment. On the other hand, the density was not significantly influenced by the treatment time. In water absorption and volumetric swelling after 2 hours, 24 hours and full saturation, the 6 hours treatment was most effective. The mechanical property of Rockwell hardness demonstrated that the treated wood had higher mechanical strength values. The acetylation of amescla wood has provided increased biological resistance to xylophagous termites.

Keywords: chemical modification; wood quality; tropical wood.

1. INTRODUÇÃO

A madeira apresenta ampla empregabilidade, tanto para fins estruturais (construção civil e rural) quanto não estruturais (móveis), sendo sua utilização definida com base no conhecimento das propriedades tecnológicas. A suscetibilidade à deterioração biológica, a baixa resistência mecânica e a instabilidade dimensional são três características que podem limitar o emprego de uma determinada madeira.

Nesse sentido, diversos métodos de modificação da estrutura da madeira têm sido estudados visando a melhoria das propriedades tecnológicas, em especial de madeiras de baixo valor agregado. Os métodos de modificação da estrutura da madeira podem ser classificados em: química, térmica, de superfície e de impregnação (HILL, 2006).

A modificação química da madeira pode ser definida como uma reação química entre as partes reativas da parede celular, em geral os grupos hidroxílicos, e o reagente químico, com ou sem presença de catalisador, formando ligações covalentes (ÖZMEN; ÇETIN, 2012). Dentre os métodos de modificação química, pode-se destacar o processo de

acetilação com anidrido acético, sendo esse um dos mais estudados e empregados industrialmente (ROWELL, 2013; ROWELL, 2014).

A principal característica da madeira acetilada é a melhoria da estabilidade dimensional, sendo essa relacionada com a conversão dos grupos hidroxílicos em grupos acetatos (GOMES et al., 2006; ROWELL et al., 2009; AZEH et al., 2013; ROWELL, 2016). Na madeira não acetilada, os grupos hidroxílicos, em especial aqueles que estão presentes na estrutura das polioses, interagem com a umidade do ambiente, resultando nas variações dimensionais da madeira. Por sua vez, na madeira acetilada, a presença dos grupos acetatos minimiza as interações com as moléculas de água do ambiente, reduzindo a sua característica de hidrofiliidade (ROWELL, 2014).

Outras propriedades da madeira também são modificadas com o processo de acetilação, dentre as quais pode-se destacar a resistência biológica e mecânica. Estudos de laboratório e de campo tem demonstrado que o processo de acetilação da madeira inibe o ataque de fungos apodrecedores, brocas

marinhas e cupins xilófagos, de modo a ampliar a vida útil do material tratado em serviço (MOHEBBY; MILITZ, 2010; PAPADOPOULOS, 2010; ROWELL, 2014).

Em relação à resistência mecânica, a influência da acetilação é pouco significativa para madeiras secas (ROWELL et al., 2009; PAPADOPOULOS; TOUNTZIARAKIS, 2011). Entretanto, para situações de uso em que a madeira fique exposta em condições de elevada umidade, o processo de acetilação minimiza as perdas de resistência mecânica em comparação às madeiras não acetiladas (ROWELL, 2014).

Atualmente no exterior, sobretudo na Europa, o tratamento de acetilação já vem sendo utilizado em escala industrial, e os produtos oriundos deste processo tem sido inseridos no mercado com grande valor agregado (ROWELL, 2006). Contudo, no Brasil este método ainda se encontra em estágio de pesquisa, com resultados ainda escassos.

A madeira de *Trattinnickia burserifolia* Mart. (amescla) não é considerada nobre, haja vista sua baixa densidade, preço de mercado e resistência, além do fato de trocar facilmente umidade com o meio externo, tornando-a dimensionalmente instável (SILVA, 2013). Por este motivo, esta espécie acaba por ser utilizada para fins que não exijam muito das suas propriedades tecnológicas, sendo geralmente empregadas em caixarias e produtos afins. Para casos como este, o tratamento de acetilação é uma importante ferramenta para melhorar as propriedades do material e agregar valor ao produto final.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é avaliar a influência do tratamento de acetilação nas propriedades física, mecânica e biológica da madeira de *Trattinnickia burserifolia* Mart. (amescla).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Coleta e preparo das amostras

Neste trabalho foram utilizadas 60 corpos de prova da madeira de *Trattinnickia burserifolia* Mart. (amescla), com dimensões nominais de 2 x 2 x 1 cm (sendo a menor dimensão no sentido axial), os quais foram obtidos a partir de tábuas serradas comercializadas em madeireira localizada no município de Feliz Natal, Mato Grosso.

Os corpos de prova foram submetidos à secagem em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 60°C, até atingirem a massa constante (condição anidra). Ao final do processo, foram mensuradas a massa e o volume dos corpos de prova, com auxílio de balança analítica e paquímetro digital, respectivamente. A partir da relação entre as duas variáveis determinou-se a massa específica.

As madeiras de amescla foram separadas em três grupos, cada um com 20 corpos de prova. No primeiro e segundo grupos, os corpos de prova foram submetidos ao processo de acetilação durante 3 e 6 h, respectivamente. No terceiro grupo, os corpos de prova foram utilizados como material testemunha (controle), sem realização de tratamento de acetilação.

2.2. Tratamento de acetilação

Os tratamentos de acetilação foram realizados por meio da imersão dos corpos de prova de amescla em béquer contendo o reagente anidrido acético; o material foi mantido em aquecimento à temperatura de 80° C, por meio de um banho-maria. Após os períodos de 3 e 6 h de tratamento de acetilação, os corpos de prova foram retirados do banho-maria, submetidos a lavagem com etanol, para remoção do excesso

do anidrido acético e mantidos em secagem à temperatura de 60°C, até obtenção de massa anidra.

2.3. Ganho de massa e massa específica

Ao final da secagem das madeiras acetiladas, determinou-se a o ganho de massa de cada corpo de prova, obtido por meio da relação entre a massa seca antes e depois do processo de acetilação (Equação 1). A massa específica aparente foi determinada para as madeiras acetiladas e testemunhas (não acetiladas) por meio da relação entre a massa e o volume e, em condições anidras, de acordo com a norma NBR 7190 (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 1997) (Equação 2).

$$GM = \left(\frac{M_t - M_{nt}}{M_{nt}} \right) * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

em que: GM = ganho de massa (%); M_t = massa seca da madeira tratada (g); M_{nt} = massa seca da madeira não tratada (g).

$$ME = \frac{M}{V} \quad (\text{Equação 2})$$

em que: ME = massa específica (g/cm³); M = massa (g); V = volume (cm³).

2.4. Absorção em água e inchamento volumétrico

Para determinação do inchamento volumétrico e da absorção em água foram seguidos os procedimentos estabelecidos pela Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1997). Para tanto, 10 corpos de prova de cada tratamento (testemunha, 3 e 6 h de acetilação) foram imersos em água destilada. Foram mensuradas a massa e o volume de cada corpo de prova nos intervalos de 2 h, 24 h e até a saturação total, sendo posteriormente determinados os valores de inchamento volumétrico (Equação 3) e de absorção em água (Equação 4).

$$IV = \left(\frac{V_u - V_s}{V_u} \right) * 100 \quad (\text{Equação 3})$$

em que: IV = inchamento volumétrico (%); V_u = volume úmido (mm³); V_s = volume seco (mm³).

$$ABS = \left(\frac{M_u - M_s}{M_s} \right) * 100 \quad (\text{Equação 4})$$

em que: ABS = absorção em água (%); M_u = massa úmida (g); M_s = massa seca (g).

2.5. Dureza Rockwell

A dureza Rockwell das madeiras acetiladas e não acetiladas foi determinada conforme procedimentos estabelecidos por Stangerlin et al. (2013), sendo selecionados 10 corpos de prova de cada tratamento. O durômetro empregado na caracterização mecânica dos corpos de prova foi dotado de um penetrador esférico de 1/4 de polegada, através do qual a carga de ensaio foi aplicada em duas etapas distintas. Na primeira etapa aplicou-se uma pré-carga de 10kgf e, na segunda, aplicou-se a carga final de teste de 60kgf. Realizaram-se, em pontos distintos, três leituras da dureza Rockwell para cada corpo de prova, sendo o resultado da resistência à penetração obtido diretamente na escala L do mostrador analógico.

2.6. Resistência biológica

Tendo em vista que a dureza Rockwell é determinada através de um ensaio não destrutivo, os mesmos corpos de prova utilizados nesse procedimento foram reaproveitados para a avaliação da resistência biológica da madeira de amescla. Para tanto, as madeiras acetiladas e não acetiladas foram expostas ao ataque de cupins xilófagos, em condições laboratoriais (temperatura de 25°C e umidade relativa de 65%), conforme procedimentos adaptados de Paes et al. (2010) e Calegari et al. (2014). Para isso, uma colônia ativa de cupins do gênero *Nasutitermes* sp., com dimensões de 37 x 63 cm (diâmetro e largura, respectivamente), foi coletada numa área de floresta nativa nas proximidades do viveiro municipal de Sinop (MT). A colônia foi disposta em uma caixa d'água de 500 L, contendo 10 cm de camada de areia esterilizada, onde os corpos de prova foram posicionados, aleatoriamente, parcialmente enterrados. A cada dois dias era feita a aspersão de água no interior da caixa d'água, a fim de manter o ambiente úmido e evitar a morte dos cupins.

Ao final do período de 45 dias de ataque dos cupins xilófagos, os corpos de prova de madeira foram retirados da caixa d'água, limpos com escova de cerdas macias para retirada de areia e cupins aderidos e submetidos à secagem em estufa com temperatura de 60°C, até obtenção de massa anidra. A perda de massa devido ao ataque dos cupins xilófagos foi determinada por meio da Equação 5.

$$PM = \left(\frac{M_i - M_s}{M_i} \right) * 100 \quad (\text{Equação 5})$$

em que: PM = perda de massa (%); M_i = massa seca antes da exposição aos cupins (g); M_s = massa seca após a exposição aos cupins (g).

2.6. Análise estatística

Os resultados foram avaliados estatisticamente mediante emprego de análise de variância e comparação das médias, quando significativas, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro.

3. RESULTADOS

3.1. Ganho de massa e massa específica

A acetilação proporcionou um ganho de massa na madeira, sendo que as análises estatísticas indicaram diferença significativa entre os tratamentos de acetilação (Tabela 1). Em contrapartida, é possível notar que a acetilação não teve efeito significativo sobre a massa específica.

Tabela 1. Valores médios de ganho de massa após acetilação e massa específica das madeiras acetiladas e controle.

Table 1. Average values of WPG (weight percentual gain) after acetylation and SG (specific gravity) of acetylated and control woods.

Tempo de tratamento	Ganho de massa	Massa específica
Controle	-	0,62g/cm ³ (0,02)a
3h	7,09% (1,59)a	0,62g/cm ³ (0,02)a
6h	11,98% (1,24)b	0,63g/cm ³ (0,02)a

em que: Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na vertical diferenciam estaticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Entre parênteses valores do desvio padrão.

3.2. Absorção em água e inchamento volumétrico

Em relação à absorção em água, acetilação proporcionou redução nos valores médios durante os períodos de imersão de 2 e 24 horas quando comparadas às amostras não tratadas;

porém, não houve diferença significativa entre os tratamentos analisados (Tabela 2). Para os valores de absorção em água após a saturação total, as amostras de amescla diferiram entre si nos tratamentos de 3 e 6 horas.

Tabela 2. Valores médios da absorção em água por 2 horas, 24 horas e até o ponto de saturação total das madeiras acetiladas e controle.

Table 2. Average values of water absorption for 2 hours, 24 hours and until the full saturation point of acetylated and control woods.

Tempo de tratamento	Absorção em água		
	2h	24h	Saturação total
Controle	26,71%a (2,24)	58,60%a (7,48)	121,80%a (5,15)
3h	16,61%b (1,19)	39,40%b (3,57)	102,41%b (7,97)
6h	14,78%b (1,19)	36,50%b (2,47)	92,22% ^c (3,55)

em que: Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na vertical diferenciam estaticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Entre parênteses valores do desvio padrão.

O inchamento volumétrico das madeiras acetiladas foi estatisticamente inferior ao verificado para as madeiras controle após imersão em água por 2 horas e até a saturação total; contudo, os tratamentos de acetilação não diferiram significativamente entre si (Tabela 3). Ao analisar a imersão em água por 24 horas, pode-se observar que tratamento de acetilação por 6 horas foi o mais eficaz em relação ao inchamento volumétrico.

Tabela 3. Valores médios do inchamento volumétrico após 2 horas, 24 horas e até o ponto de saturação total em água das madeiras acetiladas e controle.

Table 3. Average values of volumetric swelling after 2 hours, 24 hours and until the full saturation point in water of acetylated and control woods.

Tempo de tratamento	Inchamento volumétrico		
	2h	24h	Saturação total
Controle	11,48%a (2,45)	17,28%a (3,01)	20,05%a (6,52)
3h	5,48%b (1,17)	9,92%b (2,22)	10,74%b (2,55)
6h	4,30%b (1,23)	7,60% ^c (1,26)	8,32%b (1,19)

em que: Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na vertical diferenciam estaticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Entre parênteses valores do desvio padrão.

3.3. Dureza Rockwell

As médias de dureza Rockwell não apresentaram diferença estatística entre o tratamento de acetilação por 3 horas e os demais (Tabela 4). Em contrapartida, os tratamentos controle e de acetilação por 6 horas se mostraram significativamente distintos no que se refere à propriedade mecânica de dureza Rockwell, evidenciando uma média superior para o tratamento de 6 horas.

Tabela 4. Valores médios da dureza Rockwell das madeiras acetiladas e controle.

Table 4. Average values of Rockwell hardness of acetylated and control woods.

Tempo de tratamento	Médias
Controle	57,22HRL a (14,1)
3h	59,90HRL ab (13,15)
6h	66,90HRL b (12,89)

em que: Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na vertical diferenciam estaticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Entre parênteses valores do desvio padrão.

3.4. Resistência biológica

A acetilação proporcionou uma redução na perda de massa ocasionada pelo ataque de cupins xilófagos (Tabela 5). Destaca-se o tratamento de acetilação por 6 horas, o qual diferiu estatisticamente dos demais, de modo a tornar a madeira menos suscetível à deterioração biológica.

Tabela 5. Valores médios da perda de massa ao ataque de cupins xilófagos das madeiras acetilada e controle.

Table 5. Average values of weight loss to xylophagous termite attack of acetylated and control woods.

Tempo de tratamento	Perda de Massa
Controle	96,30% a (5,97)
3h	74,50% b (38,31)
6h	16,30% c (26,86)

em que: Médias seguidas por diferentes letras minúsculas na vertical diferenciam estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro. Entre parênteses valores do desvio padrão.

4. DISCUSSÃO

4.1. Ganho de massa e massa específica

Os maiores valores de ganho de massa foram encontrados no tratamento de acetilação por 6 horas, que denotou um aumento de 11,98% em relação ao tratamento por 3 horas (Tabela 1).

Os resultados de ganho de massa são similares aos verificados por outros estudos de acetilação, os quais destacaram valores entre 9,6 e 20,9% para tratamentos de acetilação com duração de 2 a 24 horas (LI et al., 2000; CHAUHAN et al., 2001; GOMES et al., 2006; AZEH et al., 2013). Deve-se destacar que o ganho de massa durante o processo de acetilação pode ser influenciado por alguns fatores, tais como a permeabilidade, composição química e dimensões da madeira, bem como pelo tempo de tratamento, temperatura de tratamento e uso de catalisador (ROWELL, 2014).

Um maior tempo de reação ocasiona uma maior substituição de grupos hidroxílicos, acarretando em um aumento no ganho de massa. Beckers et al. (2003), afirmaram que a quantidade de grupos hidroxílicos substituídos está diretamente relacionado com o grau de acetilação. Estudos de Gröndahl et al. (2003), demonstraram que o grau de substituição aumenta conforme o tempo da reação, até o momento em que fica constante.

No que se refere à massa específica, não houve diferença significativa no teste de médias (Tabela 1). Este resultado se mostra compatível com outros estudos que realizaram a análise desta propriedade (LI et al., 2000; AKITSU et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2010;). Dessa forma, compreende-se que a acetilação não surtiu efeito sobre a massa específica, ou seja, o ganho em massa foi proporcional ao inchamento relativo ao tratamento.

4.2. Absorção em água e inchamento volumétrico

É possível observar que, quanto maior o ganho de massa após acetilação (Tabela 1), menor será a sua absorção em água. Desse modo, pode-se afirmar que o tratamento de acetilação por 6 horas foi mais eficaz ao promover uma menor absorção de água (Tabela 2). De acordo com Castro; Iwakiri (2014), após a acetilação os grupos hidrófilos da madeira passam a ser bloqueados, e com isso há uma menor afinidade entre a madeira acetilada e a água.

Ao desenvolver estudos com partículas de *Pinus taeda* acetiladas por 4 e 7 horas, Castro; Iwakiri (2014), observaram

valores de absorção em água de 81,03 e 17,36%, respectivamente. Já no presente estudo foram encontrados valores inferiores, tanto para o tratamento de 3 horas quanto para o tratamento de 6 horas. Estes resultados estão próximos àqueles encontrados por Temiz et al., (2006), ao analisarem a absorção em água da madeira acetilada de *Pinus sylvestris* imersa por 2 horas e até o ponto de saturação total, onde foram encontrados valores médios de 47,56 e 83,74%, respectivamente.

Em relação ao inchamento volumétrico, é possível afirmar que a acetilação promoveu uma redução na retratibilidade da madeira, sendo que as amostras tratadas por um período de 6 horas apresentaram os menores valores (Tabela 3). Segundo Castro; Iwakiri (2014), uma vez que a madeira tem sua capacidade de absorção de água reduzida, há um aumento na estabilidade dimensional.

Os valores obtidos neste estudo se mostram compatíveis àqueles realizados acerca das propriedades físicas de diferentes espécies de madeira acetilada, que ressaltaram a eficácia dos diferentes tipos de tratamento na redução do inchamento volumétrico (OBATAYA; GRIL, 2005; TEMIZ et al., 2006).

4.3. Dureza Rockwell

A dureza Rockwell das madeiras acetiladas foi superior ao verificado para madeira controle, em especial considerando o tratamento de acetilação por 6 horas, o que pode ser justificado pelo aumento na massa das madeiras tratadas (Tabela 4). Homan et al. (2000), afirmaram que a dureza da madeira aumenta com o tratamento de acetilação, pois a introdução de grupos acetatos proporciona aumento na massa específica da parede celular.

De acordo com Cabral et al. (2006), em estudos realizados com chapas fabricadas com flocos de madeiras de *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus cloeziana*, a acetilação resultou em chapas com maior dureza na direção normal à superfície. Bongers; Beckers (2003), evidenciaram que as madeiras de *Populus* sp. e *Pinus sylvestris*, após acetilação, apresentaram aumento na dureza Janka. Conforme Papadopoulos; Tountziarakis (2011) em trabalho com a madeira acetilada de *Pinus nigra*, a mesma apresentou um ligeiro aumento da dureza Janka, porém não foi significativo ao nível de confiança de 95%.

4.4. Resistência biológica

Ao observar os resultados da resistência da madeira de amescla ao ataque de cupins xilófagos (Tabela 5), verifica-se que a acetilação promoveu uma redução gradativa no que se refere à perda de massa ocasionada por estes organismos.

Romanini et al. (2014), verificou em estudos de deterioração de campo que a madeira de amescla apresentou a menor durabilidade natural, devido a menor massa seca residual e índice de deterioração. Tal resultado confirma a suscetibilidade da madeira de amescla ao ataque de cupins, que chegam a deteriorar completamente no tratamento controle. Pode-se observar que o tratamento de 6 horas para a amescla surtiu em redução de 80% da perda de massa comparada com o tratamento controle.

Os resultados obtidos corroboram com outros estudos acerca da resistência a térmitas por parte das madeiras acetiladas, que ressaltaram a queda nos valores de perda de massa e aumento nos valores de mortalidade dos cupins (IBACH et al., 2000; PAPAPOULOS et al., 2008;

BONGERS et al., 2013; ALEXANDER et al., 2014). Estes resultados podem estar associados ao aumento da dureza na madeira proporcionado pela acetilação, uma vez que térmitas tendem a preferir madeiras com dureza reduzida e de menor densidade (BONGERS et al., 2015). Estudo de Imamura; Nishimoto (1986) demonstraram que a madeira acetilada não pode ser decomposta pelo protozoário simbiótico em determinadas espécies de térmitas, criando um “efeito de fome”, e reduzindo, conseqüentemente, a incidência do ataque destas espécies em madeiras submetidas a este tipo de tratamento.

Outros estudos demonstraram que a madeira tratada por acetilação apresenta melhoria significativa na resistência biológica ao ataque de fungos (ALFREDSSEN; WESTIN, 2009; LARSSON-BRELID; WESTIN, 2010; ROWELL, 2013), crustáceos e moluscos (LARSSON-BRELID; WESTIN, 2010; KLÜPPEL et al., 2015).

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que o efeito do tratamento de acetilação mostrou-se efetivo para a melhoria das propriedades física, mecânica e biológica. Cabe destacar que o tratamento de 6 horas influenciou significativamente no ganho de massa das madeiras, o que sugere um resultado positivo no aproveitamento deste material para finalidades estruturais.

6. REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projetos de estrutura de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997, 107 p.

AKITSU, H.; NORIMOTO, M.; MOROOKA, T.; ROWELL, R. M. Effect of humidity on vibrational properties of chemically modified wood. **Wood and fiber Science**, Madison, v. 25, n. 3, p. 250-260, 2007.

ALEXANDER, J.; HAGUE, J.; ROBERTS, M.; IMAMURA, Y.; BONGERS, F. The resistance of Accoya® and Tricoya® to attack by wood-destroying fungi and termites. In: Annual meeting of the International Research Group on Wood Protection, 45., 2014, St George. **Anais...** St George: IRG, 2014. p. 11-15.

ALFREDSSEN, G; WESTIN, M. Durability of modified wood-laboratory vs field performance. In: European Conference on Wood Modification, 4., 2009, Stockholm. **Anais...** Stockholm: Norra Latin City Conference Centre, 2009. p. 515-522.

AZEH, Y.; OLATUNJI, G. A.; MOHAMMED, C.; MAMZA, P. A. Acetylation of wood flour from four wood species grown in Nigeria using vinegar and acetic anhydride. **International Journal of Carbohydrate Chemistry**, v. 2013, p. 1-6, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/141034>

BECKERS, E. P. J.; BONGERS, H. P. M.; VAN DER ZEE, M. E.; SANDER, C. Acetyl content determination using different analytical techniques. In: EUROPEAN CONFERENCE ON WOOD MODIFICATION, 1., 2003, Ghent. **Anais...** Ghent: 2003. p. 83-103.

BONGERS, H. P. M.; BECKERS, E. P. J. Mechanical properties of acetylated solid wood treated on pilot plant scale. In: EUROPEAN CONFERENCE ON WOOD MODIFICATION, 1., 2003, Ghent. **Anais...** Ghent, 2003, p. 341-350.

BONGERS, F.; HAGUE, J.; ALEXANDER, J.; ROBERTS, M.; IMAMURA, Y.; SUTTIE, E. The resistance of high performance acetylated wood to attack by wood destroying fungi and termites. In: Proceedings IRG Annual Meeting, 2013. **Anais...** 2013.

BONGERS, F.; KUTNIK M.; PAULMIER I.; ALEXANDER J.; MILITZ H. Termite and insect resistance of acetylated wood. In: The international Research Group on Wood Protection, 46., 2015, Viña del Mar. **Anais...** Viña del Mar: IRG – WP. 2015.

CABRAL, C. P. T.; VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M.; PIMENTA, A. S.; SOARES, C. P. B.; CARVALHO, A. M. M. L. Propriedades de chapas tipo OSB, fabricadas com partículas acetiladas de madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana* e *Pinus elliptica*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 659-668, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000400020>

CALEGARI, L.; LOPES, P. J. G.; SANTANA, G.M.; STANGERLIN, D.M.; OLIVEIRA, E.; GATTO, D.A. Eficiência de extrato tânico combinado ou não com ácido bórico na proteção da madeira de *Ceiba pentandra* contra cupim xilófago. **Floresta**, Curitiba, v. 44, n. 1, p. 43-52, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/RF.V44I1.28798>

CASTRO, V.; IWAKIRI, S. Influência de diferentes níveis de acetilação nas propriedades físico-mecânicas de aglomerados e painéis madeira-cimento. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 4, p. 535-540, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201420041673>

CHAUHAN, S. S.; AGGARWAL, P.; KARMARKAR, A.; PANDEY, K. K. Moisture adsorption behaviour of esterified rubber wood (*Hevea brasiliensis*). **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 59, n. 4, p. 250-253, 2001. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s001070000152>

GOMES, D. F. F.; DA SILVA, J. R. M.; BIANCHI, M.L.; TRUGILHO, P. F. Avaliação da estabilidade dimensional da madeira acetilada de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 70, p.125-130, 2006.

GRÖNDAHL, M.; TELEMAN, A.; GATENHOLM, P. Effect of acetylation on the material properties of glucuronoxylan from aspen wood. **Carbohydrate Polymers**, Goteborg, v. 52, n. 4, p. 359-366, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(03\)00014-6](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(03)00014-6)

HILL, C. **Wood modification: chemical, thermal and other processes**. Chichester: John Wiley and Sons, 2006. 249 p.

HOMAN, W.; TJEERDSMA, B.; BECKERS, E.; JORISSEN, A. Structural and other properties of modified wood. In: World Conference on Timber Engineering, 2000, British Columbia. **Anais...** British Columbia: Whistler Resort. 2000. p. 3511-3518.

IBACH, R. E.; HADI, Y. S.; NANDIKA, D.; YUSUF, S.; INDRAYANI, Y. Termite and fungal resistance of in situ polymerized tributyltin acrylate and acetylated Indonesian and USA wood. In: The international Research Group on Wood Preservation, 2000, Kona Surf. **Anais...** Kona Surf: IRG, 2000. p. 1-13.

IMAMURA, Y.; NISHIMOTO, K. Resistance of Acetylated Wood to Attack by Subterranean Termites. **Bulletin of the Wood Research Institute Kyoto University**, v. 72, p. 37-44, 1986.

- KLÜPPEL, A.; CRAGG, S. M.; MILITZ, H.; MAI, C. Resistance of modified wood to marine borers. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 104, p. 8-14, 2015. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.05.013>
- LARSSON-BRELID, P.; WESTIN, M. Biological degradation of acetylated wood after 18 years in ground contact and 10 years in marine water. In: Annual Meeting of the International Research Group on Wood Protection, 41., 2010, Biarrits. **Anais...** Biarrits: IRG Secretariat, 2010.
- LI, J. Z.; FURUNO, T.; KATOH, S.; UEHARA, T. Chemical modification of wood by anhydrides without solvents or catalysts. **Journal of wood science**, Matsue, v. 46, n. 3, p. 215-221, 2000. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/BF00776452>
- MOHEBBY, B.; MILITZ, H. Microbial attack of acetylated wood in field soil trials. **International Biodeterioration and Biodegradation**, Melbourne, v. 64, n. 1 p. 41-50, 2010. DOI: <https://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2009.10.005>
- OBATAYA, E.; GRIL, J. Swelling of acetylated wood I. Swelling in organic liquids. **Journal of Wood Science**, Matsue, v. 51, n. 2, p. 124-129, 2005. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s10086-004-0634-2>
- OLIVEIRA, F. V.; VITAL, B. R.; CASTRO SILVA, J. D.; CARNEIRO, A. D.; PIMENTA, A. S. Efeito da acetilação das partículas de madeira de *Eucalyptus grandis* e da inclusão de partículas de polietileno e de embalagens cartonadas nas propriedades de chapas de aglomerado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 5, p. 937-946, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622010000500019>
- ÖZMEN, N.; ÇETIN, N.S. A new approach for acetylation of wood: vinyl acetate. **African Journal of Pure and Applied Chemistry**, v. 6, n. 6 p. 78-82, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.5897/AJPAC10.126>
- PAES, J. B.; FONSÊCA, C. M. B.; LIMA, C. R.; SOUZA, A. D. Eficiência do óleo de candeia na melhoria da resistência da madeira de sumaúma a cupins. **Cerne**, Lavras, v.16, n.2, p.217-225, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602010000200014>
- PAPADOPOULOS, F. P. Chemical modification of solid wood and wood raw materials for composites production with linear chain carboxylic acid anhydrides: A brief review. **Bioresources**, v. 5, n. 1, p. 499-506, 2010.
- PAPADOPOULOS, A. N.; AVTZIS, D. N.; AVTZIS, N. D. The biological effectiveness of wood modified with linear chain carboxylic acid anhydrides against the subterranean termites *Reticulitermes Flavipes*. **Holz als Roh-und Werkstoff**, v. 66, n. 4, p. 249-252, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-008-0252-6>
- PAPADOPOULOS, A. N.; TOUNTZIARAKIS, P. The effect of acetylation on the Janka hardness of pine wood. **European Journal of Wood and Wood Products**, v. 69, n. 3, p. 499-500, 2011. DOI: <https://dx.doi.org/10.1007/s00107-010-0484-0>
- ROMANINI, A.; STANGERLIN, D. M.; PARIZ, E.; SOUZA, A. P.; GATTO, D. A.; CALEGARI, L. Durabilidade natural da madeira de quatro espécies amazônicas em ensaios de deterioração de campo. **Nativa**, Sinop, v. 2, n. 1, p. 13-21, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v02n01a03>
- ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC Press, 2013, 703 p.
- ROWELL, R. M. Acetylation of wood – a review. **International Journal of Lignocellulosic Products**, v. 1, n. 1, p. 1-27, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.22069/ijlp.2014.1920>
- ROWELL, R. M.; IBACH, R. E.; MCSWEENEY, J. NILSSON, T. Understanding decay resistance, dimensional stability and strength changes in heat-treated and acetylated wood. **Wood Material Science & Engineering**, v. 4, n. 1-2, p. 14-22, 2009. DOI: <https://dx.doi.org/10.1080/17480270903261339>
- ROWELL, R. M. Dimensional stability and fungal durability of acetylated wood. **Drewno**, v. 59, n. 197, p. 139-150, 2016.
- SILVA, S. S. **Estudo do xilema secundário de espécies da família Burseraceae produtoras de óleos**. 2013. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- STANGERLIN, D. M.; COSTA, A. F. D.; PASTORE, T. C. M.; GARLET, A. Dureza Rockwell da madeira de três espécies amazônicas submetidas a ensaios de apodrecimento acelerado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 4, p. 623-630, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782013005000022>
- TEMIZ, A.; TERZIEV, N.; JACOBSEN, B.; EIKENES, M. Weathering, water absorption, and durability of silicon, acetylated, and heat-treated wood. **Journal of Applied Polymer Science**, New York, v. 102, n. 5, p. 4506-4513, 2006. DOI: <https://dx.doi.org/10.1002/app.24878>