

Propriedades mecânicas de três espécies de rápido crescimento submetidas a campo de apodrecimento

Henrique Weber Dalla Costa^{1*} Luana Candaten² Deisy Cristina Capoani² Laíse Guerreiro³ Darci Alberto Gatto^{1,3} Rômulo Trevisan²

¹Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima, 1000, Camobi, CEP 97105-900, Santa Maria, RS, Brasil

²Universidade Federal de Santa Maria, Linha 7 de setembro, Campus Frederico Westphalen, 98400-000, Frederico Westphalen, RS, Brasil

³Universidade Federal de Pelotas, Rua Conde de Porto Alegre, 793, Centro, 96010-290, Pelotas, RS, Brasil

Original Article

*Corresponding author:
hwdallacosta@gmail.com

Keywords:

Natural durability

Static bending

Eucalyptus

Palavras-chave:

Durabilidade natural

Flexão estática

Eucalyptus

Received in

2021/04/07

Accepted on

2022/05/05

Published in

2022/06/30



DOI:

<http://dx.doi.org/10.34062/af.s.v9i2.12146>



RESUMO: Conhecer a durabilidade natural da madeira é importante na determinação dos locais de aplicação do material e na necessidade do uso de preservantes químicos. Por se tratar de espécies de rápido crescimento que podem atender as necessidades do mercado madeireiro, conhecer suas propriedades é relevante. O objetivo do presente trabalho foi determinar as propriedades mecânicas de três espécies de rápido crescimento submetidas a campo de apodrecimento. Para isso, 36 moirões (12 por espécie) de eucalipto, bracatinga e acácia-negra tiveram suas propriedades mecânicas em flexão estática determinadas em máquina universal de ensaios, antes e após exposição aos três diferentes ambientes de apodrecimento (campo aberto, floresta plantada e floresta nativa). De maneira geral, as madeiras apresentaram menor resistência mecânica quando expostas por maior período, consequência da degradação causada pelos fenômenos climáticos e por organismos xilófagos. Dentre as espécies estudadas, a Acácia-negra teve a maior resistência, ou seja, maior durabilidade natural, desempenhando valores maiores de MOE, MOR e TLP, do que o Eucalipto e a Bracatinga. No ambiente de campo aberto as madeiras apresentaram características mecânicas mais desejáveis do que nos locais de floresta nativa e plantada, decorrência dos fatores menos favoráveis ao desenvolvimento de organismos xilófagos. Dessa forma, a acácia-negra se destacou tanto em ambiente de campo como de floresta, podendo ser utilizada em situações que ocorre o seu contato com o solo. E, a exposição de madeiras em campo aberto é mais recomendada do que em locais de cobertura florestal.

Mechanical properties of three fast-growing species exposed to a decay field

ABSTRACT: Know the wood natural durability is important for determining the application places for the material and the chemical preservatives necessity. Due to they are fast growing species that can supply the timber market needs, knowing their properties is a relevant factor. The aim of the present study was to determine the mechanical properties of three fast-growing species exposed to a decay field. For this purpose, 36 fence posts (12 per species) of rose gum, “bracatinga”, and wattle wood had their mechanical properties in static bending determined in a universal testing machine, before and after exposure to the three different decay environments (open field, planted forest and native forest). Generally speaking, woods showed less mechanical resistance when exposed for a prolonged time, due to the degradation caused by climatic phenomena and xylophagous organisms. Among the studied species, wattle had the highest resistance, that is, greatest natural durability, performing higher values of MOE, MOR and TLP, than rose gum and “bracatinga”. In the open field environment, the woods presented more desirable mechanical characteristics than in native and planted forest areas, due to factors less favorable to the development of xylophagous organisms. Therefore, wattle has highlighted itself both in open field and forest environments, and can be used in conditions where it is in ground contact. Also, the wood exposure in open field is more advisable than in forest cover areas.

Introdução

A madeira é um polímero natural heterogêneo, renovável, biodegradável, sustentável e de baixo impacto ambiental, com aplicações em diversos setores. Entretanto, apresenta susceptibilidade à degradação por organismos biológicos e fatores físico-químicos do ambiente (Tomazeli et al. 2016).

O uso da madeira em contato com o solo pode interferir no seu desempenho, afetando a sua durabilidade (Carvalho et al. 2016), além disso, a umidade e a radiação ultravioleta proporcionam a madeira alterações indesejáveis (Makarona et al. 2017). Dessa forma, é imprescindível que a madeira apresente elevada durabilidade natural para que apresente bom desempenho nas variadas situações de serviço.

A durabilidade natural tem importância econômica e na tomada de decisões em relação a eficiente destinação das diferentes madeiras existentes no mercado, uma vez que é variável entre espécies (Sundararaj et al. 2015). Tal propriedade, determinada por meio de ensaio em campo de apodrecimento, reflete a capacidade da madeira de resistir ao ataque de organismos xilófagos e/ou agentes intemperizadores, portanto, é o atributo que permite estimar o seu desempenho em condição de serviço e a sua vida útil média.

Entretanto, determinar a durabilidade natural da madeira utilizando apenas um ambiente é insuficiente para estimar sua vida útil, pois é necessário conhecer os esforços máximos que as madeiras admitem quando expostas em diferentes sítios, especialmente quando em contato com o solo (Carvalho et al. 2019).

Dentre as formas de caracterizar esses esforços, Stangerlin (2010) aborda que, a flexão estática é o ensaio mecânico ideal para tal situação, aplicando carga na face tangencial da madeira e avaliando a sua deformação, com vistas à obtenção do módulo de elasticidade e do módulo de ruptura (Braz et al. 2013).

Nesse contexto, é relevante conhecer a resistência e a rigidez de madeiras de diferentes espécies em variados ambientes. Portanto, objetivo do presente estudo foi determinar as propriedades mecânicas de três espécies de rápido crescimento submetidas a três distintos campos de apodrecimento.

Material e Métodos

Para a realização desse estudo foram selecionados 36 moirões, com circunferência entre 20 e 30 centímetros e comprimento de 1,5 metro, 12 de cada uma das seguintes espécies: *Acacia mearnsii* (acácia-negra), *Mimosa scabrella* (bracatinga) e

Eucalyptus grandis (eucalipto), provenientes de plantios experimentais.

Previamente a instalação do campo de apodrecimento foi retirado um torete de 40 centímetros de comprimento da base de cada moirão, confeccionados corpos de prova e acondicionados em ambiente climatizado (65% UR e 20°C) para posterior análise mecânica.

O experimento foi implantado em três ambientes distintos: floresta nativa (floresta estacional decidual) nas coordenadas 27°23'45"S e 53°25'52"W; floresta plantada (plântio experimental de eucalipto) nas coordenadas 27°23'53"S e 53°25'35"W; e campo aberto (cobertura de gramíneas) nas coordenadas 27°23'43"S e 53°25'37"W. Em cada ambiente foram instalados quatro blocos (A, B, C e D) distantes entre si dois metros, em sentido longitudinal. Cada bloco foi composto por três moirões, um de cada espécie, triangulados e distantes entre si em 1,0 metro, instalados verticalmente, com a base enterrada 40 centímetros (Figura 1).

Os moirões permaneceram no ensaio de campo de apodrecimento pelo período de 365 dias, então foram transportados para marcenaria e seccionados em corpos de prova para análise mecânica, e acondicionados em ambiente climatizado (65% UR e 20°C).

A fim de verificar a resistência mecânica da madeira dessas espécies antes e após a exposição aos distintos ambientes, os corpos de prova de 2,0 x 2,0 x 30,0 (radial x tangencial x longitudinal) em equilíbrio higroscópico (12% de umidade) foram submetidos ao ensaio de flexão estática, em máquina universal de ensaios (EMIC®), com obtenção automática dos dados de módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e tensão limite proporcional (TLP), seguindo as recomendações da norma ASTM D143 (1995), com adaptações.

Os dados diários das condições climáticas de precipitação, umidade relativa do ar e temperatura no local do experimento foram coletados na base de dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET.

Procedeu-se a análise dos dados para comprovação dos pressupostos paramétricos por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett. Com o aceite da hipótese nula para efeito dos blocos, os dados foram analisados em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Em caso de rejeição da hipótese nula na análise de variância (ANOVA) os dados foram submetidos ao teste de médias Tukey, ambos a 5% de probabilidade de erro.

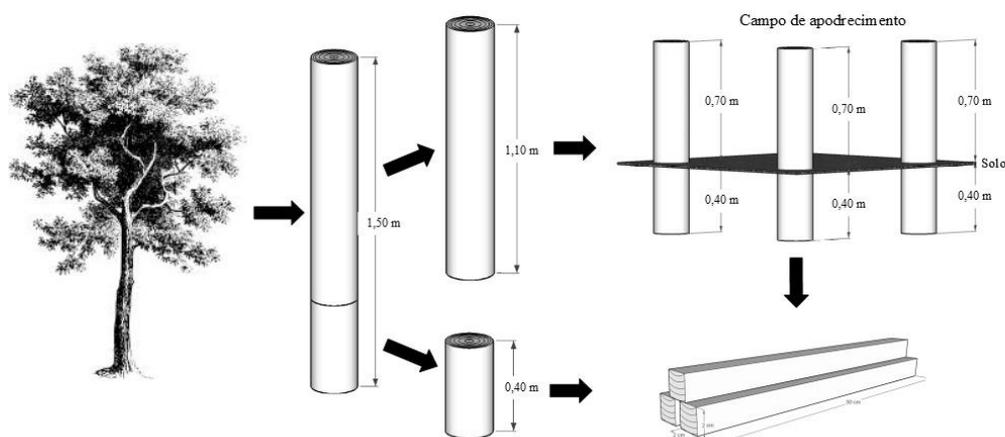


Figura 1. Representação da coleta do material, implantação do experimento e confecção dos corpos de prova

Resultados e discussão

Em todo o período de exposição, a precipitação acumulada foi de 2500 mm, distribuídos em chuvas regulares ao longo dos meses (em média 208,3 mm/mês), exceto no quinto mês, com precipitação 17 vezes menor que a média mensal do período, e no nono mês com chuvas 204% acima da média. A umidade relativa do ar apresentou valor médio de 75,8 %, com seus máximos nos

meses de outono/inverno e mínimos no verão. De forma contrária, as temperaturas máximas foram registradas no verão e as mínimas no inverno, com temperatura média de 20,6 °C ao longo do experimento (Figura 2).

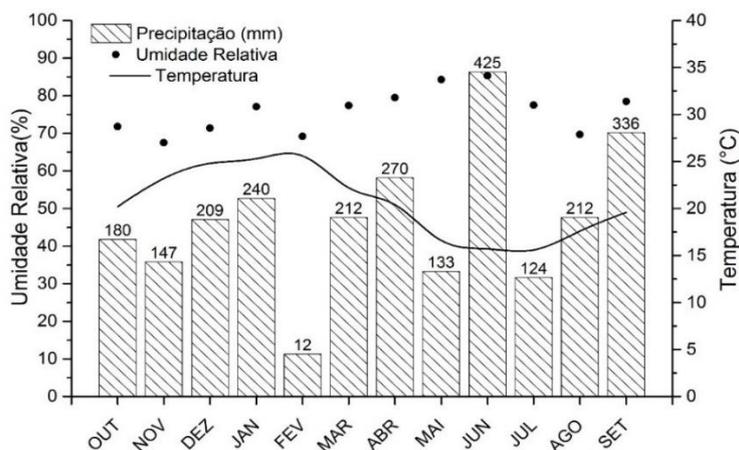


Figura 2. Valores médios mensais das variáveis climáticas no período do experimento

A exposição da madeira de acácia-negra, bracatinga e eucalipto aos distintos ambientes causou degradação do material com consequente redução das suas propriedades mecânicas, os valores médios de módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e tensão limite proporcional (TLP) estão demonstrados na Tabela 1.

O módulo de ruptura da madeira de bracatinga em floresta nativa, foi o mais afetado entre todas as espécies com redução de 63%, enquanto o módulo de elasticidade e tensão limite

proporcional nas mesmas condições decresceram em torno de 50%.

Para a madeira de eucalipto a máxima perda de resistência ocorreu em campo aberto (53%), juntamente com decréscimo de 29% na tensão limite proporcional, entretanto o maior dano à rigidez (27%) ocorreu em ambiente de floresta plantada. A degradação da madeira de acácia-negra foi significativa apenas para o módulo de ruptura nos ambientes de floresta nativa e floresta plantada, com reduções na ordem de 26% e 23%, respectivamente.

Tabela 1. Variação das propriedades mecânicas da madeira de *Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella* e *Eucalyptus grandis* expostas a campo de apodrecimento.

| Acácia | | | | |
|-------------------|------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Ambiente | Exposição | MOR | MOE | TLP |
| Campo | Não | 795,3 ^{±82,4} a | 82991,9 ^{±12048,6} a | 413,2 ^{±47,3} a |
| | Sim | 785,6 ^{±191,5} a | 78306,1 ^{±13688,1} a | 470,9 ^{±98,7} a |
| Nativa | Não | 766,1 ^{±182,2} a | 85582,1 ^{±15555,0} a | 411,0 ^{±96,1} a |
| | Sim | 569,4 ^{±184,9} b | 72437,8 ^{±15915,3} a | 425,0 ^{±113,4} a |
| Plantada | Não | 935,5 ^{±170,5} a | 94183,0 ^{±16357,6} a | 480,6 ^{±90,0} a |
| | Sim | 720,8 ^{±238,2} b | 78919,3 ^{±23279,2} a | 452,8 ^{±140,3} a |
| Bracatinga | | | | |
| Ambiente | Exposição | MOR | MOE | TLP |
| Campo | Não | 400,6 ^{±167,1} a | 44916,1 ^{±14776,1} a | 231,5 ^{±93,7} a |
| | Sim | 236,2 ^{±120,8} b | 32235,8 ^{±15544,5} b | 185,2 ^{±95,6} a |
| Nativa | Não | 459,8 ^{±100,1} a | 53899,7 ^{±8891,5} a | 269,6 ^{±40,6} a |
| | Sim | 171,8 ^{±85,7} b | 27096,6 ^{±12698,8} b | 133,1 ^{±74,2} b |
| Plantada | Não | 449,3 ^{±94,3} a | 57417,8 ^{±9929,0} a | 243,0 ^{±61,3} a |
| | Sim | 280,0 ^{±84,5} b | 38239,3 ^{±9677,4} b | 211,8 ^{±66,4} a |
| Eucalipto | | | | |
| Ambiente | Exposição | MOR | MOE | TLP |
| Campo | Não | 821,9 ^{±75,5} a | 86389,6 ^{±7219,4} a | 453,6 ^{±35,2} a |
| | Sim | 384,1 ^{±153,7} b | 67060,3 ^{±15613,5} a | 322,4 ^{±119,1} b |
| Nativa | Não | 554,7 ^{±60,6} a | 66973,9 ^{±8203,9} a | 314,5 ^{±70,5} a |
| | Sim | 327,5 ^{±132,5} b | 50357,5 ^{±17519,3} b | 259,2 ^{±107,6} a |
| Plantada | Não | 522,7 ^{±47,4} a | 66053,5 ^{±5468,3} a | 265,0 ^{±55,8} a |
| | Sim | 264,7 ^{±95,1} b | 48223,4 ^{±15150,6} b | 199,3 ^{±71,2} b |

Letras minúsculas à direita das médias: Letras iguais não diferem estatisticamente no teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Valores médios ^{±desvio padrão}.

Para a madeira de Acácia-negra a redução das propriedades mecânicas ao longo do tempo de exposição também foi observada por Tomazeli et al. (2016) onde avaliaram a solubilidade de NaOH a 1% da madeira dessa espécie aos tempos 0, 6 e 12 meses e observaram que essa variável foi crescente, os autores discutiram que essa aumenta com a perda de componentes extrativos e pela degradação da parede celular resultante do ataque de organismos xilófagos.

De forma semelhante, Dalla Costa et al. (2018), observaram a solubilidade em água para as madeiras de Acácia-negra e Bracatinga em campo de apodrecimento que resultou numa redução dessa característica a medida em que o material ficou alocado em campo, dessa forma, corroborando com os resultados obtidos nessa pesquisa, em que o material apresentou propriedades mecânicas reduzidas nas amostras que foram submetidas ao ambiente externo.

O destaque para os dados obtidos para Acácia-negra pode se dar em função da composição dessa madeira, que possui alguns compostos que atuam como fungicida e inseticida, sendo que alguns extrativos podem ser tóxicos aos organismos xilófagos (Paes et al. 2007) resultando numa menor degradação das paredes celulares, e com isso, a redução das propriedades mecânicas ter se apresentando de forma amena quando comparada as demais espécies que foram estudadas. Já, para a

Bracatinga e Eucalipto que tiveram um menor desempenho mecânico, consequência de os materiais terem sido mais atacados, pode ter ocorrido pela ausência de compostos que protegem a madeira de ataques de organismos xilófagos.

Esses resultados também se aplicam aos dados que podem ser observados na Tabela 2, onde Dalla Costa et al. (2018) notaram que no ambiente de floresta nativa, seguido da floresta plantada, as madeiras estudadas tiveram uma maior solubilidade em água, da mesma forma com o observado para as propriedades mecânicas de MOR, MOE e TLP do presente estudo.

A redução dos valores obtidos para as propriedades mecânicas nos ambientes cobertos, no caso da floresta nativa e plantada, pode se dar em decorrência das condições favoráveis ao desenvolvimento de organismos degradadores da madeira, pois nesses locais, as copas das árvores amenizam a temperatura e auxiliam na umidade constante, sendo essas características ideais para o desenvolvimento de fungos e cupins, por exemplo. Isso também foi observado por Carvalho et al. (2016) e Trevisan et al. (2008), onde avaliaram a resistência natural de diferentes espécies comparando ambientes de floresta e campo, esses pesquisadores notaram que na floresta houve uma maior degradação do material, em relação ao campo.

Tabela 2. Influência do ambiente de exposição sobre o módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e tensão limite proporcional (TLP) da madeira de *Acacia mearnsii*, *Mimosa scabrella* e *Eucalyptus grandis*.

| Campo | | | |
|-------------------|------------|------------|------------|
| Espécie | MOR | MOE | TLP |
| Acácia | 785,6 a | 78306,1 a | 470,9 a |
| Bracatinga | 236,2 b | 32235,8 b | 185,2 b |
| Eucalipto | 384,1 b | 67060,3 a | 322,4 b |
| Nativa | | | |
| Espécie | MOR | MOE | TLP |
| Acácia | 569,4 a | 72437,8 a | 425,0 a |
| Bracatinga | 171,8 c | 27096,6 c | 133,1 c |
| Eucalipto | 327,5 b | 50357,5 b | 259,2 b |
| Plantada | | | |
| Espécie | MOR | MOE | TLP |
| Acácia | 720,8 a | 78919,3 a | 452,8 a |
| Bracatinga | 280,0 b | 38239,3 b | 211,8 b |
| Eucalipto | 264,7 b | 48223,4 b | 199,3 b |

Letras minúsculas à direita das médias: Letras iguais não diferem estatisticamente no teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Esses resultados também corroboraram com o observado por Carvalho et al. (2019), onde as propriedades mecânicas da madeira em campo aberto apresentaram maior desempenho quando comparadas ao ambiente de floresta. Os autores também discutem que as variações obtidas no comportamento de MOE e MOR de materiais expostos em ambientes suscetíveis a chuva e raios solares, se dão em função de fissuras que podem ser ocasionadas na madeira, reduzindo sua rigidez e resistência.

Nos ambientes sem cobertura vegetal a radiação solar e a umidade são os principais agentes degradadores da madeira, entretanto, seus danos são menores que aqueles causados pelos organismos xilófagos, normalmente presentes no interior de áreas com cobertura florestal.

Conclusões

A madeira de acácia-negra apresenta a maior durabilidade natural, independentemente do ambiente de exposição, enquanto a bracatinga, em floresta nativa, apresenta a menor resistência mecânica após 365 dias, não sendo indicada para usos em contato com o solo.

Em relação aos ambientes, o campo aberto é menos agressivo que os florestais, portanto, nesse ambiente ocorre a tendência de maior durabilidade da madeira em condição de serviço, refletindo em menor necessidade de reposição de peças, quando comparadas aos ambientes florestais.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Fundo de Incentivo à Pesquisa (FIPE Júnior) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Referências

- American Society for Testing and Materials - ASTM (1995) ASTM D 143- 94: standard test methods for small clear specimens of timber. doi: 10.1520/D0143-94
- Braz RL, Oliveira JTS, Rodrigues BP, Arantes MDC (2013) Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Toona ciliata* em diferentes idades. *Floresta*, 43(4):663-670. doi: 10.5380/ufv.v43i4.30559
- Carvalho DE, Martins APM, Santini EJ, Freitas LS, Talgatti M, Susin F (2016) Natural durability of *Eucalyptus dunnii* Maiden, *Eucalyptus robusta* Sm., *Eucalyptus tereticornis* Sm. and *Hovenia dulcis* Thunb. wood in field and forest environment. *Árvore*, 40(2): 363-370. doi: 10.1590/0100-67622016000200019
- Carvalho DE, Rocha MP, Klitzke RJ, Cademartori PHG, Juizo CGF, Martins APM (2019) Resistência e rigidez da madeira de espécies florestais submetidas a campo de apodrecimento. *Advances in Forestry Science*, 6(1):535-540. doi: 10.34062/afs.v6i1.7242
- Dalla Costa HW, Candaten L, Trevisan R, Gatto DA (2018) Durabilidade natural da madeira de duas espécies provenientes de floresta energética. *Enciclopédia Biosfera*, 15(28):434-441. doi: 10.18677/EnciBio_2018B120
- Makarona E, Koutzagioti C, Salmas C, Ntalos G, Skoulikidou MC, Tsamis C (2017) Enhancing wood resistance to humidity with nanostructured ZnO coatings. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 10:57-68. doi: 10.1016/j.nanoso.2017.03.003

Paes JB, Melo RR, Lima CR (2007) Resistência natural de sete madeiras a fungos e cupins xilófagos em condições de laboratório. *Cerne*, 13(2):160-169. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/744/74413205>

Stangerlin DM, Melo RR, Gatto DA, Cademartori PHG (2010) Propriedades de flexão estática da madeira de *Carya illinoensis* em duas condições de umidade. *Ciência da Madeira*, 1(02): 70-79. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/cienciadamadeira/article/view/4020>

Sundararaj R, Shanbhag RR, Nagaveni GHC, Vijayalakshmi G (2015) Natural durability of timbers under Indian environmental conditions - An overview. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 103:196-214. doi: 10.1016/j.ibiod.2015.04.026

Tomazeli AJ, Silveira AG, Trevisan, R, Wastowski AD, Cardoso GV (2016) Durabilidade natural de quatro espécies florestais em campo de apodrecimento. *TECNO-LÓGICA*, 20(1):20-25. doi: 10.17058/tecnolog.v20i1.6473

Trevisan H, Marques FMT, Carvalho AG (2008) Degradação natural de toras de cinco espécies florestais em dois ambientes. *Floresta*, 38(1):33-41. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/11025/7476>