

## RESISTÊNCIA NATURAL DA MADEIRA DE TRÊS ESPÉCIES AMAZÔNICAS SUBMETIDAS AO ATAQUE DE FUNGOS APODRECEDORES

Diego Martins Stangerlin<sup>1</sup>, Alexandre Florian da Costa<sup>2</sup>, Alencar Garlet<sup>3</sup>, Tereza Cristina Monteiro Pastore<sup>3</sup>

**Resumo:** O objetivo desse trabalho foi monitorar a perda de massa das madeiras de marupá, jequitibá e cumaru submetidas ao ataque de fungos de podridão branca e parda. Além disso, estabelecer períodos de tempo, em semanas, para execução de ensaios de apodrecimento acelerado. Para tanto, corpos de prova, de cada espécie amazônica, foram submetidos a ensaios de apodrecimento acelerado, de acordo com a ASTM D2017, durante 20 semanas. A madeira de cumaru apresentou a maior resistência natural, sendo classificada como muito resistente durante as 20 semanas de apodrecimento acelerado. O fungo de podridão parda proporcionou as maiores perdas de massa para as madeiras de cumaru e jequitibá, por sua vez o fungo de podridão branca atacou mais intensamente a madeira de marupá. O período de 8 a 12 semanas, de acordo com a ASTM D2017, não foi suficiente para caracterização da resistência natural, por meio da perda de massa, das três espécies amazônicas. O período de tempo necessário para caracterização da resistência natural ao fungo de podridão branca foi de 20, 14 e 12 semanas, enquanto para o fungo de podridão parda foi de 20, 18 e 14 semanas para as madeiras de marupá, jequitibá e cumaru, respectivamente.

**Palavras-chave:** biodeterioração, podridão branca, podridão parda, perda de massa, madeira tropical.

---

<sup>1</sup> Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, <stangerlin@ufmt.br>.

<sup>2</sup> Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, <luicate@unb.br>.

<sup>3</sup> Laboratório de Produtos Florestais, Serviço Florestal Brasileiro, Brasília, DF, <alencar.garlet@florestal.gov.br>, <tereza.pastore@gmail.com>.

## NATURAL RESISTANCE OF THREE AMAZON WOOD SPECIES WOOD SUBMITTED TO DECAY FUNGI

**Abstract:** This study aimed to evaluate the mass loss of marupá, jequitibá and cumaru wood submitted to white and brown rot. In additionally, were established periods of time, weeks, for the execution of accelerated decay tests. For this purpose, specimens of each Amazon wood species were submitted to accelerated decay tests, according to ASTM D2017, for 20 weeks. Cumaru wood showed higher natural resistance, being classified as very resistant during the 20 weeks of accelerated decay tests. Brown rot resulted in higher mass loss for cumaru and jequitibá wood, whereas white rot attacked more intensely marupá wood. The period 8-12 weeks, according to the testing standards of ASTM D2017, was not sufficient for characterization of the natural resistance by mass loss of the three Amazon wood species. The period required for the characterization of natural resistance to white rot was 20, 14 and 12 weeks, while to brown rot was 20, 18 and 14 weeks for marupá, jequitibá and cumaru wood, respectively.

**Key words:** biodeterioration, white rot, brown rot, mass loss, tropical wood.

### 1 INTRODUÇÃO

A resistência natural à deterioração é uma das propriedades tecnológicas com maior variabilidade em razão das diferenças de arranjo anatômico e da composição química (qualitativa e quantitativa) da madeira, de modo a proporcionar distintas classes de durabilidade entre espécies, dentro de uma mesma espécie e também dentro de uma mesma árvore (EATON; HALE, 1993).

Dependendo do local e modo de emprego, os produtos à base de madeira podem ser atacados por uma gama de agentes biológicos, dentre os quais estão incluídos os fungos, os insetos, as bactérias e os organismos marinhos. Em razão da frequência de sua ação, os principais agentes biológicos de deterioração da madeira são os fungos, que, basicamente, se distinguem em emboloradores, manchadores e apodrecedores.

Os fungos apodrecedores são os principais responsáveis pela destruição de vários elementos estruturais produzidos à base de madeira, tanto na construção rural como na civil, de modo a ocasionar prejuízos econômicos, seja pela substituição de peças deterioradas ou pelo

colapso estrutural. Além disso, tais microrganismos favorecem a propensão ao ataque de insetos, comprometendo, dessa forma, a qualidade da madeira.

Por ser um material de origem orgânica, dependendo das condições ambientais (umidade, temperatura, pH e disponibilidade de oxigênio), a madeira é naturalmente suscetível ao ataque de fungos apodrecedores, podendo apresentar maior ou menor resistência à deterioração por esses microrganismos (ARCHER; LEBOW, 2006). No mercado madeireiro, produtos à base de madeira que, reconhecidamente, são classificados como resistentes à deterioração por fungos apresentam ampla aceitação e difusão de emprego e, conseqüentemente agregam maior valor de comercialização (STANGERLIN et al., 2011).

Ao considerar os fungos apodrecedores, podem-se destacar aqueles pertencentes à classe dos Basidiomicetos, na qual se enquadram os fungos responsáveis pela podridão parda e podridão branca, que possuem características enzimáticas próprias, quanto à deterioração dos constituintes químicos da madeira. Os primeiros deterioram os polissacarídeos da parede celular, e a madeira atacada apresenta uma coloração residual pardacenta. Os últimos atacam, indistintamente, tanto os polissacarídeos quanto a lignina, de modo que a madeira adquire um aspecto mais claro (ZABEL; MORRELL, 1992).

Grande parte dos estudos de resistência natural da madeira ao ataque de fungos apodrecedores em laboratório tem mantido o foco, apenas, nos estágios finais de deterioração. No entanto, o conhecimento do comportamento das propriedades biológicas nos estágios iniciais e intermediários de deterioração é de suma importância para que haja um controle mais efetivo sobre os possíveis danos causados pelos fungos apodrecedores.

A carência de estudos que tratem da adequação do tempo necessário para realização de ensaios de apodrecimento acelerado é outro ponto a ser destacado. Atualmente, esse tipo de ensaio é realizado, principalmente, de acordo com a American Society for Testing and Materials - ASTM D2017 (2005), que foi desenvolvida para madeiras de clima temperado. Desse modo, é de extrema relevância o conhecimento do comportamento de madeiras brasileiras ao longo do período de ataque de fungos apodrecedores em laboratório, visando o estabelecimento de padronizações.

Nesse sentido, o objetivo desse trabalho foi monitorar a perda de massa das madeiras de marupá, jequitibá e cumaru submetidas ao ataque de fungos de podridão branca e parda. Além

disso, estabelecer períodos de tempo, em semanas, para execução de ensaios de apodrecimento acelerado para as madeiras e fungos apodrecedores estudados.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Coleta do material e preparo dos corpos de prova

Para realização desse estudo utilizaram-se seis pranchas, com dimensões nominais de 0,04 x 0,25 x 3 m (espessura x largura x comprimento), para cada uma das três espécies amazônicas, marupá (*Simarouba amara* Aubl.), jequitibá (*Cariniana micrantha* Ducke) e cumaru (*Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd.), sendo as mesmas obtidas, de forma aleatória, em diferentes estabelecimentos madeireiros do Distrito Federal (DF).

As pranchas de cada espécie foram anatomicamente identificadas na Área de Anatomia e Morfologia da Madeira do Laboratório de Produtos Florestais (LPF) - Serviço Florestal Brasileiro (SFB), em Brasília, DF. Posteriormente, foram confeccionados 1038 corpos de prova, por espécie, da região do cerne, com dimensões nominais de 2,5 x 2,5 x 0,9 cm, sendo a menor dimensão no sentido axial. Foram selecionados 432 corpos de prova, por espécie, para os ensaios de apodrecimento acelerado e, o restante foi utilizado como material de reserva em eventuais problemas durante a execução do estudo e para caracterização da composição química.

Para determinação da massa específica básica e porosidade confeccionaram-se 30 corpos de prova, por espécie, com dimensões nominais de 2,5 x 5 x 10 cm, sendo a maior dimensão no sentido axial.

### 2.2 Caracterização física e química das madeiras

A massa específica básica da madeira das três espécies foi determinada de acordo com a Norma Brasileira Regulamentadora - NBR 11941 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2003a).

Antecedendo a caracterização da composição química, as amostras de madeira foram preparadas de acordo com a NBR 14660 (ABNT, 2003c). A partir da fração de 40/60 mesh, foram realizadas as análises químicas, em triplicata, para determinação dos teores de cinzas, extrativos e lignina, conforme as NBR 13999 (ABNT, 2003b), NBR 14853 (ABNT, 2003d) e NBR 7989 (ABNT, 2003e), respectivamente. Com relação ao teor de holocelulose, o mesmo foi

definido como sendo a diferença entre a composição química total e a composição da fração não carboidrato.

De modo complementar, foram determinados a porosidade (Equação 1) e o potencial de resistência natural (Equação 2), de acordo com Carneiro et al. (2009).

$$\Phi = 1 - \frac{MEbs}{MEpc} * 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Em que:  $\Phi$ = porosidade (%); MEbs= massa específica básica ( $\text{g.cm}^{-3}$ ); MEpc= massa específica da parede celular ( $\text{g.cm}^{-3}$ ).

$$Rn = MEbs * Text \quad (\text{Equação 2})$$

Em que: Rn= potencial de resistência natural; MEbs= massa específica básica ( $\text{g.cm}^{-3}$ ); Text= teor de extrativos (%).

### 2.3 Ensaios de apodrecimento acelerado

Os corpos de prova foram submetidos a ensaios de apodrecimento acelerado em laboratório com dois tipos de fungos apodrecedores, sendo um de podridão parda, *Gloeophyllum trabeum* (Pers.; Fr.) Murrill, e outro de podridão branca, *Trametes versicolor* (L.; Fr.) Pilát. Desse modo, os tratamentos foram estabelecidos na combinação das três espécies amazônicas e dois tipos de fungos, totalizando seis tratamentos, sendo utilizados 144 corpos de prova por tratamento. Adicionalmente, para cada espécie, foram avaliados blocos de correção (avaliação da perda de massa operacional), sem ataque de fungos, com 144 corpos de prova.

Os ensaios de apodrecimento acelerado foram realizados na Área de Biodegradação e Preservação da Madeira do LPF/SFB empregando-se, para tanto, metodologia adaptada da ASTM D2017 (2005).

Em frascos de vidro com tampa rosqueável e capacidade de 150 mL foram adicionados 70 g de solo de horizonte B (peneirado em malha de 30 mm de abertura e com pH corrigido para 6,0) e 20 mL de água destilada. Posteriormente, foi inserida uma placa suporte do alburno de madeiras de *Cecropia* sp. ou de *Pinus* sp., para desenvolvimento dos fungos de podridão branca e parda, respectivamente, com dimensões de 2,9 x 3,5 x 3 cm, as quais foram dispostas sobre o solo. Por fim, os frascos foram autoclavados em temperatura de 120°C e pressão de 1 atm durante 1 hora, visando a esterilização e conseqüente restrição de possíveis contaminações.

O meio de cultura foi preparado à base de extrato de malte líquido, e, posteriormente, procedeu-se a autoclavagem do mesmo, nas condições citadas, durante 20 minutos. Os inóculos dos fungos, de aproximadamente 1 cm<sup>2</sup>, foram adicionados ao meio de cultura líquido. Em seguida, o material permaneceu em câmara de incubação, com temperatura de 27°C e umidade relativa de 70%, por um período de 15 dias.

Após o período de incubação prévia, o meio de cultura foi transferido para o copo de um liquidificador esterilizado, em condições assépticas, sendo levemente batido, de modo a proporcionar a distribuição homogênea dos micélios do fungo no meio de cultura. A inoculação foi realizada de modo que em cada frasco fossem adicionados, sobre a placa suporte e o solo, aproximadamente, 3 mL do meio de cultura. Em sequência, os frascos permaneceram em câmara de incubação, sob condições citadas, até o completo recobrimento do micélio sobre a placa suporte, aproximadamente, 30 dias.

Por fim, adicionou-se um corpo de prova de madeira em cada frasco, que, anteriormente, tiveram sua massa obtida ao permanecerem em estufa de circulação forçada de ar a 50°C, até atingirem massa constante e serem esterilizados em autoclave a 120°C durante 40 minutos. Os corpos de prova permaneceram em contato com os fungos por 20 semanas na câmara de incubação.

#### **2.4 Perda de massa e classificação de resistência biológica**

Durante os ensaios de apodrecimento foram realizadas amostragens dos corpos de prova nos seguintes períodos de tempo: 1<sup>a</sup>, 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup>, 4<sup>a</sup>, 6<sup>a</sup>, 8<sup>a</sup>, 10<sup>a</sup>, 12<sup>a</sup>, 14<sup>a</sup>, 16<sup>a</sup>, 18<sup>a</sup> e 20<sup>a</sup> semana. Dentro de cada semana foram selecionados, para cada espécie amazônica, 12 corpos de provas submetidos ao ataque do fungo de podridão branca; 12 corpos de corpos de prova submetidos ao ataque do fungo de podridão parda; 12 corpos de prova do bloco de correção. Os corpos de prova selecionados foram submetidos à limpeza, para remoção do micélio aderido, e dispostos em estufa de circulação forçada de ar, sob condições citadas, até obtenção de massa constante.

Em cada semana de amostragem foram determinadas a perda de massa e a respectiva classificação de resistência biológica, conforme critérios estabelecidos na ASTM D2017 (2005).

## **2.5 Análise dos resultados**

Para análise dos resultados empregou-se análise de variância com posterior comparação de médias pelo teste de LSD de Fischer ( $p>0,05$ ). Adicionalmente, definiram-se modelos estatísticos para predição da perda de massa em função do período de exposição aos fungos apodrecedores.

## **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Por meio do teste de médias (Tabela 1), verificou-se que o percentual de perda de massa apresentou variação significativa para o fator período dentro de cada espécie amazônica.

De modo geral, as médias não apresentaram estabilização entre a 8<sup>a</sup> e 12<sup>a</sup> semana de ensaio de apodrecimento, conforme determina a ASTM D2017. Nesse sentido, pode-se afirmar que o período de ataque dos fungos apodrecedores, determinado pela ASTM D2017, não foi suficiente para ser aplicado às madeiras em estudo, o que pode sugerir que, para madeiras tropicais, esse parâmetro da norma deve ser revisto.

**Tabela 1.** Perda de massa das madeiras de marupá, jequitibá e cumaru submetidas ao ataque dos fungos apodrecedores.**Table 1.** Mass loss of marupá, jequitibá and cumaru wood submitted to decay fungi.

P	Marupá				Jequitibá				Cumaru			
	PB		PP		PB		PP		PB		PP	
	PM	CR	PM	CR	PM	CR	PM	CR	PM	CR	PM	CR
0	0 a (0)	MR	0 a (0)	MR	0 a (0)	MR	0 a (0)	MR	0 a (0)	MR	0 a (0)	MR
1	1,63 a A (0,39)	MR	3,08 b B (0,53)	MR	0 a A (0)	MR	0,20 a B (0,09)	MR	0 a A (0)	MR	0,36 ab B (0,23)	MR
2	7,62 b A (0,96)	MR	19,20 c B (1,09)	R	3,55 a B (0,83)	MR	2,00 a A (1,10)	MR	0 a A (0)	MR	0,37 ab B (0,21)	MR
3	13,34 c A (2,11)	R	25,73 d B (2,59)	RM	9,64 b B (0,92)	MR	6,50 b A (1,59)	MR	0 a A (0)	MR	0 a A (0)	MR
4	16,89 d A (2,34)	R	29,57 e B (3,80)	RM	13,49 b B (1,69)	R	10,99 c A (0,99)	R	1,08 d A (0,35)	MR	1,20 bc A (0,29)	MR
6	24,83 e A (3,76)	RM	35,36 f B (2,28)	RM	21,52 c B (3,10)	R	17,55 d A (1,28)	R	0,98 cd A (0,43)	MR	1,14 bc A (0,26)	MR
8	35,86 f A (3,81)	RM	44,30 g B (5,57)	RM	28,37 d B (3,23)	RM	21,89 e A (2,92)	R	0,53 b A (0,48)	MR	1,73 c B (0,84)	MR
10	43,04 g A (5,30)	RM	47,09 h B (3,65)	NR	34,51 e B (3,52)	RM	29,37 f A (2,28)	RM	0,77 bc A (0,37)	MR	1,63 c B (0,55)	MR
12	51,16 h A (5,02)	NR	54,27 i A (3,06)	NR	42,48 f B (2,97)	RM	34,30 g A (3,44)	RM	1,24 de A (0,41)	MR	2,67 d B (1,34)	MR
14	56,17 i A (2,43)	NR	54,57 i A (4,01)	NR	49,24 g B (4,05)	NR	35,97 g A (4,46)	RM	1,39 e A (0,51)	MR	4,34 ef B (0,90)	MR
16	56,63 i A (6,28)	NR	57,91 j A (4,43)	NR	47,40 g A (4,76)	NR	43,88 h A (4,87)	RM	0,61 b A (0,28)	MR	4,19 ef B (1,34)	MR
18	62,05 j A (7,49)	NR	60,28 j A (4,62)	NR	48,75 g A (12,70)	NR	47,57 i A (6,36)	NR	0,95 bcd A (0,63)	MR	3,82 e B (1,69)	MR
20	69,41 k B (6,37)	NR	64,67 k A (3,50)	NR	48,75 g A (11,19)	NR	49,05 i A (6,38)	NR	1,10 de A (0,56)	MR	5,11 fg B (2,34)	MR

Em que: P= período (semanas); PM= perda de massa (%); CR= classes de resistência; MR= muito resistente; R= resistente; RM= resistência moderada; NR= não resistente; PB= podridão branca; PP= podridão parda. Dentro de cada espécie, médias não seguidas na horizontal por uma mesma letra maiúscula ou na vertical por uma mesma letra minúscula diferem estatisticamente a 5% de probabilidade. Valores entre parênteses relativos ao desvio padrão.



Quando considerado o intervalo entre a 12<sup>a</sup> e 20<sup>a</sup> semana verificou-se que a perda de massa da madeira de marupá se manteve crescente para ambos os fungos apodrecedores. Com relação à madeira de jequitibá, a perda de massa apresentou estabilização a partir da 14<sup>a</sup> e 18<sup>a</sup> semana, para a podridão branca e parda, respectivamente. Por sua vez, para a madeira de cumaru, apesar de não se verificar uma tendência clara de redução da perda de massa, em comparação às demais espécies, de modo geral, pode-se constatar que a mesma se manteve constante a partir da 12<sup>a</sup> e 14<sup>a</sup> semana, para a podridão branca e parda, respectivamente. Tais resultados podem ser justificados em razão da constituição química das madeiras (Tabela 2), em especial quanto à presença de extrativos.

**Tabela 2.** Caracterização química e física das madeiras de marupá, jequitibá e cumaru.  
**Table 2.** Physical and chemical characterization of marupá, jequitibá and cumaru wood.

Espécie	Thol	Tlig	Text	Tcz	Φ	MEbs	Rn
Marupá	68,41	28,53	2,49	0,57	74,02	0,40	1,00
Jequitibá	62,72	28,40	7,85	1,03	64,28	0,55	4,32
Cumaru	62,04	28,30	9,20	0,46	39,61	0,93	8,56

em que: Thol= teor de holocelulose (%); Tlig= teor de lignina (%); Text= teor de extrativos (%); Tcz= teor de cinzas (%); Φ= porosidade (%); MEbs= massa específica básica (g.cm<sup>-3</sup>); Rn= potencial de resistência natural.

De acordo com Eaton; Hale (1993), os extrativos influenciam no grau de resistência biológica, podendo minimizar ou maximizar a deterioração dos constituintes de alto peso molecular (celulose, polioses e lignina). Nesse sentido, é possível afirmar que madeiras com elevado teor de extrativos, como no caso do cumaru, apresentam a tendência de estabilização da perda de massa em um menor período de tempo, em razão do “esgotamento” do mecanismo enzimático da cultura fúngica, quando comparado a madeiras com baixo teor de extrativos, como no caso do marupá.

Ao analisar a classificação de resistência biológica (Tabela 1) constatou-se que a mesma, de modo geral, não foi sensível às variações significativas de perda de massa ao longo do período de exposição das madeiras aos fungos apodrecedores. Para a madeira de marupá verificou-se que após a 10<sup>a</sup> e 12<sup>a</sup> semana a classificação foi de não resistente aos fungos de podridão parda e branca, respectivamente. Por sua vez, a madeira de cumaru apresentou classificação constante de muito resistente para ambos os fungos apodrecedores, até o término dos ensaios. Quando considerada a madeira de jequitibá observou-se que a classificação de não resistente aos fungos

de podridão branca e parda, a partir da 14<sup>a</sup> e 18<sup>a</sup> semana, respectivamente, se manteve constante, bem como as variações de perda de massa.

Em relação aos fungos apodrecedores verificou-se que o comportamento da propriedade biológica foi diferenciado de acordo com a espécie amazônica. A madeira de cumaru atacada pelo fungo de podridão parda apresentou, durante todo o período de ensaio, perda de massa significativamente superior em relação à deterioração proporcionada pelo fungo de podridão branca. No caso da madeira de marupá, a perda de massa em razão da exposição ao fungo de podridão parda, até a 10<sup>a</sup> semana, foi significativamente superior quando comparada ao ataque causado pelo fungo de podridão branca. Já para a madeira de jequitibá constatou-se tendência contrária, em que até a 14<sup>a</sup> semana a perda de massa causada pelo fungo de podridão branca foi significativamente superior à registrada pelo fungo de podridão parda.

De acordo com Panshin; De Zeeuw (1980) os fungos de podridão parda, apesar de proporcionarem um ataque mais heterogêneo na parede celular, causam maiores perdas de massa em comparação aos fungos de podridão branca, conforme verificado para a madeira de cumaru. Carneiro et al. (2009), em estudo de durabilidade natural de 28 espécies amazônicas submetidas ao ataque de diferentes fungos apodrecedores, corroboraram com a citação anterior. A principal explicação está relacionada à melhor difusão das enzimas dos fungos de podridão parda, principalmente, nos estágios iniciais, porém Zabel; Morrell (1992) enfatizaram que com o apodrecimento intenso as perdas de massa, ocasionadas pelas diferentes classes de fungos apodrecedores, tendem a serem semelhantes, corroborando com os resultados apresentados para as madeiras de marupá e jequitibá. Entretanto, Torelli; Cufar (1994) ao avaliarem a resistência natural da madeira de 43 espécies de folhosas mexicanas, constataram que para algumas amostras a perda de massa causada por fungo de podridão branca foi superior à registrada para a podridão parda. Sendo assim, constata-se que cada fungo apodrecedor pode apresentar características diferenciadas de ataque em razão da espécie florestal. Schmidt (2006) citou que as diferentes características fisiológicas e necessidades nutricionais dos organismos xilófagos resultam em preferências por determinadas madeiras, conforme a composição química destas.

Ao avaliar a espécie amazônica, observou-se que, durante as 20 semanas de exposição aos fungos apodrecedores, a madeira de cumaru apresentou a menor perda de massa, diferindo significativamente em relação às madeiras de marupá e jequitibá (Tabela 3).

**Tabela 3.** Comparação das médias de perda de massa entre as madeiras de marupá, jequitibá e cumaru.

**Table 3.** Comparison of mean mass loss between marupá, jequitibá and cumaru wood.

Período	Marupá	Jequitibá	Cumaru
0	0	0	0
1	2,35 a	0,10 b	0,18 b
2	13,41 a	2,77 b	0,18 c
3	19,54 a	8,07 b	0,00 c
4	23,23 a	12,24 b	1,14 c
6	30,09 a	19,54 b	1,06 c
8	40,08 a	25,13 b	1,13 c
10	45,06 a	31,94 b	1,20 c
12	52,71 a	38,39 b	1,95 c
14	55,37 a	42,61 b	2,86 c
16	57,27 a	45,64 b	2,40 c
18	61,16 a	48,16 b	2,38 c
20	67,04 a	48,90 b	3,10 c

Médias não seguidas por uma mesma letra minúscula na horizontal diferem estatisticamente a 5% de probabilidade.

Carneiro et al. (2009) ao submeterem a madeira de cumaru à ação de fungos de podridão branca e parda constataram que a mesma enquadra-se na classe de muito resistente, visto que a perda de massa, ao final de 12 semanas, foi de, aproximadamente, 2%. Em complemento, Jesus et al. (1998) ao avaliarem ensaios de apodrecimento a campo, instalados no Estado do Amazonas, nos quais a madeira fica sujeita à ação de diferentes agentes deterioradores, mencionaram que dentre 46 espécies nativas da região, a durabilidade da madeira de cumaru pode ser considerada elevada, em razão de sua vida útil superior a 8 anos.

Jesus; Abreu (2002) em estudos de apodrecimento acelerado, duração de 16 semanas, com a madeira de marupá classificaram a mesma como não resistente e moderadamente resistente a ação de fungos de podridão parda (*Gloeophyllum trabeum*) e branca (*Pycnoporus sanguineus* e *Polyporus fumosus*), respectivamente. Carneiro et al. (2009) citaram que a madeira de marupá apresenta resistência moderada à ação de fungos apodrecedores. De modo distinto aos trabalhos citados, Costa et al. (2011) caracterizaram a madeira de marupá como sendo uma espécie não resistente à ação de fungos de podridão branca e parda, após 12 semanas, resultado semelhante ao registrado no presente estudo. É válido enfatizar que as diferenças constatadas na resistência natural da madeira de marupá entre as literaturas podem ser atribuídas ao vigor da cultura fúngica (idade, período de estocagem, linhagem e mutações) e às condições de incubação (temperatura,

umidade e meio de cultura) durante o ensaio de apodrecimento, conforme descrito por Dirol; Deglise (2001).

Gouveia et al. (2011) mencionaram que a madeira de jequitibá pode ser classificada como moderadamente resistente ao ataque dos fungos de podridão branca e parda, ao apresentar perda de massa de 41,04 e 39,40%, respectivamente, após 12 semanas de ensaio de laboratório, corroborando com os resultados apresentados no presente estudo.

Segundo Zabel; Morrell (1992), Eaton; Hale (1993) e Alves et al. (2006) ao considerar apenas o fator madeira, a resistência natural aos fungos apodrecedores está condicionada às vias de acesso (plano anatômico e teor de umidade) e à composição química. Nesse sentido, na Tabela 2, verifica-se que a madeira de cumaru apresentou características de elevado teor de extrativos e massa específica, bem como de baixa porosidade, de modo a conferir elevada resistência biológica, quando comparada às madeiras de marupá e jequitibá.

Santana; Okino (2007) e Carneiro et al. (2009) encontraram valores de teor de extrativos e de massa específica básica das madeiras de marupá (2,1% e  $0,37 \text{ g.cm}^{-3}$ ) e cumaru (9,7% e  $0,94 \text{ g.cm}^{-3}$ ) semelhantes aos apresentados na Tabela 2. Para a madeira de jequitibá, Gouveia et al. (2011) mencionaram valores de massa específica básica de  $0,53 \text{ g.cm}^{-3}$  e de extrativos de, aproximadamente, 4%, esse último é, consideravelmente, distinto do registrado na Tabela 2. No entanto, Mori et al. (2003) e Klock et al. (2005) apresentaram teores de extrativos variando entre 5 a 9%, aproximadamente. Hillis (1962) citou vários fatores que estão associados com a variação do conteúdo de extrativos: idade da árvore, posição da amostra na árvore, local de crescimento, variações sazonais e diferenças genéticas, o que pode explicar essa anomalia dos valores.

De acordo com Carneiro et al. (2009), a perda de massa, o teor de extrativos e o potencial de resistência natural, são diretamente relacionados. Os autores destacaram que, normalmente, madeiras da Região Amazônica com teor de extrativos acima de 7% apresentam um elevado potencial de resistência natural e, conseqüentemente as perdas de massa são mínimas. No entanto, para a madeira de jequitibá verificou-se que apesar do alto teor de extrativos, a perda de massa não foi mínima, ao contrário do constatado para a madeira de cumaru.

Panshin; De Zeeuw (1980) citaram que a massa específica, e conseqüentemente a porosidade, podem ser empregadas como indicativo da durabilidade natural, sendo que madeiras mais densas e menos porosas oferecem maior resistência ao apodrecimento por fungos. No entanto, é preciso enfatizar que, apesar da relação direta entre o teor (quantidade) de extrativos e

a massa específica da madeira (KOLLMANN, 1959), o potencial de resistência natural, conforme descrito por Carneiro et al. (2009), não pode ser associado, apenas, aos dois parâmetros, mas sim com as classes químicas (qualidade) dos extrativos (FINDLAY, 1985; ARCHER; LEBOW, 2006; PAES et al., 2007). De acordo com Walker (2006), a durabilidade natural da madeira está relacionada, principalmente, com a concentração de extrativos fenólicos (taninos, polifenóis, estilbenos, lignanas e flavonóides), como no caso do cumaru que apresenta cerne rico em cumarina (CANUTO; SILVEIRA, 2006).

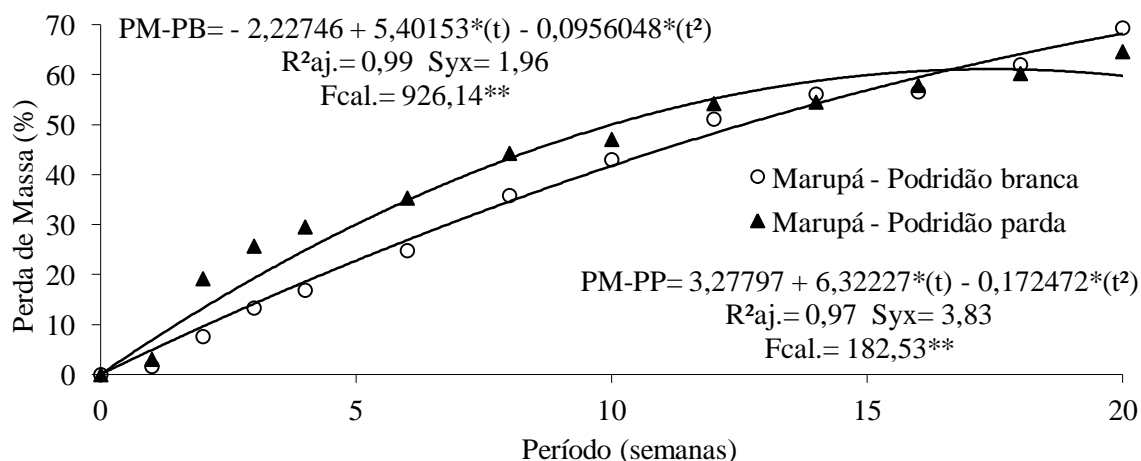
As correlações lineares e os modelos estatísticos de predição das perdas de massa de cada espécie amazônica em função do período de exposição aos fungos de podridão branca e parda são apresentados na Tabela 4 e Figuras 1 a 3, respectivamente.

**Tabela 4.** Correlação entre a perda de massa das madeiras de marupá, jequitibá e cumaru e o período de exposição aos fungos apodrecedores.

**Table 4.** Correlation between mass loss of marupá, jequitibá and cumaru wood and exposure time to decay fungi.

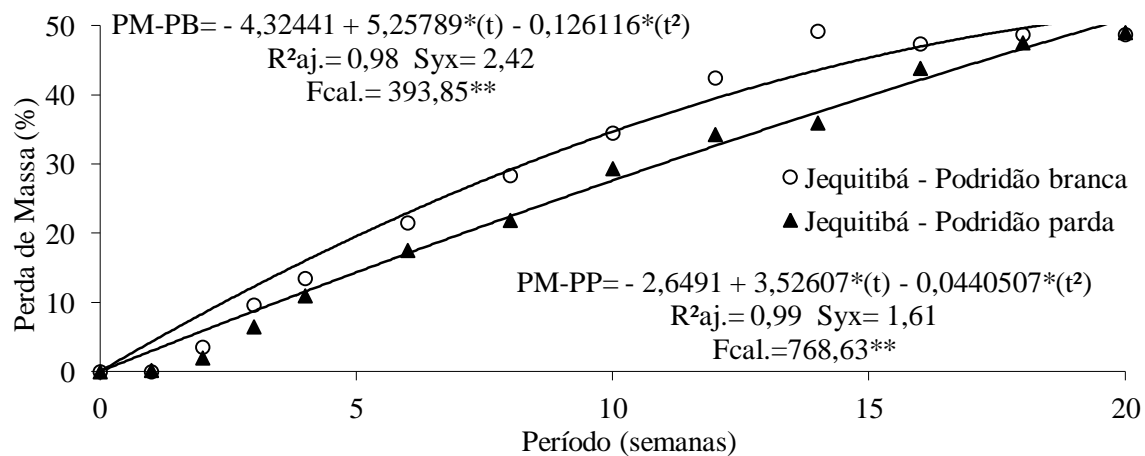
	Marupá		Jequitibá		Cumaru	
	PM-PB (%)	PM-PP (%)	PM-PB (%)	PM-PP (%)	PM-PB (%)	PM-PP (%)
Período (semanas)	0,99 (< 0,01**)	0,94 (< 0,01**)	0,97 (< 0,01**)	0,99 (< 0,01**)	0,70 (< 0,01**)	0,96 (< 0,01**)

Em que: PM-PB= perda de massa causada pelo fungo de podridão branca; PM-PP= perda de massa causada pelo fungo de podridão parda; \*\*= significativo a 1%.



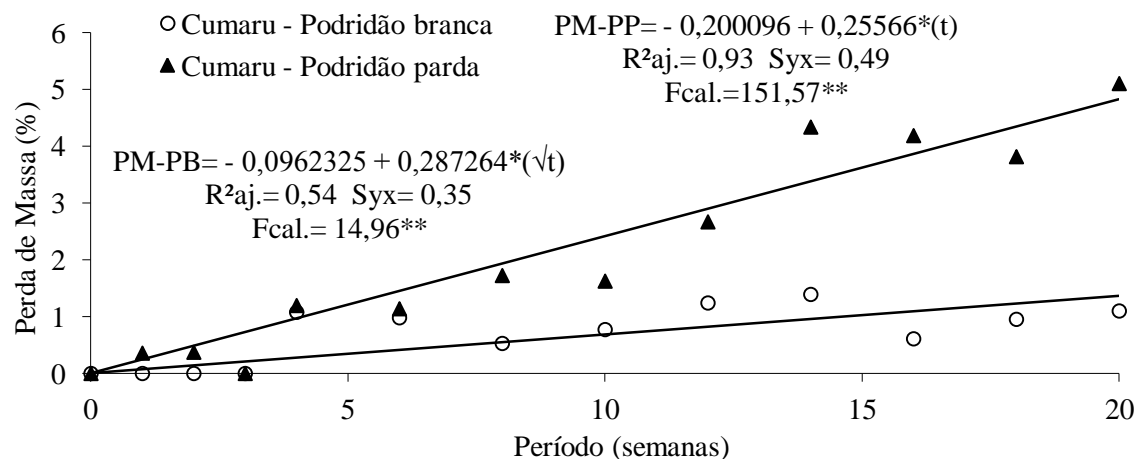
**Figura 1.** Modelos estatísticos de predição da perda de massa da madeira de marupá em função do tempo de exposição aos fungos apodrecedores.

**Figure 1.** Statistical models to prediction of the mass loss of marupá wood in function of exposure time to decay fungi.



**Figura 2.** Modelos estatísticos de predição da perda de massa da madeira de jequitibá em função do tempo de exposição aos fungos apodrecedores.

**Figure 2.** Statistical models to prediction of the mass loss of jequitibá wood in function of exposure time to decay fungi.



**Figura 3.** Modelos estatísticos de predição da perda de massa da madeira de cumaru em função do tempo de exposição aos fungos apodrecedores.

**Figure 3.** Statistical models to prediction of the mass loss of cumaru wood in function of exposure time to decay fungi.

Mediante análise dos parâmetros estatísticos ( $R$ ,  $R^2_{aj.}$ ,  $Sy_x$  e valor de  $F$  calculado), percebe-se que, de modo geral, as correlações e os modelos estatísticos foram satisfatórios, sendo observados os melhores ajustes para as madeiras de jequitibá e cumaru quando submetidas ao ataque do fungo de podridão parda, e para a madeira de marupá exposta ao fungo de podridão branca.

Para a madeira de cumaru submetida ao ataque do fungo de podridão branca verificou-se o pior ajuste preditivo, que pode ter sido influenciado diretamente pela baixa variação e magnitude da perda de massa ao longo do período de exposição. Apesar das diferenças, ao considerar as interações entre as madeiras amazônicas e os fungos apodrecedores, tanto as correlações quanto os ajustes de predição foram significativos a 1%.

#### 4 CONCLUSÕES

A madeira de cumaru apresentou maior resistência natural quando comparada ao marupá e jequitibá, de modo a proporcionar menor perda de massa, sendo classificada como muito resistente durante as 20 semanas de apodrecimento acelerado.

O fungo de podridão parda proporcionou as maiores perdas de massa para as madeiras de cumaru e jequitibá, enquanto o fungo de podridão branca atacou mais intensamente a madeira de marupá, após 20 semanas de apodrecimento acelerado.

O período de 8 a 12 semanas, de acordo com a ASTM D2017, não foi suficiente para caracterização da resistência natural, por meio da perda de massa.

O período de tempo necessário para caracterização da resistência natural ao fungo de podridão branca foi de 20, 14 e 12 semanas, enquanto para o fungo de podridão parda foi de 20, 18 e 14 semanas para as madeiras de marupá, jequitibá e cumaru, respectivamente.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento da pesquisa.

#### 6 REFERÊNCIAS

ALVES, M.V.S.; COSTA, A.F.; ESPIG, D.S.; VALE, A.T. Resistência natural de seis espécies de madeiras da região amazônica a fungos apodrecedores, em ensaio de laboratório. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.1, p.17-26, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **ASTM D2017**: Standard method for accelerated laboratory test of natural decay resistance for woods. West Conshohocken: ASTM International, 2005.

ARCHER, K.; LEBOW, S. Wood preservation. In: WALKER, J.C.F. (Org.). **Primary wood processing**: principles and practice. Dordrecht: Springer, 2006. p.297-338.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11941**: Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13999**: Papel, cartão, pastas celulósicas e madeira - Determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525 °C. Rio de Janeiro: ABNT, 2003b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14660**: Madeira - Amostragem e preparação para análise. Rio de Janeiro: ABNT, 2003c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 14853**: Madeira - Determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano. Rio de Janeiro: ABNT, 2003d.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7989**: Pastas celulósicas e madeira - Determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro: ABNT, 2003e.

CANUTO, K.M.; SILVEIRA, E.R. Constituintes químicos da casca do caule de *Amburana cearensis* A.C. Smith. **Química Nova**, São Paulo, v.29. n.6, p.1241-1243, 2006.

CARNEIRO, J.S.; EMMERT, L.; STERNADT, G.H.; MENDES, J.C.; ALMEIDA, G.F. Decay susceptibility of Amazon wood species from Brazil against white rot and brown rot decay fungi. **Holzforschung**, Berlin, v.63, n.6, p.767-772, 2009.

COSTA, M.A.; COSTA, A.F.; PASTORE, T.C.M.; BRAGA, J.W.B.; GONÇALEZ, J.C. Caracterização do ataque de fungos apodrecedores de madeiras através da colorimetria e da espectroscopia de infravermelho. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n.3, p.565-575, 2011.

DIROL, D.; DEGLISE, X. **Durabilité de bois et problèmes associés**. Paris: Hermès Science Publications, 2001. 415p.

EATON, R.A.; HALE, M.D.C. **Wood**: decay, pests and protection. Londres: Chapman & Hall, 1993. 546p.

FINDLAY, W.P.K. The nature and durability of wood. In: \_\_\_\_\_. **Preservation of timber in the tropics**. Dordrecht: M. Nijhoff; W. Junk, 1985. p.1-15.

GOUVEIA, F.N.; GARLET, A.; COSTA, A.F.; CORRÊA, A.A.; PRATES, E.B. Efeito de tratamentos térmicos sobre a variação dimensional e resistência biológica de madeiras



Amazônicas. In: CONGRESSO IBERO-LATINOAMERICANO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO - CIMAD, 11, 2011, Coimbra, Portugal. **Anais...** Coimbra: Departamento de Engenharia Civil da FCTUC, 2011. p.1-6.

HILLIS, W.E. **Wood extractives and their significance to the pulp and paper industries**. New York: Academic Press, 1962. 513p.

JESUS, M.A.; MORAES, J.W.; CARDIAS, M.F.C.; ABREU, R.L.S. Durabilidade natural de 46 espécies de madeira amazônicas em contato com o solo em ambiente florestal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.54, p.81-92, 1998.

JESUS, M.A.; ABREU, R.L.S. Durabilidade natural da madeira de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth). I Fungos. **Acta Amazonica**, Manaus, v.32, n.4, p.663-675, 2002.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G.I.B.; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A.S. **Química da madeira**. 3. ed. Curitiba: FUPEF, 2005. 86p.

KOLLMANN, F. **Tecnología de la madeira y sus aplicaciones**. Madrid: Gráficas Reunidas S.A., 1959. 674p.

MORI, F.A.; MENDES, L.M.; TRUGILHO, P.F.; CARDOSO, M.G. Utilização de Eucaliptos e de madeiras nativas no armazenamento da aguardente de cana-de-açúcar. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.3, p.396-400, 2003.

PAES, J.B.; MELO, R.R.; LIMA, C.R. Resistência natural de sete madeiras a fungos e cupins xilófagos em condições de laboratório. **Cerne**, Lavras, v.13, n.2 p.160-169, 2007.

PANSHIN, A.J.; DE ZEEUW, C. **Text book of wood technology**. 4. ed. New York: Mc Graw Hill, 1980. 722p.

SANTANA, M.A.E.; OKINO, E.Y.A. Chemical composition of 36 Brazilian Amazon forest wood species. **Holzforschung**, Berlin, v.61, n.5, p.469-477, 2007.

SCHMIDT, O. **Wood and tree fungi: biology, damage, protection and use**. Berlin: Springer-Verlag, 2006. 329p.

STANGERLIN, D.M.; MELO, R.R.; GARLET, A.; GATTO, D.A. Durabilidade natural de painéis aglomerados confeccionados com *Eucalyptus grandis* e *Bambusa vulgaris* em ensaio de apodrecimento acelerado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.8, p.1369-1374, 2011.

TORELLI, N. CUFAR, K. Comparative decay resistance of 43 Mexican tropical hardwoods. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, n.52, p.394-396, 1994.

ZABEL, R.A.; MORRELL, J.J. **Wood microbiology: decay and its prevention**. San Diego: Academic Press, 1992. 476p.

WALKER, J.C.F. Basic wood chemistry and cell wall ultrastructure. In: \_\_\_\_\_. **Primary wood processing: principles and practice**. Dordrecht: Springer, 2006. p.23-67.