Avaliação da degradação da madeira de *Schizolobium parahyba var. amazonicum* por ultrassom

Vinícius de Sousa Lima[1]; Maria Gabriela Sales da Silva[2]; João Miguel Santos Dias[2]; Marco Antonio Siviero[3]; Rita Dione Araújo Cunha[1]; Sandro Fábio César[1]

[1] Laboratório de Madeira (LABMAD), Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador/BA, Brasil; [2] Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção (LEMATCON-Timoshenko), Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Açailândia/MA, Brasil; [3] Grupo Arboris, Dom Eliseu/PA, Brasil – limavinicius@ufba.br

Resumo: Este trabalho teve como objetivo avaliar a adequabilidade do ultrassom como instrumento para avaliação não destrutiva da degradação de peças de madeira de paricá (*Schizolobium parahyba var. amazonicum*). Para isso, amostras da madeira foram submetidas ao ensaio de biodegradação em campo de apodrecimento durante 6 meses. A cada mês, foram realizadas aferições de perda de massa e velocidade de propagação das ondas de ultrassom (VPO) das amostras. Para avaliar a relação entre a perda de massa e os resultados de VPO, foram estabelecidas regressões. Foi possível verificar que os valores de VPO diminuíram com o aumento da perda de massa, no entanto não foram obtidos valores de coeficiente de determinação (R^2) superiores a 0,45, demonstrando uma baixa precisão.

Palavras-chave: Paricá, deterioração, perda de massa, método não destrutivo.

Evaluation of wood degradation of *Schizolobium parahyba var. amazonicum* by ultrasound

Abstract: This study aimed to evaluate the suitability of ultrasound as a non-destructive instrument for the degradation of paricá wood (*Schizolobium parahyba var. amazonicum*). For this purpose, wood samples were subjected to a biodegradation test in a rotting field for 6 months. Every month, measurements of mass loss and ultrasound wave propagation velocity (VPO) of the samples were performed. Regressions were established to evaluate the relationship between mass loss and VPO results. It was possible to verify that VPO values decreased with increasing mass loss; however, coefficient of determination (R^2) values greater than 0.45 were not obtained, demonstrating low precision.

Keywords: Paricá, deterioration, mass loss, non-destructive method.

1. INTRODUÇÃO

A utilização da madeira em estruturas de edificações apresenta várias vantagens, como rapidez de execução, trabalhabilidade, desempenho termoacústico adequado e compatibilidade com a construção enxuta (Marais *et al.*, 2022). Além

disso, a madeira é um material renovável e possui uma cadeia produtiva com baixas emissões de carbono (Pauli *et al*., 2021).

Apesar dessas vantagens, o uso da madeira serrada na construção civil enfrenta desafios, tais como: variação dimensional das peças devido à higroscopicidade do material, peças com dimensões limitadas, por conta do diâmetro e altura das árvores e presença de defeitos de crescimento (Lima *et al*., 2023). Além disso, a madeira é suscetível à degradação causada por agentes xilófagos (Marais *et al*., 2022).

Em estruturas de madeiras sujeitas à degradação por parte de seres xilófagos, a detecção da degradação interna é fundamental para garantir a segurança, preservar o patrimônio edificado e aumentar a eficiência econômica. Essa detecção pode ser realizada por meio de técnicas, tais como: ensaio à percussão, perfuração com análise tátil/visual, microperfuração controlada e ultrassom (Brito, 2014). Segundo Pilocelli *et al*. (2015), o ultrassom destaca-se por ser de fácil uso e possuir precisão adequada para quantificar a intensidade de deterioração em madeiras.

De acordo com Melo *et al*. (2021), o ultrassom consiste na medição do tempo durante o qual ondas mecânicas, sob determinada velocidade, percorrem um trajeto – em um meio sólido – entre transdutores (transmissor e receptor). Conforme exposto por Pilocelli *et al*. (2015), a presença de orifícios e áreas amolecidas de madeiras deterioradas causa um aumento no tempo de propagação das ondas ultrassônicas, resultando, consequentemente, na redução de sua velocidade.

O ultrassom é uma técnica relevante no contexto do diagnóstico de ataques de seres xilófagos em estruturas de espécies com baixa resistência à biodegradação, como por exemplo o paricá (*Schizolobium parahyba var. amazonicum*) (Cuellar *et al*., 2021). Esta espécie é nativa do bioma amazônico e pioneira no cultivo de florestas plantadas (Oliveira *et al*., 2019). Suas baixa densidade e alta porosidade são favoráveis à fabricação de produtos engenheirados (Costa *et al*., 2020), como a madeira lamelada colada (MLC), a madeira lamelada colada cruzada (MLCC), a madeira laminada colada (LVL) e a madeira compensada.

Apesar do ultrassom possuir potencial para avaliação não destrutiva da degradação de madeiras, há uma lacuna de estudos que utilizaram esse método

para avaliação da degradação da madeira de paricá (Pilocelli *et al*., 2015). Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a adequabilidade do ultrassom como instrumento para avaliação não destrutiva de peças degradadas de madeira de paricá.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas 6 toras de madeira de paricá com 20 anos de idade, fornecidas pelo Grupo Arboris (Dom Eliseu – PA), com diâmetro e comprimento de 30 cm. Conforme é possível verificar na Figura 1, as toras apresentavam maior quantidade de alburno. Por conseguinte, foram extraídos 36 corpos de prova (CPs) prismáticos da região do alburno, com dimensões de (50,0 x 50,0 x 250,0) mm³, sendo a maior aresta paralela às fibras.

Figura 1. Toras de madeira de paricá.

Fonte: (Autores)

Para a determinação da densidade aparente, foram aferidas as dimensões iniciais de cada CP com um paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm. As massas de cada CP foram aferidas com o auxílio de uma balança digital, com precisão de 0,01 g. Para a determinação do teor de umidade das amostras foi empregado o método gravimétrico, no qual os CPs foram submetidos à secagem em uma estufa a 103 ± 2 °C, com aferição das massas em intervalos de 24 horas, até que a variação entre duas aferições consecutivas fosse inferior ou igual a 0,5%, atingindo assim a massa anidra.

Após a secagem, os CPs foram introduzidos em um campo de apodrecimento (Figura 2), localizado no campus de Açailândia da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (coordenadas: 4°56'37.6"S 47°28'42.6"W). Os CPs foram

expostos à incidência de luz solar e de pluviosidade, em uma área sem vegetação, tendo sido cravados no solo a uma profundidade de 150 mm. O período de exposição iniciou-se em fevereiro de 2023 e terminou em agosto de 2023, perfazendo 6 meses.

Em cada mês, foram retirados 6 CPs para aferição da perda de massa. Após cada retirada do campo de apodrecimento, foi retirado material orgânico e partículas de solo dos CPs, sendo posteriormente encaminhados para secagem em estufa a 103 ± 2 °C, até obter-se a massa anidra. Em seguida, o grau de degradação dos CPs foi aferido através de ultrassom. O ensaio de ultrassom consistiu na determinação da velocidade de propagação das ondas de ultrassom (VPO), através do equipamento Pundit Lab+, com transdutores 54 kHz, fonte de 5 V e corrente de saída nominal de 0,5 A. Para cada CP, foram realizadas três medições de VPO na direção das fibras, para posterior cálculo da média aritmética, sendo este valor representativo para a respectiva amostra. Finalmente, os resultados referentes à perda de massa em cada período de exposição e os valores de VPO foram analisados através da estatística descritiva. Para avaliar a relação entre a perda de massa e os resultados de VPO, foram estabelecidas regressões, de forma a avaliar os valores de coeficiente de determinação (R^2).

Figura 2. CPs no campo de apodrecimento.

Fonte: (Autores)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A madeira apresentou uma densidade aparente média de 432,63 kg.m^{-3},

sendo classificada como de baixa densidade, conforme a norma NBR 7190-1 (ABNT, 2022). Para o teor de umidade, foi encontrado um valor médio de 31,14%, o que permitiu enquadrar a madeira na classe de umidade 4, conforme a norma NBR 7190-1 (ABNT, 2022).

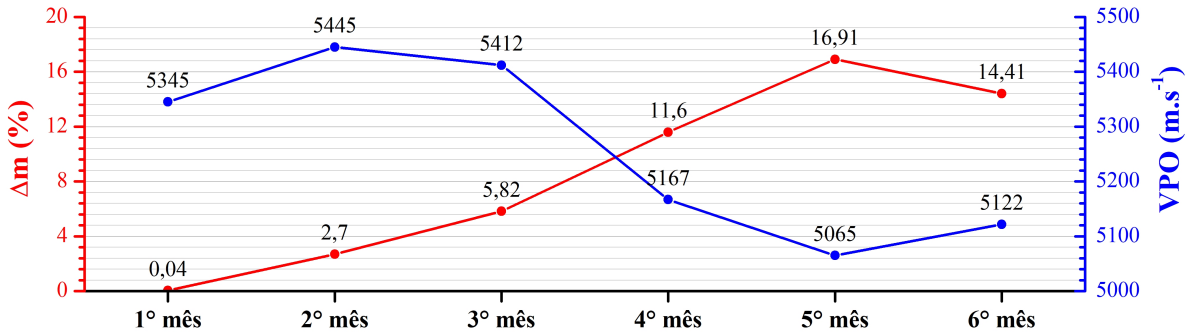
Os resultados da análise descritiva referentes à perda de massa e VPO estão apresentados na Tabela 1 e na Figura 3. É possível verificar que a perda de massa aumenta de 0,04% no primeiro mês até 16,91% no 5º mês de exposição, havendo diminuição até 14,41% no 6º mês. Ao fim do período de exposição, foi observado um valor médio de perda de massa igual a 14,41%. Este resultado foi semelhante ao valor médio obtido por Pilocelli *et al*. (2015), que constataram uma perda de massa igual a 12,62% para a madeira de paricá, exposta ao ensaio de deterioração em campo durante 240 dias.

Tabela 1. Perda de massa e VPO durante o tempo de exposição.

		1° mês	2° mês	3° mês	4° mês	5° mês	6° mês
	Média (%)	0,04	2,70	5,82	11,60	16,91	14,41
	DP (%)	0,60	1,99	2,61	4,82	3,61	2,80
	CV (%)	1501,96	73,69	44,82	41,53	21,37	19,41
	Média ($m.s^{-1}$)	5345	5445	5412	5167	5065	5122
VPO	**DP ($m.s^{-1}$)**	194	236	266	256	223	272
	CV (%)	3,64	4,34	4,91	4,96	4,40	5,32

= perda de massa; VPO = velocidade de propagação das ondas de ultrassom; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

Figura 3. Variação da perda de massa e VPO ao longo do tempo.



Fonte: (Autores)

Quanto à variação da VPO ao longo do tempo de exposição, é possível verificar que existe um aumento inicial de 5345 $m.s^{-1}$ para 5445 $m.s^{-1}$, do primeiro para o 2º mês, e um decréscimo de 5412 $m.s^{-1}$ até 5065 $m.s^{-1}$ (5º mês). Do 5º para o sexto mês, foi registrado um aumento da VPO, de 5065 $m.s^{-1}$ para 5122 $m.s^{-1}$. Para o período com maior variação nos valores médios de perda de massa (1° e 5° mês),

foi observado um decréscimo de 5,24% no valor médio de VPO.

Mattos *et al*. (2013) investigaram a variação de VPO ao longo do tempo em madeiras das espécies *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus tereticornis* e *Corymbia citriodora*, submetidas ao ensaio de resistência natural em campo de apodrecimento. Os autores observaram um decréscimo de 17,11% do valor médio inicial de VPO após 12 meses de ensaio. Já no trabalho de Stangerlin *et al*. (2015), foi estimado uma perda média de aproximadamente 42% de VPO para as espécies *Tectona grandis*, *Azadirachta indica*, *Bagassa guianensis* e *Inga* sp. expostas em campo de apodrecimento por 18 meses. A diferença entre os resultados deste estudo e os relatados na bibliografia citada pode ser atribuída às variações nas espécies de madeira analisadas e ao tempo de ensaio em campo de apodrecimento.

Conforme apresentado na Figura 3, enquanto os valores médios de perda de massa apresentaram um comportamento crescente ao longo do tempo de ensaio, os valores médios de VPO exibiram um comportamento decrescente. Crisóstomo *et al*. (2021) também observaram este fenômeno ao analisar a resistência natural das madeiras de marupá (*Simarouba amara* Aubl.), tauari (*Couratari* sp.) e cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.) em um ensaio de deterioração ao longo de 72 meses. Este comportamento pode estar relacionado à deterioração da madeira devido a ataques de agentes xilófagos. De acordo com Pilocelli *et al*. (2015), esses ataques causam descontinuidades no material, afetando a propagação das ondas de ultrassom e resultando na redução da VPO.

Conforme é possível verificar na Figura 3, existe um aumento da VPO do primeiro para o segundo mês e, entre o quinto e sexto mês, é possível constatar um aumento da VPO, em simultâneo com um decréscimo da perda de massa. Este fato poderá ser explicado pelo uso de um conjunto de diferentes CPs em cada leitura, no entanto, não invalida a tendência de aumento da perda de massa e diminuição da perda de massa ao longo do tempo de exposição. De acordo com Holeček *et al*. (2017), as características anatômicas da madeira (dimensões das fibras, frequência dos raios, densidade, teor de umidade e tipos de lenho), bem como as dimensões das amostras, podem influenciar a propagação das ondas e o grau de deterioração da madeira.

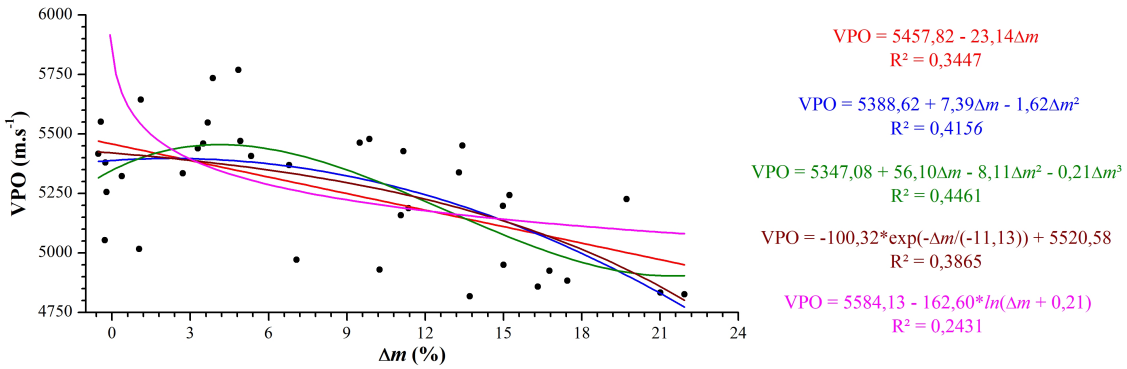
Os resultados referentes à análise de regressão entre a perda de massa e a

velocidade de propagação das ondas de ultrassom estão apresentados na Figura 4. Observa-se que todos os valores de R^2 ficaram abaixo de 0,45, com a equação polinomial de 3º grau apresentando o melhor ajuste (R^2 = 0,4461).

Embora tenha sido verificada uma tendência de redução da velocidade de propagação das ondas com o aumento da perda de massa, os baixos valores dos coeficientes de determinação (R^2) indicam que não houve uma correlação significativa entre as variáveis analisadas. Os resultados encontrados diferem daqueles apresentados por Mattos *et al*. (2013) e Crisóstomo *et al*. (2021), que constataram uma correlação significativa entre a perda de massa e a VPO.

A diferença observada neste estudo em comparação com os demais trabalhos pode estar relacionada à fatores associados ao equipamento de ultrassom, como a sensibilidade, a frequência de resposta, o tamanho e a localização dos transdutores, assim como o meio de acoplamento utilizado, que podem influenciar os valores de VPO (Carrasco *et al*., 2021). Tais influências podem resultar em uma maior dispersão dos dados, refletindo-se em valores baixos de R^2 das equações de regressão.

Figura 4. Modelos matemáticos para relação entre VPO e perda de massa.



Fonte: (Autor)

4. CONCLUSÃO

Este trabalho consistiu na avaliação da adequabilidade do ultrassom para a avaliação da perda de massa da madeira de paricá provocada pela biodegradação. Foi possível verificar que os valores de VPO diminuíram com o aumento da perda de massa, no entanto não foram obtidos valores de R^2 superiores a 0,45,

demonstrando uma baixa precisão.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Grupo Arboris e às instituições que financiaram esta pesquisa através da concessão de bolsas, nomeadamente Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) e Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190 - 1**: Projeto de estruturas de madeira. Parte 1: Critérios de dimensionamento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

BRITO, L. D. Patologia em estruturas de madeira: metodologia de inspeção e técnicas de reabilitação. 2014. **Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo**, 2014. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Departamento de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

CARRASCO, E. V. M.; ALVES, R. C.; SMITS, M. A. *et al*. Influence of the applied pressure of the transducer on the propagation speed of the ultrasonic wave in wood. **Holzforschung**, v. 75, n. 12, p. 1097-1103, 2021.

COSTA, A. A.; MASCARENHAS, A. R. P., Santos, C. M. M. *et al*. Caracterização tecnológica de painéis engenheirados produzidos com madeira de paricá. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e786986089, 2020.

CRISÓSTOMO, M. C.; COSTA, A. F.; TELES, R. F. Aplicação de ondas de ultrassom em madeiras amazônicas tratadas e não tratadas em campo. *In*: VANGELISTA, W. V. (ed.). **Madeiras nativas e plantadas do Brasil: qualidade, pesquisas e atualidades**. Guarujá: Editora Científica Digital, 2021. p. 267-285.

CUELLAR, F. T. T.; CORTEZ, A. A., KLITZKE, R. J. *et al.* CCA-C retention & penetration in pino chuncho wood (*Schizolobium amazonicum* Huber. ex Ducke) for non-structural use. **Floresta**, v. 51, n. 3, p. 586-595, 2021.

HOLEČEK, T.; GASPARIK, M.; LAGANA, R. *et al*. Measuring the modulus of elasticity of thermally treated spruce wood using the ultrasound and resonance methods. **BioResources**, v. 12, n. 1, p. 819-838, 2017.

LIMA, V. S.; NASCIMENTO, S. L.; SILVA, M. G. S. *et al*. Caracterização física e mecânica de painéis LVL de paricá (*Schizolobium parahyba var. amazonicum* (Huber x Ducke)) colados com ureia-formaldeído. **Matéria (Rio de Janeiro),** v. 28, p. e20230178, 2023.

MARAIS, B. N.; BRISCHKE, C.; MILITZ, H. Wood durability in terrestrial and aquatic

environments–A review of biotic and abiotic influence factors. **Wood Material Science & Engineering**, v. 17, n. 2, p. 82-105, 2022.

MATTOS, B. D.; GATTO, D. A., CADEMARTORI, P. H. G. *et al*. Durabilidade a campo da madeira de três espécies de Eucalyptus tratadas por imersão simples. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 4, p. 648-655, 2013.

MELO, R.; BARBOSA, K. T.; BELTRAME, R. *et al*. Ultrasound to determine physical-mechanical properties of Eucalyptus camaldulensis wood. **Wood Material Science & Engineering**, v. 16, n. 6, p. 407-413, 2021.

OLIVEIRA, S. S.; NASCIMENTO, G.; SOUZA, D. P. *et al*. Growth of parica seedlings (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) cultivated in different organic substrates. **African Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 6, p. 303-310, 2019.

PAULI, B. A.; AZAMBUJA, M. A.; OLIVEIRA NETO, L. Madeira lamelada colada: potencial em edificação, da graduação à industrialização. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 9, n. 24, 2021.

PILOCELLI, A.; STANGERLIN, D. M., PEREIRA, R. L. *et al*. Resistência natural das madeiras de cumaru, cedrinho e paricá submetidas a ensaios de deterioração de campo. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 6, n. 1, p. 10.12953/2177-6830/rcm. v6n1p1-10, 2015.