



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

MARÍLIA CASTRO BRASIL DUARTE

**BIODEGRADAÇÃO DE MADEIRAS DE ESPÉCIES TROPICAIS AFETAM O
DESENVOLVIMENTO VEGETAL**

MARÍLIA CASTRO BRASIL DUARTE

**BIODEGRADAÇÃO DE MADEIRAS DE ESPÉCIES TROPICAIS AFETAM O
DESENVOLVIMENTO VEGETAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de
Amazônia, como parte das exigências do Programa de
graduação em Ciências Florestais, para obtenção do título de
Mestre. Área de Concentração: Tecnologias de Recursos
Florestais.

Orientadora: Dra. Lina Bufalino

Co-Orientadora: Dra. Gracialda Costa Ferreira (2018-2019)

Co-Orientador: Dr. Cândido Ferreira Oliveira Neto (2018-2019)

Co-Orientador: Dr. Wardsson Lustrino Borges (2019)

MARÍLIA CASTRO BRASIL DUARTE

**BIODEGRADAÇÃO DE MADEIRAS DE ESPÉCIES TROPICAIS AFETAM O
DESENVOLVIMENTO VEGETAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, para obtenção do título de Mestre. Área de Concentração: Tecnologias de Recursos Florestais.

Aprovado em __ de ____ de 2020

BANCA EXAMINADORA:

Dra. Lina Bufalino- Orientadora
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

Dr. Lourival Marin Mendes – 1º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS - UFLA

Dr. Gustavo Henrique Denzin Tonoli – 2º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS - UFLA

Dr. Glauco André dos Santos Nogueira – 3º Examinador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pelo dom da vida;

À minha família pelo incentivo nessa jornada;

À Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) pela formação em engenharia florestal.

Ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais (PPGCF/UFRA) pela oportunidade de me tornar mestre e por todo o apoio durante os 2 anos de curso.

À minha orientadora Lina Bufalino e aos coorientadores Gracialda Ferreira, Cândido Neto e Wardsson Borges pelo apoio e dedicação dispensados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro recebido durante o período de realização do mestrado.

Ao grupo Hydro pela cessão das madeiras utilizadas no presente estudo.

Aos colegas e amigos do laboratório Estudos da Biodiversidade de Plantas Superiores (EBPS), da Universidade Federal Rural da Amazônia pela companhia e assistência durante os meses de experimento em casa de vegetação.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais (LTPF), da Universidade Federal Rural da Amazônia pela companhia e auxílio durante as análises.

À todos que contribuíram de forma direta ou indiretamente para realização desse trabalho.

RESUMO

Para implantar e conduzir usinas hidrelétricas, rodovias ou atividades de mineração, torna-se necessária a supressão da vegetação nativa. Nestas situações, produtos da biodegradação da madeira gerados nos pátios de estocagem de toras e resíduos de madeira interagem com água de precipitações ou volatilizam podendo causar impacto no ambiente e prejudicando futuros esforços de recuperação de áreas degradadas. O objetivo deste trabalho foi verificar se a biodegradação de madeiras tropicais estocadas em diferentes condições afetam as propriedades do solo e o crescimento inicial de mudas da espécie pioneira *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber exDucke) Barneby. Foram selecionadas as madeiras de quatro espécies tropicais: timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.WGRIMES); pau-amarelo (*Euxylophora paraensis* Huber); tamanqueira (*Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke); e para-pará (*Jacaranda copaia* (Aubl.) D.Don) coletadas em pátio de estocagem de uma empresa de mineração de bauxita. Foi realizada a caracterização química, anatômica e física das madeiras antes e após estocagem no solo durante 75 dias, em três condições: madeira enterrada, posicionada horizontalmente e posicionada verticalmente (parcialmente enterrada), em relação ao substrato contido no vaso. Para o solo, determinou-se o pH, a capacidade de troca catiônica, o conteúdo de matéria orgânica, a saturação de bases, a saturação de alumínio e os macronutrientes. Nas mudas germinadas, foram analisadas propriedades biométricas e produção de biomassa. O teste de desenvolvimento das mudas foi conduzido em casa de vegetação. As perdas de massa foram de 2,7%, para *Euxylophora paraensis* e 13,1%, para *Pseudopiptadenia suaveolens*, ambas madeiras de alta densidade, e de 8,7% para *Aegiphila integrifolia* e 18,4%, para *Jacaranda copaia*, madeiras de baixa densidade. As madeiras de maior taxa de biodegradação também apresentaram maiores teores de extrativos solúveis em água (8,4% e 5,4%). Foram observados maior comprimento de fibra (1172,96 μm), comprimento de vaso (768,67 μm) e espessura de parede (5,92 μm) para a espécie de menor taxa de biodegradação e maior diâmetro de lúmen (21,64 μm) e diâmetro de vaso (255,67 μm) para espécie de maior taxa de biodegradação. A biodegradação de todas as espécies modificou negativamente as propriedades do solo causando reduções de pH, teor de matéria orgânica, macronutrientes e aumento do teor de H+Al. Além disso, houve redução no crescimento nas plantas de *Schizolobium parahyba* de 28%, 18%, 46%, 34% e 57% para a altura, diâmetro do caule e massa seca de raiz, caule e de folhas, respectivamente, quando cultivadas em solo na presença de biodegradação das madeiras tropicais. Conclui-se que a intensidade da biodegradação depende da espécie e varia em função de suas propriedades anatômicas e químicas, mas independe da posição de estocagem no solo. A biodegradação afetou negativamente as propriedades do solo e, conseqüentemente, o desenvolvimento de mudas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. Este trabalho indica que a manutenção de madeiras no pátio de estocagem de áreas de mineração pode prejudicar a recuperação de áreas degradadas.

Palavras-chave: lixiviação, extrativos, *Schizolobium parahyba*, supressão, mineração

ABSTRACT

In order to implement and conduct hydroelectric plants, highways or mining activities, it is necessary to suppress native vegetation. In these situations, wood biodegradation products generated in the log storage yards and wood residues interact with water from precipitations or volatilize and may impact the environment and hamper future efforts to recover degraded areas. The objective of this work was to verify if the biodegradation of tropical wood stored in different conditions affects the soil properties and the initial growth of seedlings of the pioneer species *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby. The woods of four tropical species were selected: timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.WGRIMES); yellowwood (*Euxylophora paraensis* Huber); clover (*Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke); and para-pará (*Jacaranda copaia* (Aubl.) D.Don) collected in the storage yard of a bauxite mining company. The chemical, anatomical and physical characterization of the wood was carried out before and after storage in the soil for 75 days, in three conditions: buried wood, positioned horizontally and positioned vertically (partially buried), in relation to the substrate contained in the pot. For the soil, pH, cation exchange capacity, organic matter content, base saturation, aluminum saturation and macronutrients were determined. In the germinated seedlings, biometric properties and biomass production were analyzed. The seedling development test was conducted in a greenhouse. Mass losses were 2.7%, for *Euxylophora paraensis* and 13.1%, for *Pseudopiptadenia suaveolens*, both high density woods, and 8.7% for *Aegiphila integrifolia* and 18.4%, for *Jacaranda copaia*, woods low density. The woods with the highest biodegradation rate also showed higher levels of water-soluble extracts (8.4% and 5.4%). Longer fiber length (1172.96 μm), vessel length (768.67 μm) and wall thickness (5.92 μm) were observed for the species with the lowest biodegradation rate and largest lumen diameter (21.64 μm) and vessel diameter (255.67 μm) for species with the highest rate of biodegradation. The biodegradation of all species has negatively modified soil properties causing reductions in pH, organic matter content, macronutrients and increased H + Al content. In addition, there was a reduction in growth in *Schizolobium parahyba* plants of 28%, 18%, 46%, 34% and 57% for height, stem diameter and dry weight of root, stem and leaves, respectively, when grown in soil in the presence of biodegradation of tropical woods. It is concluded that the intensity of biodegradation depends on the species and varies depending on its anatomical and chemical properties, but it does not depend on the storage position in the soil. Biodegradation negatively affected soil properties and, consequently, the development of *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. This work indicates that the maintenance of wood in the storage yard of mining areas can impair the recovery of degraded areas.

Key words: leaching, extractives, *Schizolobium parahyba*, suppression, mining.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Representação esquemática do ensaio: P_I a P_{III} - pilhas de estocagem na empresa; T_I a T_{III} - toras amostradas da mesma espécie; D_I a D_{III} - discos de madeira; R₁ a R₆ Cerne (cr); alburno (ab); análise química completa (AQ); densidade básica (DB); umidade base seca (UBS); e corpos de prova I, II e III (CPs).21
- Figura 2.** Fibras das espécies estudadas. Onde: A) *A. integrifolia*; B) *J. copaia*; C) *P. suaveolens*; D) *E. paraensis*27
- Figura 3.** Média da perda de massa das madeiras amazônicas nas três posições ao final do bioensaio (75 dias)..... 29
- Figura 4.** Descrição anatômica quantitativa das espécies estudadas.30
- Figura 5.** Vasos das espécies estudadas. Onde: E) *A. integrifolia*; F) *J. copaia*; G) *P. suaveolens*; H) *E. paraensis*31
- Figura 6.** Esquema representativo das ordens e famílias das espécies estudadas.....32
- Figura 7.** Corpos de prova da espécie *J. copaia* após 75 dias de experimento em casa de vegetação. Onde: A) vista lateral, B e C) vista frontal.....34
- Figura 8.** Altura de paricá submetido à exposição de corpos de prova de quatro espécies de madeiras amazônicas em processo de biodegradação.42
- Figura 9.** Diâmetro do caule de paricá submetido à exposição de corpos de prova de quatro espécies de madeiras amazônicas em processo de biodegradação42
- Figura 10.** Massa seca da raiz de paricá submetida à exposição com quatro corpo de prova de espécies de madeiras amazônicas.....43
- Figura 11.** Massa seca do caule de paricá submetido à exposição com quatro corpo de prova de espécies de madeiras amazônicas44
- Figura 12.** Massa seca da folha de paricá submetido à exposição com corpos de prova de quatro espécies de madeiras amazônicas.....45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição química das madeiras das espécies tropicais em estudo.....	24
Tabela 2. Densidade básica e teor de extrativos solúveis em água das madeiras das espécies tropicais de estudo	26
Tabela 3. Caracterização anatômica quantitativa das espécies estudadas.....	26
Tabela 4. ANOVA de perda de massa utilizando modelo linear generalizado.	28
Tabela 5. Teor de materiais solúveis em água fria após 75 dias de experimento em casa de vegetação, para as espécies estudadas	34
Tabela 6. Propriedades químicas e macronutrientes do solo após 30 dias (período de incubação) na presença de madeiras estocadas	36
Tabela 7. Propriedades químicas e macronutrientes do solo após 30 dias (período de incubação) na presença de madeiras estocadas	39
Tabela 8. Resumo da ANOVA para as variáveis de crescimento e produção de biomassa.....	41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. QUESTÕES CIENTÍFICAS, HIPÓTESES E OBJETIVOS.....	11
2.1. Questões científicas.....	11
2.2. Hipóteses.....	11
2.3. Objetivos.....	11
2.3.1. Objetivo geral	11
2.3.2. Objetivos específicos.....	12
3. REVISÃO DELITERATURA.....	12
3.1. Espécies madeireiras estudadas	13
3.2. Propriedades tecnológicas da madeira	15
3.3. Biodegradação da madeira	16
3.4. Alteração das propriedades do solo pela de biomassa lignocelulósica	17
3.5. Espécie pioneira de estudo: <i>Schizolobiumparahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	18
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
4.1. Coleta e amostragem das madeiras tropicais	19
4.2. Bioensaio.....	19
4.3. Descrição das análises	22
4.3.1. Propriedades tecnológicas das madeiras	22
4.3.2. Caracterização das propriedades do solo	23
4.3.3. Crescimento da planta	23
4.4. Análises estatísticas	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1. Propriedades tecnológicas das madeiras	24
5.2. Perda de massa e efeito nas propriedades das madeiras	28
5.3. Perda de material solúvel após 75 dias de exposição à biodegradação	34
5.4. Efeito da degradação da madeira no solo	35
5.5. Efeito da degradação da madeira no crescimento inicial do paricá	42
6. CONCLUSÕES	47
REFERÊNCIAS	48

1. INTRODUÇÃO

A Supressão Vegetal Autorizada (SVA) é um procedimento obrigatório à implantação de empreendimentos diversos como usinas hidrelétricas, rodovias ou atividades de mineração, em especial quando se instalam em regiões densamente florestadas, como o bioma Amazônico (Lei Federal nº 3.824/1960; IBAMA IN Nº 6/2009).

A SVA para esses empreendimentos é um processo de custo elevado, envolvendo atividades de corte, transporte e classificação dos diferentes materiais e estocagem. Essas atividades, se não realizadas com duplo objetivo de desobstruir áreas e viabilizar a destinação do material vegetal suprimido, comprometem definitivamente as possibilidades de uso da madeira depositada nos pátios de estocagem (GVces/IFC, 2016).

No estado do Pará, a lei nº 6958/2007 determina que madeiras extraídas de áreas licenciadas à exploração de jazidas, minas ou outros depósitos minerais e as submersas por águas de lagos de contenção às barragens hidrelétricas, dentro do território paraense, sejam destinadas para a construção de casas populares, escolas e clínicas para tratamento de dependentes químicos. Entretanto, segundo o GVces/IFC (2016), a implementação da lei não foi eficaz para reduzir o volume de madeira em tora armazenada nos pátios de estocagem nas mineradoras devido ao impedimento de desdobro e dificuldade de transporte do material vegetal por parte das empresas, além dos possíveis receptadores não possuírem estrutura para promover este beneficiamento. No âmbito federal, ainda existem divergências dentro dos órgãos ambientais em relação ao domínio e responsabilidade sobre a madeira quando ela deixa a empresa, principalmente quando os empreendimentos se instalam em terras públicas.

Como consequência do armazenamento sobre o solo nos pátios de estocagem, a biomassa lenhosa se degrada em função da ação de agentes bióticos e abióticos. No primeiro grupo, encontram-se insetos, fungos, bactérias, algas e xilófagos marinhos. Entre os fatores abióticos, pode-se citar a ação das chuvas, dos ventos, da radiação solar, além das tensões físicas criadas pelo umedecimento e secagem consecutivos da madeira (CHANG, 1982).

Lixiviados de madeira são gerados nos pátios de estocagem de toras e os resíduos da degradação, quando interagem com água, geralmente das precipitações, resultam em líquido que

Schizolobium parahyba var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby (paricá) vem sendo utilizada para recuperação de áreas degradadas por mineração, nos sistemas de produção florestal e agroflorestal na Amazônia, em função da qualidade da sua madeira para diferentes fins e pelo seu bom desenvolvimento silvicultural, caracterizado pelo rápido crescimento e ampla adaptabilidade às condições edafoclimáticas (OHASHI et al., 2010; ROSA, 2006). Portanto, é necessário avaliar se uma espécie útil ao reflorestamento pode ter seu desenvolvimento prejudicado, em áreas com a presença de madeiras em estocagem em processo de degradação.

2. QUESTÕES CIENTÍFICAS, HIPÓTESES E OBJETIVOS

2.1. Questões científicas

- As propriedades da madeira influenciam a biodegradação durante estocagem no solo?
- A madeira estocada em diferentes posições no solo apresenta diferente percentual de perda de massa?
- A madeira estocada em diferentes posições no solo altera as propriedades do mesmo?
- A presença de compostos biodegradados da madeira estocada no solo altera o crescimento inicial de uma planta pioneira?

2.2. Hipóteses

- A intensidade da biodegradação das espécies estocadas no solo depende das suas propriedades anatômicas, químicas e físicas;
- As diferentes posições de estocagem da madeira em relação ao solo afetam a perda de massa por biodegradação;
- Os compostos biodegradados das espécies estocadas em diferentes condições afetam as propriedades do solo;
- Os compostos biodegradados das espécies estocadas em diferentes condições afetam o crescimento inicial de *Schizolobium parahyba*.

Pseudopiptadenia suaveolens(Miq.) J.W. GRIMES) estocadas em diferentes condições, sobre as propriedades químicas do solo e sobre o desenvolvimento de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber exDucke) Barneby.

2.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar quatro madeiras de espécies da Amazônia com foco na influência das propriedades tecnológicas sobre a resistência natural à biodegradação;
- Comparar a biodegradação de quatro espécies de madeira estocadas em três posições nas propriedades do solo pela perda de massa e modificação das propriedades;
- Avaliar o efeito da biodegradação de diferentes madeiras de espécies tropicais estocadas em três posições nas propriedades do solo e no crescimento inicial e produção de biomassa de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber exDucke) Barneby.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Espécies madeireiras estudadas

Dentro da ordem sapindales está inserida a família Rutaceae, grupo ao qual pertence o gênero *Euxylophora*. Tem sido reportado na literatura que as espécies desta família produzem ampla diversidade de metabólitos secundários, dentre os quais destacam-se os alcalóides derivados do ácido antranílico, as cumarinas, as lignanas, os flavonóides e os limonóides (WATERMAN; GRUNDON, 1983; SILVA et al., 2007; SILVA; GOTTLIEB; HRENDORFER, 1988). O gênero *Euxylophora* é monotípico, apresentando somente a espécie *Euxylophora paraensis* Huber. A espécie, de ocorrência no norte do Brasil, é conhecida popularmente como pau-amarelo devido à cor de sua madeira (BUCHANAN; GRUISSEM; JONES, 2000). De acordo com Ministério do Meio Ambiente (2019), consta na lista de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção desde 1993.

A madeira de *E. paraensis* possui distinção entre cerne e alburno, brilho acentuado, cheiro e gosto imperceptíveis, moderadamente duras ao corte manual no plano transversal, grã direita e textura fina. Apresenta porosidade difusa, arranjo radial, maioria múltiplos, parcialmente obstruídos por tiloses, parênquima radial visível a olho nu e raios pouco contrastado (ALVES et al., 2012). Estudos prévios revelaram valores de densidade básica variando entre 0.52 e 0.72

flavonoides, quercetina-3-O-a-L-ramnopiranosídeo, miricetina-3-O-a-L-ramnopiranosídeo e hesperidina; e o alcaloide esquimmianina. No caule, foram isoladas cumarinas 8-metóxi-marmesina e marmesina, o limonoide limonina e o alcalóide N-metilflindersina (ISIDORO et al., 2012).

A espécie *Jacaranda copaia* (Aubl.) D.Don, conhecida na região norte do Brasil como pará-pará, pertence à família Bignoniaceae e na Amazônia apresenta distribuição em matas de terra firme (LORENZI, 1992). A madeira apresenta cerne indistinto de alburno, brilho médio a alto, cheiro e gosto imperceptíveis, moderadamente macia ao corte, grã reta e textura fina. Possui porosidade difusa, com poros pouco obstruídos por tilose e parênquima axial visível a olho nu (WILLIAMS; LEON, 2007). Para a madeira desta espécie foram encontrados valores de densidade básica variando entre 0,28 e 0,35 g/cm³ (ALMEIDA *et al.*, 2009; NASCIMENTO, 1997).

Estudos químicos sobre os constituintes de *Jacaranda* foram relatados para seis espécies, incluindo *Jacaranda copaia* (SAUVAIN et al., 1993), em que foram identificados triterpenos, quinonas, flavonóides, ácidos graxos, acetosídeos e feniletanóide.

A espécie *Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke, pertence à família Lamiaceae, ocorrendo na Floresta Amazônica, Caatinga, Savana do Brasil Central e Mata Atlântica, e é conhecida popularmente como tamanqueira. Não é endêmica do Brasil e se distribui por todos os estados do país (HARLEY et al., 2015). As espécies da família Lamiaceae acumulam substâncias com grandes diversidades estruturais, tais como esteróides, flavonóides, iridoides e terpenoides, incluindo os triterpenos pentacíclicos (ACCAME, 2000; SÁNCHEZ et al., 1998; HERNÁNDEZ et al., 2002; JUNAID et al., 2006; HARLEY; REYNOLDS, 1992).

A espécie *Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W. GRIMES) pertence à família Fabaceae, conhecida popularmente como timborana. É a única espécie do gênero que ocorre na Amazônia, principalmente na bacia do rio Amazonas e nas Guianas, além da Costa Rica (EMBRAPA, 2004). Foram encontrados registros de densidade básica de 0,75 e 0,76 g/cm³ por Silva et al. (2007) e Souza et al. (1997), respectivamente.

Em estudos sobre constituintes químicos realizados nas folhas de espécies do gênero *Pseudopiptadenia*, foram encontradas frações contendo taninos condensados e substâncias fenólicas de baixo peso molecular (MOREIRA *et al.*, 2002), em amostras de serragem do caule

A madeira apresenta três componentes orgânicos principais que a constituem em nível molecular, a celulose, as hemiceluloses e a lignina. Anatomicamente é formada por um conjunto heterogêneo de diferentes tipos de células que desempenham funções de sustentação, armazenamento, transporte e transformação de substâncias nutritivas de grande importância para a árvore (WIEDENHOEFT, 2010).

A celulose é o principal componente das paredes celulares. Trata-se de uma molécula longa e linear, formada unicamente por monossacarídeos D-glucose unidos por ligações $\beta(1-4)$, que tendem a se manter unidos lateralmente por pontes de hidrogênio para formar as microfibrilas de celulose (WASTOWSKI, 2018). O arranjo ordenado das moléculas de celulose dentro das microfibrilas resulta em propriedades cristalinas (SMITH et al., 1998). Essa característica torna a parede celular anisotrópica e duplamente refrativa sob luz polarizada, sendo restrita a regiões conhecidas como micelas. As cadeias de celulose desarranjadas que ocorrem entre as micelas constituem as regiões para-cristalinas das microfibrilas (MACHADO; RODRIGUES, 2013).

Hemiceluloses é o termo mais utilizado para denominar um grupo de polissacarídeos não-cristalinos que estão fortemente ligados à superfície da celulose, são menos resistentes a degradação (quimicamente e termicamente) que a celulose. Na parede celular, sua composição varia bastante nos diferentes tipos de células e entre táxon (MACHADO; RODRIGUES, 2013). Os monossacarídeos que formam as cadeias principais de hemiceluloses são a glucose, a xilose e a manose. A polimerização das glucoses forma hemiceluloses da classe glucanas, sendo as xiloglucanas as mais representativas da madeira. As xilanas são constituídas unicamente por xiloses, tendo as arabinoxilanas e arabinoglucoxilas como principais hemiceluloses das paredes secundárias de angiospermas. A manose se polimeriza para formar as mananas, sem combinação com outro monossacarídeo na cadeia principal, ou para formar glucomananas, quando polimeriza combinada com a galactose na cadeia principal. As galactomananas e galactoglutomananas são as principais hemiceluloses das madeiras de gimnospermas (SCHELLER; ULVSKOV, 2010).

A lignina é uma molécula fenólica, tridimensional, formada a partir da polimerização de três principais unidades monoméricas de álcool, o p-cumaril, o coniferil e o sinapil (ROS BERCELÓ, 1997; WHETTEN et al., 1998; HATFIELD; VERMERRIS, 2001). É uma substância hidrofóbica que funciona como um agente de ligação conferindo resistência à compressão e rigidez para o caule lenhoso. De acordo com a origem (gimnospermas,

componentes são solúveis em água ou solventes orgânicos neutros, razão pela qual são denominados extraíveis. Outras como proteínas e sais de ácidos inorgânicos, podem ser completamente insolúveis nos solventes utilizados para a remoção dos extraíveis (BROWNING, 1967). Cerca de 3 a 10% da madeira seca é constituída de extrativos, sendo que, geralmente esse teor fica na faixa de 2 a 4% em madeira de folhosas (WASTOWSKI, 2018).

A medida da densidade, em geral, se baseia na relação entre a massa e um determinado volume do material, enquanto a densidade básica pode ser definida como a relação entre a massa de madeira absolutamente seca e o volume da madeira saturada em água. Dentre as propriedades físicas da madeira, a densidade básica é uma das mais utilizadas, tanto pela facilidade de determinação, como também por se correlacionar diretamente com outras características, além de ser o parâmetro de qualidade da madeira mais importante (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010; DESCH; DINWOODIE, 1996; ZOBEL; BUIJTENEN, 1989).

Alguns autores relataram que a maior densidade básica da madeira está relacionada à maior quantidade de fibras por área (mm^2), maior espessura da parede das fibras e/ou menor quantidade de parênquima axial, raios e elementos de vaso, indicando menor proporção de vazios (OLTEAN et al., 2008; POUBEL et al., 2011; PEREIRA et al., 2016). Assim, o tamanho e proporção desses componentes anatômicos interferem diretamente no aumento ou redução de densidade.

Fibras são células características de angiospermas que possuem parede secundária relativamente mais espessa formada por lignina, celulose e hemiceluloses e desempenham função de sustentação. A espessura da parede e a proporção em relação ao volume total influenciam diretamente na densidade e no grau de alteração volumétrica e, indiretamente nas propriedades mecânicas da madeira. Morfologicamente, as fibras são alongadas, de extremidades afiladas, pontiagudas, com pequenas e poucas pontuações. São classificadas em libriiformes e fibrotraqueides, sendo as pontuações a principal forma de diferenciação entre as mesmas (BURGER; RITCHER, 1991; SOFFIATTI; PACE, 2013).

Vaso é um conjunto axial de células sobrepostas, denominadas elementos de vaso, formando uma estrutura tubiforme contínua de comprimento indeterminado, tendo por função a condução ascendente de líquidos na árvore. Ocorrem nas angiospermas e constituem o principal elemento de diferenciação entre as gimnospermas. Para efetivamente exercer a função de

parênquima, axial e radial. Parênquimas axiais são células com paredes normalmente finas, sendo mais abundantes em angiospermas que gimnospermas. Na seção transversal distinguem-se dois tipos básicos de distribuição, paratraqueal (associado aos elementos de vasos) e apotraqueal (não associado aos elementos de vasos). Células de parênquima radial não lignificadas, apresentam altura, largura e comprimento variáveis que se estendem radialmente no lenho e variam de acordo com a sua morfologia, sendo denominadas procumbentes, quadráticas ou eretas. Os raios podem ser unisseriados ou multisseriados, sendo classificados como homogêneos, quando somente um dos três tipos de células de parênquima radial ocorre, ou heterogêneos, quando dois ou mais dos três tipos ocorrem (BURGER; RITCHER, 1991; SOFFIATTI; PACE, 2013).

3.3. Biodegradação da madeira

A mudança destrutiva das propriedades da madeira pode ser definida como degradação, sendo causada por um conjunto de agentes químicos, físicos, mecânicos e bióticos. A exposição de um material a fatores bióticos (microrganismos xilófagos) e abióticos (radiação solar, temperatura, umidade e precipitação), provoca mudanças irreversíveis na aparência e nas propriedades físicas e mecânicas da madeira, com impacto a longo prazo por ação conjunta conhecida como intemperismo (COLOM et al., 2003; TELES; COSTA, 2014). Com a degradação da madeira, o dióxido de carbono retorna para o ar pela deterioração de seus constituintes químicos, enquanto a água e os sais minerais e outros elementos retornam para o solo e tornam-se novamente disponíveis para o desenvolvimento de novas plantas, animais ou outros produtos (MORESCHI, 2013).

Outro importante fator de degradação da madeira é a exposição à luz. A mesma absorve intensamente a radiação solar e sofre degradação fotoquímica por causa da ação dos raios ultravioletas, que comprometem o seu aspecto geral, tornando-a descorada ou acinzentada, amarelada ou escurecida, devido à oxidação ocasionada pela luz que reage com os componentes químicos tais como a lignina e extrativos (AYADI et al., 2003; FEIST, 1983; CHANG et al., 1982; HON, 2001).

Dentre os decompositores bióticos, os fungos destacam-se no ecossistema florestal (SHIROUZU *et al.*, 2016). Nos processos de biodegradação, os polímeros que compõem a parede celular da madeira são catalisados através da ação de enzimas excretadas para o meio, para

fungos de decomposição parda ou “brown-rotfungi” que degradam principalmente celulose e hemiceluloses e, fungos de decomposição branda ou “soft-rotfungi” que degradam tanto celulose e hemiceluloses, quanto a lignina, porém de forma lenta. Por fim, fungos manchadores colonizam os tecidos parenquimáticos do alburno, afetando a resistência ao choque (KIRK; CULLEN, 1998; MENDES; ALVES, 2002).

A degradação da biomassa lignocelulósica ocorre principalmente por enzimas produzidas e secretadas por bactérias, leveduras e fungos filamentosos (FLORENCIO *et al.*; 2017). Assim, a hidrólise da celulose acontece mediante a ação combinada de três grupos de enzimas que atuam de forma concomitante, sendo elas as endoglucanases, responsáveis pela hidrólise das ligações glicosídicas nas regiões amorfas no interior da cadeia de celulose, liberando fragmentos menores, as celobio-hidrolases, responsáveis pela hidrólise das ligações glicosídicas nas extremidades da cadeia, liberando dímeros de glucose (celobioses) e finalmente as β -glucosidases, responsáveis pela hidrólise das celobioses, liberando unidades de glucose (ARO *et al.*, 2005).

A hidrólise enzimática das hemiceluloses ocorre através da ação combinada de diversas endoenzimas, exoenzimas e enzimas auxiliares.

Em relação à degradação da lignina, existem duas principais classes de enzimas redutoras, as fenoloxidasas e que produzem peróxido de hidrogênio. As fenoloxidasas, ainda são subdivididas em dois grupos, enzimas dependentes de peróxido (lignina peroxidases e manganês peroxidases) e enzimas não-dependentes de peróxido (lacases) (KIRK; CULLEN, 1998).

3.4. Alteração das propriedades do solo pela de biomassa lignocelulósica

O solo apresenta cargas eletroquímicas responsáveis pelos mecanismos de dispersão e floculação dos colóides e pela capacidade de troca catiônica. Essas cargas têm origem nas frações mineral e orgânica. Os solos amazônicos são predominantemente ácidos, de baixa fertilidade natural (baixos teores de P, K, Ca, Mg), elevada saturação por alumínio e baixa capacidade de troca de cátions (SCHAEFER *et al.*, 2017).

Para Igue (1984) e Rajj (1991), o efeito possivelmente benéfico da matéria orgânica nas características dos solos está relacionado à agregação das partículas e à estabilização dos agregados, o que resulta em maior porosidade, aeração e retenção de água, ao mesmo tempo que contribui para o fornecimento de nutrientes para as plantas. Atualmente, sabe-se que o aumento

negativas do solo e reduzindo o ponto de carga zero, como alterações no pH, favorecendo a manifestação de cargas variáveis (BENITES; MENDONÇA, 1998; OADES, 1984). Fitotóxicos, oriundos do metabolismo do material orgânico incorporado ao solo, podem exercer efeitos negativos na germinação e estabelecimento de plântulas (CAMARGO, 1993)

Dentre os compostos formados pelo metabolismo anaeróbico microbiano, destacam-se os ácidos orgânicos, especialmente os ácidos alifáticos de cadeia curta, como o fórmico, o acético, o propiônico e o butírico (STEVENSON, 1967). O tipo e a quantidade dos ácidos produzidos durante o processo dependem, basicamente, da quantidade e qualidade do resíduo orgânico adicionado, da característica fermentativa da microbiota e das condições predominantes no solo (CAMARGO et al., 1993).

A acumulação desses ácidos no solo afeta diretamente algumas culturas, principalmente pela inibição da respiração (ROBSON; TAYLOR, 1974), levando à diminuição no alongamento radicular (CAMARGO et al., 1993) e da absorção de nutrientes (RAO; MIKKELSEN, 1976; CAMARGO et al., 1995).

O substrato influencia, por meio de sua fase sólida, na manutenção do sistema radicular da planta, no suprimento de água e nutrientes pela fase líquida, no oxigênio e transporte de carbono entre as raízes e no ar externo pela fase gasosa (MINAMI; PUCHALA, 2000), além das propriedades químicas e físico-hídricas adequadas, a relação água/ar e a disponibilidade de nutrientes (FERNANDES; CORÁ, 2000).

3.5. Espécie pioneira de estudo: *Schizolobiumparahyba* var. *amazonicum*

O gênero *Schizolobium* possui uma única espécie, *S. parahyba*, com duas variedades - *amazonicum* (Hub.) Ducke e *parahyba* (Vell.) Blake, que popularmente é conhecida como paricá. Segundo Cordeiro *et al.* (2015) existem registros de ocorrência na Amazônia brasileira, venezuelana, colombiana, peruana, boliviana e equatoriana e em toda América Central. No Brasil, a espécie é encontrada nos estados do Amazonas, Pará, Mato Grosso, Rondônia e Acre, ocorrendo também na mata atlântica passando pelos territórios da Bahia até Santa Catarina. É natural de florestas primárias e secundárias, tanto em solos de terra firme como em várzea (DUCKE, 1939; PEREIRA *et al.*, 1982).

É uma espécie essencialmente heliófila, demandando bastante luz para um rápido

Apresenta rápido desenvolvimento, em altura e em diâmetro e, por isso, está incluído na seleção de espécies para consórcios agroflorestais na Amazônia e recuperação de áreas degradadas (PECK, 1979). De acordo com Machado *et al.* (2018), toras de paricá oriundas do município de Dom Eliseu/PA foram utilizadas para a produção de compensados apresentando 80% de rendimento no desdobramento, módulo de ruptura e elasticidade dentro dos padrões estabelecidos pela Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente e boa resistência ao cisalhamento na linha da cola, bem como, baixa porcentagem de falha da madeira sob ebulição. Segundo Carvalho (2007), em algumas cidades do interior do Pará, reflorestamentos com idade de 6 anos atingiram produção volumétrica de 38 m³/ha/ano.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Coleta e amostragem das madeiras tropicais

Foram utilizadas madeiras de espécies tropicais cedidas pelo projeto Avaliação de Componentes Químicos de Diferentes Espécies Florestais Armazenadas, Passíveis de Contaminação do Solo, realizado em parceria com a empresa Mineração Paragominas S.A., pertencente ao grupo Hydro e localizada no município de Paragominas, mesorregião Nordeste Paraense. O clima predominante na região é do tipo “Aw”, segundo classificação de Köppen, tropical chuvoso com estação seca bem definida, caracterizado por temperatura média anual de 27,2°C (ALVARES *et al.*, 2013), precipitação pluviométrica média anual de 1.742,9 mm (BASTOS *et al.*, 2006) e umidade relativa do ar média de 81% (BASTOS *et al.*, 2005).

As amostras foram obtidas em pátio de estocagem proveniente de supressão vegetal do platô Miltônia III no ano de 2017, localizado a 3°30' e 3°45' de latitude sul e 48°30' e 48°45' de longitude a oeste de Greenwich. Foram selecionadas, de diferentes pilhas de madeira (P_I, P_{II} e P_{III}), três indivíduos de quatro espécies florestais identificadas conforme NIDX 04/2019, pela xiloteca da Embrapa Amazônia Oriental, sendo elas, pau-amarelo (*Euxylophora paraensis* Huber), timborana (*Pseudopiptadenia suaveolens* (Miq.) J.W. GRIMES), tamanqueira (*Aegiphila integrifolia* (Jacq.) Moldenke) e pará-pará (*Jacaranda copaia* (Aubl.) D.Don).

De cada tora, se retirou um disco de madeira de aproximadamente 7 cm de espessura da extremidade de cada árvore. Com o auxílio de serra circular, de cada disco obteve-se uma peça

4.2. Bioensaio

O bioensaio foi desenvolvido em condição de casa de vegetação, no Instituto de Ciências Agrárias (ICA), pertencente à UFRA, localizado em Belém, Pará, com coordenadas geográficas de 01° 27' 21" S e 48° 30' 16" W, no período de julho a setembro de 2019.

O solo utilizado no bioensaio é classificado como latossolo amarelo (SANTOS, 1983), coletado na UFRA, em área do ICA, na profundidade de 0-20 cm. Foi submetido à secagem em temperatura ambiente e peneirado em peneira de malha com abertura de 2 mm, sendo utilizada somente a fração de passou pela peneira. As sementes de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby foram fornecidas pela AIMEX (Associação das Indústrias Exportadoras de Madeira do Estado do Pará).

O bioensaio foi dividido em duas etapas. A primeira etapa consistiu na incubação de três corpos de prova de cada espécie com o solo em vaso de polietileno com capacidade de 2,1 litros (tipo Kirey). A incubação foi conduzida durante 30 dias, sendo que cada vaso foi irrigado com 100 mL de água destilada duas vezes por semana. Em cada vaso, foram posicionados três corpos de prova (I, II e III) provenientes de três toras diferentes (T_I, T_{II} e T_{III}) para cada espécie. As madeiras foram acondicionadas nos vasos em três posições diferentes: enterradas na posição horizontal a 9 cm de profundidade (enterradas); posicionadas horizontalmente sobre o solo (horizontal); e parcialmente enterradas na posição vertical (vertical). Seis repetições (R₁-R₆) foram analisadas para cada tratamento.

Na segunda etapa, as sementes de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber exDucke) Barneby) foram preparadas por escarificação com lixa n° 80 e submersão em água fria por um período de 24 h para a quebra de dormência. Em seguida, foram semeadas três sementes por vaso contendo solo e os corpos de prova. A germinação ocorreu em aproximadamente três dias e, após dez dias, realizou-se o desbaste, mantendo-se uma plântula por vaso durante 45 dias. A irrigação diária foi realizada com 400 mL de água.

As madeiras foram analisadas no início e ao final do bioensaio, enquanto o solo foi analisado ao final do período de incubação e ao final do bioensaio. As plantas foram analisadas ao final do bioensaio. A coleta, amostragem e análises realizadas em cada etapa estão apresentadas na Figura 1.

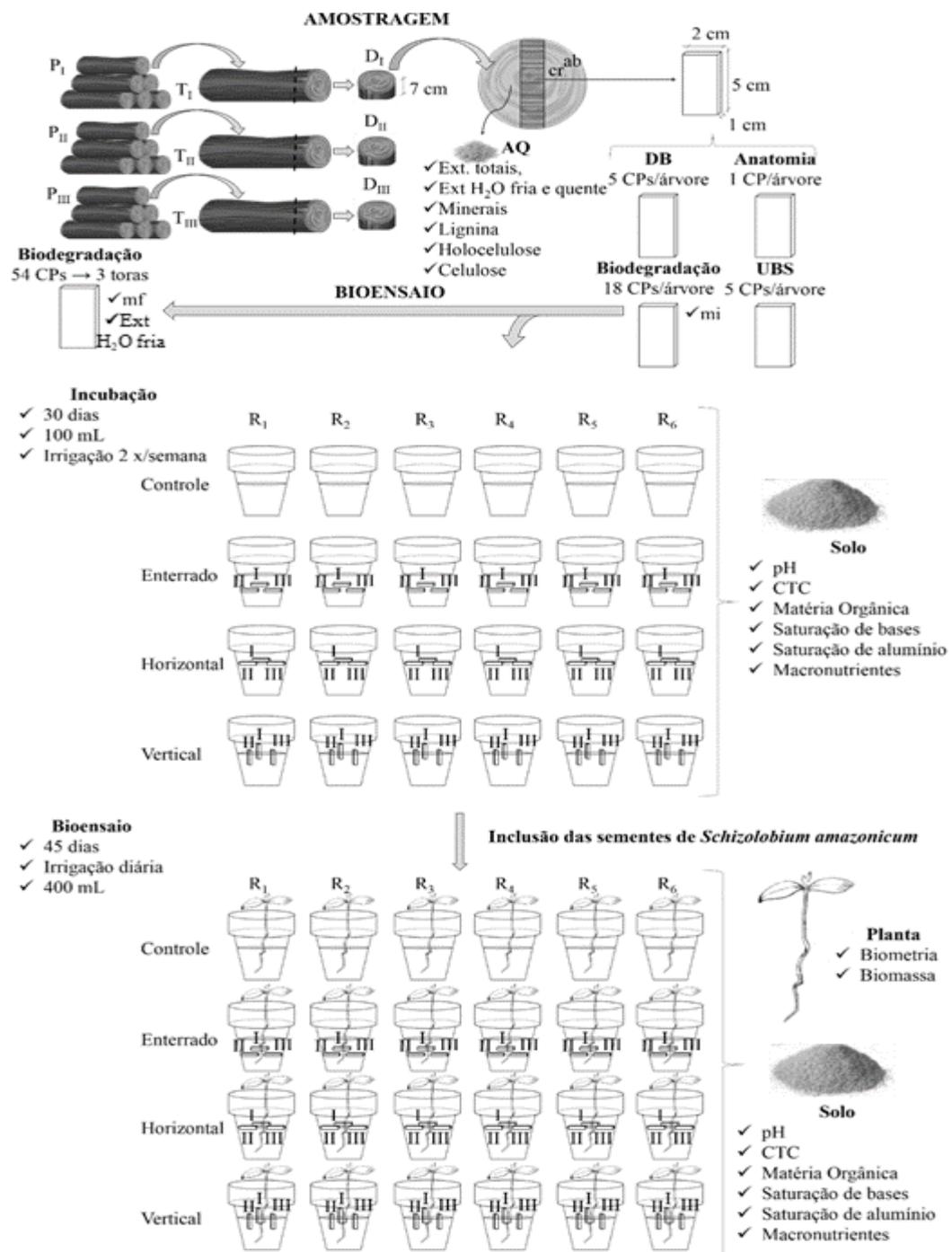


Figura 1. Representação esquemática do ensaio: P_I a P_{III} - pilhas de estocagem na empresa; T_I a T_{III} - toras amostradas da mesma espécie; D_I a D_{III} - discos de madeira; R₁ a R₆ - repetições por tratamento. Cerne (cr); alburno (ab); análise química completa (AQ); densidade básica (DB); umidade base seca (UBS); e corpos de prova I, II e III (CPs).

4.3. Descrição das análises

4.3.1 Propriedades tecnológicas das madeiras

Para análise química do material, foram retiradas lascas do cerne das costaneiras dos três discos de cada uma das quatro espécies, posteriormente trituradas em moinho analítico para serem transformadas em serragem. A classificação quanto à granulometria foi realizada em peneiras sobrepostas de 40 e 60 mesh, sendo utilizada para análise somente a fração que ficou retida na peneira de 60 mesh.

Os teores de extrativos solúveis em água quente e água fria foram determinados de acordo com a norma NBR 14577 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003a), sendo a extração em água fria por 48 h realizada sem agitação.

Foi utilizada a norma da NBR 14853 (ABNT, 2010a) para a determinação do teor de extrativos totais. O teor de lignina insolúvel (Klason) foi determinado por hidrólise ácida, conforme recomendações da norma NBR 7989 (ABNT, 2010b). O teor de holocelulose foi determinado pela metodologia apresentada por Browning (1963), enquanto o teor de celulose foi determinado pela metodologia proposta por Keneddy, Phillips e Willams (1987), utilizando hidróxido de potássio.

Para determinação da densidade básica, foram selecionados aleatoriamente cinco corpos de prova de dimensões 2 X 5 X 1 cm (obtenção descrita acima) provenientes do cerne. A metodologia foi realizada de acordo com as diretrizes especificadas pela norma NBR 11941 (ABNT, 2003b). As espécies foram classificadas em classes de densidade, conforme Csanády *et al.*, 2015, em muito baixa: 0,200 - 0,300 g/cm³; baixa: 0,300 - 0,500 g/cm³; média: 0,500 - 0,750 g/cm³; alta: 0,750 - 1,000 g/cm³; e muito alta > 1,000 g/cm³.

Foi realizada a maceração para caracterização quantitativa das variáveis anatômicas das espécies estudadas, que consistiu na individualização das células mediante a dissolução da lamela média, de acordo com o método de Franklin (FRANKLIN, 1945).

Para medição das variáveis anatômicas, foram retiradas fotos das lâminas temporárias em microscópio óptico Motic (BA310Elite). Para medição dos elementos de vaso, foram tiradas fotos com lente de 10x para medição do tamanho e largura. Já para as fibras, foi utilizada a lente de 4x para medição do comprimento da fibra, e a lente de 40x para medição da espessura do lúmen e da parede. Para cada estrutura anatômica, foram realizadas 50 medições conforme estabelecido pela norma da International Association of Wood Anatomists (IAWA) (1989). Todas as variáveis foram medidas com o auxílio do programa Motic Imagens Plus 3.0, e os dados foram digitalizados em planilhas eletrônicas.

Para avaliação da perda de massa (PM) foi obtida a massa inicial em equilíbrio (m_i) dos corpos de prova submetidos à biodegradação por estocagem no solo. Ao final do bioensaio, os corpos de prova foram secos até 0% de umidade para obtenção da massa final (m_f). A massa inicial foi corrigida para a massa inicial equivalente sem umidade por meio da umidade base seca (UBS) previamente determinada em outros cinco corpos de prova pelo método da estufa (CALIL; ROCCO; DIAS, 2003)

4.3.2. Caracterização das propriedades do solo

Os indicadores avaliados foram pH, matéria orgânica, teores de fósforo, potássio, cálcio mais magnésio, cálcio, alumínio, alumínio mais hidrogênio, capacidade de troca catiônica, saturação de bases e saturação de alumínio, conforme manual de métodos e análise de solo da Embrapa (EMBRAPA, 2006).

4.3.3. Crescimento da planta

As mensurações foram realizadas ao final do experimento (30 dias de incubação + 45 dias após semeadura). A altura da planta (AP) foi avaliada com régua graduada em centímetros, tomando-se como referência a superfície do solo até o ápice. O diâmetro do coleto (DC) foi medido utilizando-se um paquímetro digital graduado em milímetros, ao nível de cinco centímetros acima do solo.

Em cada coleta, todas as plantas foram divididas em raiz, caule e folhas sendo acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de ventilação forçada de ar a 60 °C até massa constante. Em seguida, as plantas foram pesadas em balança de precisão para obtenção massa seca de caule (MSC), massa seca de raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST).

4.4. Análises estatísticas

O delineamento experimental empregado na comparação entre madeiras foi inteiramente ao acaso. Já no bioensaio, foi o de blocos ao acaso em esquema fatorial 4 x 3, sendo o primeiro fator corresponde às espécies de madeira e o segundo fator corresponde à disposição dos corpos de prova no solo, composto por seis blocos, totalizando 72 parcelas.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade e homogeneidade das variâncias, a fim de assegurar a possibilidade de realização da análise de variância. Em seguida, foi realizada a análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias pelo Teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Propriedades tecnológicas das madeiras

A composição química da madeira apresentou variação entre as espécies tropicais estudadas, sendo *P. suaveolens* a que apresentou os maiores valores de extrativos totais, lignina e celulose. Enquanto os maiores valores de inorgânicos foram encontrados para *J. copaia* e os maiores valores de hemiceluloses foram encontrados para *A. integrifolia* (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química das madeiras das espécies tropicais em estudo.

Análise	Espécie			
	<i>A. integrifolia</i>	<i>E. paraensis</i>	<i>J. copaia</i>	<i>P. suaveolens</i>
Extrativos totais*	6.8 ^(0,12)	7.3 ^(0,19)	5.1 ^(0,05)	12.1 ^(0,07)
Inorgânicos*	0.03 ^(0,00)	0.18 ^(0,04)	0.23 ^(0,09)	0.03 ^(0,02)
Lignina**	26.3 ^(0,13)	25.1 ^(0,64)	27.7 ^(0,68)	29.4 ^(0,43)
Holocelulose**	81.2 ^(1,90)	80.6 ^(1,27)	80.6 ^(0,37)	78.5 ^(1,66)
Celulose**	48.0 ^(0,06)	48.9 ^(0,77)	50.1 ^(0,24)	50.8 ^(0,57)
Hemiceluloses**	33.2 ^(0,06)	31.8 ^(0,77)	30.5 ^(0,24)	27.6 ^(0,57)

*base massa total de madeira; **base massa de madeira livre de extrativos; desvio padrão entre parênteses.

Dentre outros compostos, os extrativos incluem substâncias como resinas, açúcares, taninos e ácidos graxos, que podem ser extraídos em água ou solventes orgânicos (SILVÉRIO et al., 2006; THOMAS, 1977; SJÖSTRÖM, 1993; IRANMAHBOOB et al., 2002). Stangerlin et al. (2012), estudando a resistência natural de *Simarouba amara* Aubl., *Cariniana micrantha* Ducke e *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd. submetidas ao ataque de fungos apodrecedores encontraram valores que variaram de 2,49% a 9,20% para extrativos totais, enquanto Bila et al. 2016, avaliando a qualidade de juntas coladas de espécies madeireiras amazônicas (*Byrsonima crista*, *Eschweilera odora*, *Inga paraensis*, *Eschweilera coriácea*, *Manilkara amazonica* e *Protium puncticulatum*) encontraram valores para extrativos totais entre 3,19% a 11,67%. Portanto, as espécies estudadas apresentaram valores destes componentes compatíveis com o indicado pela literatura, com exceção de *P. suaveolens* que apresentou maior percentual de teor de extrativos.

Em relação aos compostos inorgânicos, todas as espécies apresentaram valores abaixo de 1%, conforme observado em outros trabalhos da literatura (VIEIRA, 2003; MELISSARI, 2014). A matéria inorgânica na biomassa inclui várias espécies minerais e mineralóides

fracamente cristalizados e algumas fases inorgânicas amorfas. As fases mais solúveis em água são cloretos, sulfatos, oxalatos, nitratos e carbonatos (VASSILEV *et al.*, 2012).

J. copaia e *P. suaveolens* apresentaram maiores teores de lignina insolúvel (Klason). Moutinho *et al.* (2016), estudando propriedades químicas e energéticas de madeiras das espécies amazônicas *Bixa arborea*, *Protium apiculatum* e *Rinorea guianensis* encontraram valores entre 26,57% a 29,58% para lignina. Esta macromolécula é responsável pela resistência mecânica das madeiras e funciona também como suporte para dispersão dos metabólitos excretados pelas células (WARDROP, 1971).

O teor de celulose variou pouco entre as espécies, sendo um pouco superior em *P. suaveolens*. A celulose é o componente em maior quantidade na parede celular do lenho, sendo que sua organização em microfibrilas confere alta resistência à tração, com propriedades de resistência semelhantes ao aço (FREY-WYSSLING, 1976).

As espécies apresentaram variação significativa quanto ao teor de hemiceluloses, sendo que os maiores valores ocorreram em *A. integrifolia* e *E. paraensis*. Dentre os polímeros constituintes da madeira, as hemiceluloses são as mais hidrófilas devido à sua natureza amorfa, contribuindo para a variação dimensional da madeira (HILL, 2006; BORGES; QUIRINO, 2012).

De forma geral, as madeiras de *P. suaveolense* e *E. paraensis* apresentaram os maiores teores de extrativos totais, os valores de lignina e celulose foram similares entre *P. suaveolens* e *J. copaia* e os maiores teores em hemiceluloses foram apresentados por *A. integrifolia* e *E. paraensis*.

As espécies *P. suaveolens* e *E. paraenses* apresentaram densidade básica similar entre si e significativamente maior que *J. copaia* e *A. integrifolia*. Contudo, *P. suaveolens* e *E. paraenses* apresentaram densidade básica similar entre si. *P. suaveolens* também apresentou maior teor de extrativos, tanto em água fria, como em água quente, bem como maior densidade básica média entre todas as espécies estudadas (Tabela 2).

O teor de extrativos totais foi superior em relação ao teor de extrativos em água para as espécies *A. integrifolia*, *E. paraensis* e *P. suaveolens*, pois os solventes utilizados removem todos os extrativos, incluindo carboidratos de baixa massa molar, sais e polifenóis, além das outras substâncias solúveis em água (OLIVEIRA *et al.*, 2015). A espécie *J. copaia* apresentou porcentual de extrativos em água similar aos extrativos totais e possíveis diferenças após a vírgula são inerentes à análise, portanto, todos os extrativos que ocorrem nesta espécie são removíveis em água.

Tabela 2. Densidade básica e teor de extrativos solúveis em água das madeiras das espécies tropicais de estudo.

Espécies	Densidade básica (g/cm ³)	Teor de extrativos em água (%)	
		Fria	Quente
<i>A. integrifolia</i>	0,44 ^(0,38) a	4,8 ^(0,35)	6,1 ^(0,16)
<i>E. paraensis</i>	0,68 ^(0,04) b	4,9 ^(0,15)	4,9 ^(0,16)
<i>J. copaia</i>	0,28 ^(0,03) a	5,4 ^(0,14)	5,5 ^(0,11)
<i>P. suaveolens</i>	0,77 ^(0,12) b	8,4 ^(0,77)	8,5 ^(0,23)

Médias estatisticamente iguais estão representadas pelas mesmas letras; desvio padrão entre parênteses.

A química e a ultraestrutura dos componentes da madeira determinam as propriedades das fibras lignocelulósicas de plantas perenes (MAITI *et al.*, 2015). A densidade da madeira está intimamente relacionada à estratégia de resistência a seca, prevenção à cavitação e implosão do xilema (HACKE *et al.*, 2001; MEINZER *et al.*, 2003; JACOBSEN *et al.*, 2005).

Rodriguez *et al.* (2016) encontraram variação de densidade para diferentes espécies, sendo observado que espécies com alta densidade possuem fibras muito longas (>500 µm), parede celular espessa e lúmen estreito.

Os resultados mostram que houve diferenças entre as características anatômicas das quatro espécies, conforme a Tabela 3. Em relação ao tamanho das fibras, as espécies *E. paraensis* e *J. copaia* foram as que apresentaram as maiores médias. Já as espécies *P. suaveolens* e *J. copaia*, apresentaram médias iguais para espessura da parede de fibra, porém, para as outras variáveis, os valores foram estatisticamente diferentes. A espécie *A. integrifolia* apresentou valores estatisticamente iguais ao de *P. suaveolens*, para as variáveis tamanho e diâmetro de vaso (Tabela 3).

Tabela 3. Caracterização anatômica quantitativa das espécies estudadas.

Variáveis	<i>A. integrifolia</i>	<i>E. paraensis</i>	<i>J. copaia</i>	<i>P. suaveolens</i>
Comp. de fibra (µm)				
\bar{X}^{DP}	1066,69 ^{185,66}	1172,96 ^{252,08}	1132,53 ^{166,16}	1023,17 ^{164,3}
$x - X$	729,67 - 1575,20	538,23 - 3113,13	721,95 - 1569,01	699,24 - 1793,88
Esp. de parede de fibra (µm)				
\bar{X}^{DP}	3,53 ^{0,98}	5,92 ^{1,69}	3,98 ^{0,82}	4,16 ^{1,04}
$x - X$	1,70 - 6,72	3,14 - 16,92	2,22 - 7,26	2,30 - 6,86
Ø lúmen (µm)				
\bar{X}^{DP}	14,34 ^{4,56}	6,28 ^{2,32}	21,64 ^{4,82}	8,95 ^{3,88}
$x - X$	4,17 - 26,50	1,14 - 17,48	12,18 - 35,87	0,93 - 18,69

Comp. de elemento vaso (μm)				
\bar{X}^{DP}	347,39 ^{84,59}	768,67 ^{416,1}	487,90 ^{117,32}	327,46 ^{89,06}
$x - X$	128,91 - 592,45	280,37 - 1981,55	162,87 - 819,42	122,42 - 552,87
$\text{\O} \text{ poro } (\mu\text{m})$				
\bar{X}^{DP}	137,86 ^{46,13}	170,35 ^{90,2}	255,67 ^{74,54}	148,25 ^{33,58}
$x - X$	41,38 - 458,64	47,22 - 466,68	108,59 - 463,75	66,86 - 227,22

Nota: \O – diâmetro; \bar{X} – média; x – mínimo; X – máximo; Comp. – comprimento; Esp. – espessura; DP – desvio padrão

A mesma tendência citada por Rodriguez *et al.* (2016) em que espécies com alta densidade apresentam a parede celular da fibra mais espessa e o lúmen estreito, também foi verificada para as espécies do presente estudo, *E. paraensis* e *P. suaveolens*, classificadas como de média e alta densidade, de acordo com Csanady *et al.* (2016), e que apresentaram os maiores valores para espessura da parede da fibra e menores valores para diâmetro do lúmen. Já *A. integrifolia* e *J. copaia*, classificadas com muito baixa e baixa densidade, respectivamente, apresentaram menores valores de espessura da parede da fibra e maiores diâmetros de lúmen. É importante destacar que foram observadas medidas de comprimento de fibras muito longas, ou seja, acima de 500 μm para todas as espécies. A Figura 2 demonstra a diferença entre espessura de parede e diâmetro de lúmen para as espécies do estudo.

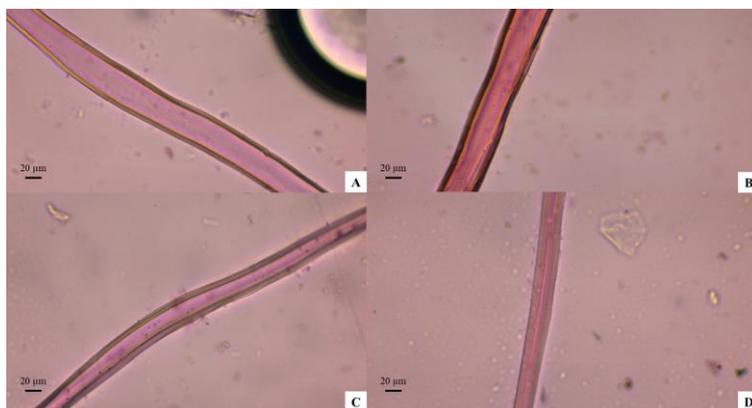


Figura 2. Fibras das espécies amazônicas: A) *A. integrifolia*; B) *J. copaia*; C) *P. suaveolens*; e D) *E. paraensis*. Fonte: O autor.

Lobão *et al.* (2011), estudando agrupamento de espécies florestais nativas e exóticas de acordo com as características anatômicas, físicas e químicas, encontraram alta correlação

entre densidade, teor de holocelulose e espessura das fibras, sendo responsáveis por aproximadamente 54% da variação entre as espécies, enquanto comprimento de fibra, diâmetro dos poros e extrativos totais responderam por aproximadamente 49% da variação entre as espécies. Para as espécies do presente estudo, foi verificada relação entre a densidade básica e o teor de extrativos totais, sendo que, a espécie de menor teor de extrativos (5,1%) também apresentou o menor valor de densidade (0,28 g/cm³).

5.2. Perda de massa e efeito nas propriedades das madeiras

Não houve efeito significativo das diferentes posições da madeira estocada sobre a perda de massa (Tabela 4), portanto foi avaliada a média das três posições para cada espécie. Foi observada variação significativa entre as espécies em relação à perda de massa durante o bioensaio, sendo *E. paraensis* a que apresentou menor valor, enquanto *P. suaveolens* e *J. copaia* apresentaram as maiores taxas de perda de massa com médias estatisticamente iguais (Figura 3).

Tabela 4. ANOVA de perda de massa utilizando modelo linear generalizado.

	GL	Desvio Res.	GL	Desvio Res.	p-valor
Espécie	3	49.300	68	43.246	<2e-16 ***
Posição	2	1.369	66	41.877	0.3293
Espécie-Posição	6	4.897	60	36.980	0.2421

GL=grau de liberdade, Res.=desvio residual, ***=significância

No caso de uma taxa de degradação (consumo de massa de madeira/tempo) similar entre as espécies, aquela que apresentou menor densidade básica deveria também apresentar maior perda percentual de massa ao final do bioensaio. Esta relação direta foi observada somente para a espécie *J. copaia*, de menor densidade básica (0,28±0,03) e maior perda de massa média (18,4%±0,12), entre as madeiras estudadas. Esta espécie também apresentou o menor teor de extrativos totais com baixo potencial de proteger a madeira contra biodegradação e que, adicionalmente, são lixiviáveis por água na sua totalidade (Tabelas 1 e 2). Oliveira *et al.* (2005), estudando a influência dos extrativos na resistência de seis espécies madeireiras, atribuiu a durabilidade natural da madeira aos compostos secundários e ressaltou que a quantidade e qualidade dos mesmos é bastante variável entre espécies. Foi verificada uma menor perda de massa para a madeira de *Toona ciliata* de menor densidade básica (0,32 g/cm³) em relação à madeira *Pinus* sp. de maior densidade básica (0,36 g/cm³) após ataque

do cupim de madeira seca *Cryptotermes brevis* (RIBEIRO et al., 2014) em função do seu maior teor de extrativos.

No caso de *J. copaia* o efeito da densidade e de extrativos lixiviáveis sobressaiu ao efeito de outras capacidades que podem conferir maior resistência natural. No entanto, para as demais espécies, não foi observada uma relação direta de menor densidade com maior perda de massa percentual. A madeira de *E. paraensis*, por exemplo, teve a menor perda de massa percentual (2,7%), mas não apresentou a maior densidade ($0,68\pm 0,04$). Dessa forma, outras propriedades de natureza química ou anatômica influenciaram na resistência natural das demais espécies.

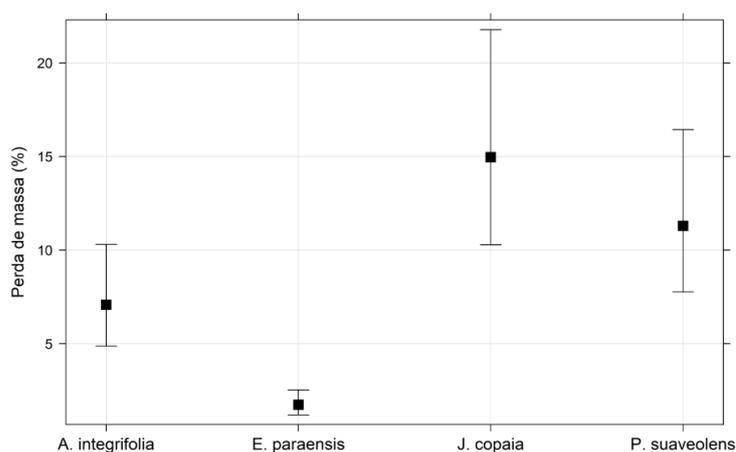


Figura 3. Média da perda de massa das madeiras amazônicas nas três posições ao final do bioensaio (75 dias).

A madeira da espécie *P. suaveolens* destacou-se por apresentar, mesmo com densidade básica e teor de lignina significativamente superior em relação às demais espécies, alta taxa de degradação, o que indica composição química qualitativa da parede celular e características anatômicas propícias a esse processo. Para explicar esse resultado, reporta-se que as plantas produtoras de madeira podem ser subdividas nos seguintes estágios de evolução: 1° - Gimnospermas, formadas em quase sua totalidade por traqueídeos longitudinais, cuja parede celular apresenta lignina guaiacil altamente resistente à biodegradação; 2° - Angiospermas com elementos de vaso e fibrotraqueídeos com lignina guaiacil e lignina siringil-guaiacil, respectivamente; 3° - Angiospermas que se diferem daquelas do 2° estágio somente pela maior proporção de siringil para guaiacil nos

fibrotraqueídeos; 4° - Angiospermas formadas por elementos de vaso normalmente com placa de perfuração simples e fibras libríformes que apresentam altas proporções de siringil para guaiacil. Nesta linha evolutiva, reporta-se que quanto mais evoluída uma espécie de madeira, mais susceptível ela é à biodegradação em função das maiores proporções de unidade siringil para guaiacil na parede celular das células (SCHWARZE, 2007). Além disso, foi encontrado alto teor de extrativos lixiviáveis por água na madeira desta espécie. Os mesmos fatores podem explicar por que a madeira de *A. integrifolia* apresentou a segunda menor perda de massa, apesar da segunda densidade básica mais baixa.

Os resultados obtidos da descrição anatômica quantitativa evidenciaram que os elementos celulares do cerne de *E. paraensis* (espécie que sofreu menor biodegradação) possuem maior comprimento de fibra, maior espessura de parede, menor diâmetro de lúmen e maior comprimento de vaso, em relação as outras espécies. *J. copaia* (espécie que sofreu maior biodegradação) tem maiores diâmetros de lúmen e de vaso, em relação as outras espécies, de acordo com Figura 4.

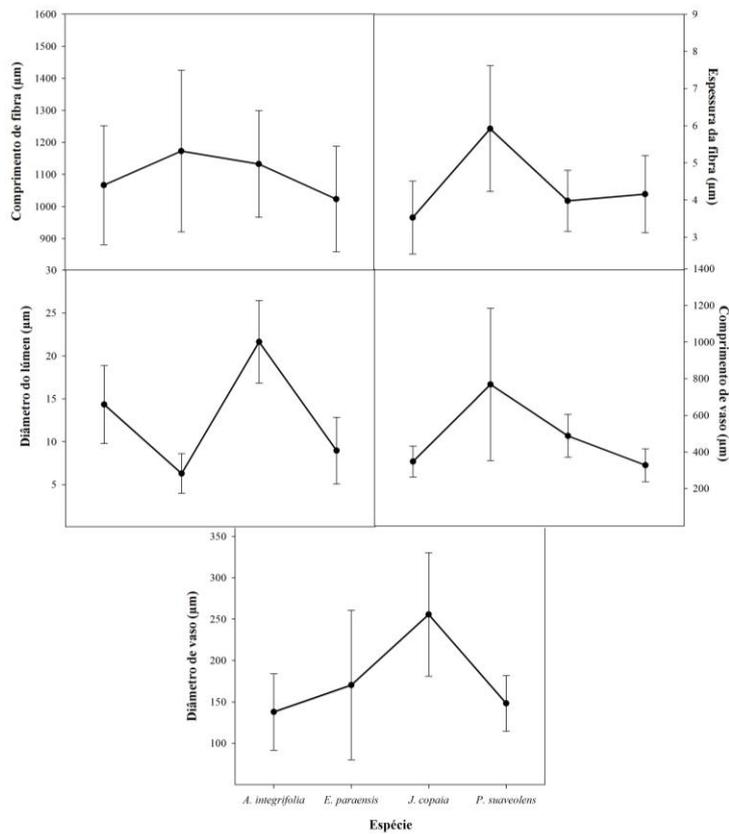


Figura 4. Descrição anatômica quantitativa das espécies estudadas.

A diferença entre os diâmetros dos elementos de vaso pode ter influenciado a perda de massa dessas espécies (Figura 5), visto que, os corpos de prova foram irrigados durante 75 dias, deste modo diâmetros maiores podem ter facilitado a entrada e percolação da água, que combinada com a incidência de luz solar ocasionou maior intensidade no processo de inchamento e contração das amostras de madeira de *J. copaia* e, conseqüentemente, facilitou o processo de degradação. Além disso, a espessura de parede da fibra, que confere característica de rigidez, apresentou maior valor para *E. paraensis* (menor biodegradação) e menor valor para *J. copaia* (maior biodegradação), tornando as espécies mais susceptíveis e menos susceptíveis a degradação abiótica, respectivamente.



Figura 5. Vasos das espécies estudadas. Onde: E) *A. integrifolia*; F) *J. copaia*; G) *P. suaveolens*; H) *E. paraensis*. Fonte: O autor.

A. integrifolia (2º menor biodegração), apesar de possuir a segunda menor densidade e menor espessura de parede junto com *J. copaia*, apresentou menor diâmetro de vaso, em comparação com as outras espécies do estudo.

P. suaveolens (2º maior biodegração), apesar de possuir a maior densidade juntamente com *E. paraensis* e apresentar o segundo maior valor de espessura de parede, além de diâmetro de vaso menor que o observado em *E. paraensis*, não apresentou menor perda de massa; analisando-se os resultados da descrição anatômica quantitativa e densidade poder-se-ia esperar que *P. suaveolens* apresentasse porcentual de biodegração aproximado ao da espécie *E. paraensis*, entretanto, as espécies expressaram valores de biodegração (perda de massa) diferentes.

Para explicar a discrepância de resultados em espécies com densidade e elementos anatômicos semelhantes que apresentaram porcentagem de perda de massa diferentes, reporta-se a posição filogenética do atual sistema de classificação das famílias nas quais as espécies do presente estudo estão inseridas, bem como, ao percentual de solubilidade.

Dentro da ordem Fabales, a família Fabaceae engloba a subfamília caesalpinoidae, em que está inserida a espécie *P. suaveolens*. Até o presente momento, a espécie *E. paraensis* pertence a ordem sapindales, na qual está inserida a família Rutaceae; as espécies *J. copaia* pertence à família Bignoniaceae e *A. integrifolia* pertence à família Lamiaceae, em que, ambas estão inseridas na ordem Lamiales (Figura 6).

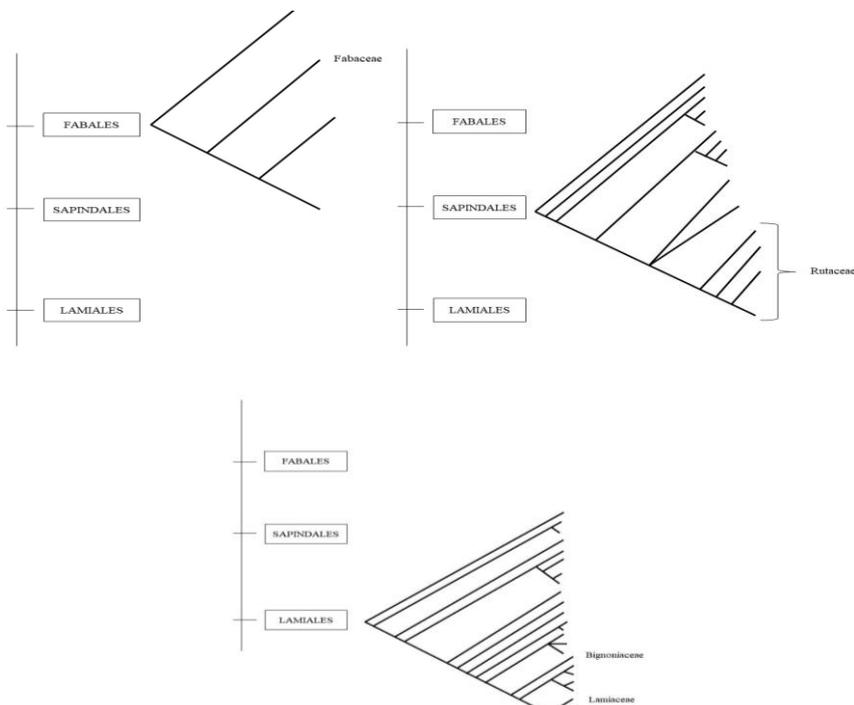


Figura 6. Esquema representativo das ordens e famílias das espécies estudadas.

O sistema de classificação botânica APG IV é baseado em sequenciamento genético e características morfológicas como flores e frutos, enquanto estudos relacionados a características evolutivas do xilema secundário são menos frequentes. De acordo com o APG IV, a classificação evolutiva das ordens taxonômicas das espécies estudadas é Fabales, Sapindales e Lamiales, em ordem decrescente de evolução.

A classificação evolutiva (mais primitivo e mais derivado) também é aplicada dentro das famílias e subfamílias botânicas. A ordem Fabales está posicionada como mais derivada dentre as espécies estudadas, a posição da família Fabaceae encontra-se no topo da árvore filogenética, indicando ser mais derivada. Desse modo, entende-se que a espécie *P. suaveolens* é, conseqüentemente, mais evoluída.

A ordem Lamiales está base da árvore filogenética, indicando ser menos evoluída, porem a família Bignoniaceae (*J. copaia*) encontra-se mais acima na árvore filogenética, indicando ser mais evoluída que a família Lamiaceae (*A. integrifolia*). Desse modo, entende-

se que mesmo estando na mesma ordem, as famílias apresentam diferença no grau de evolução botânica.

De acordo com Dadswell (1972), o comprimento das fibras, vasos e células do parênquima axial é diretamente influenciado pelas divisões das células iniciais fusiformes no câmbio. Estas células são responsáveis por originar os elementos dispostos no sentido longitudinal do fuste. O parênquima axial é formado por parede primária e possui funções de armazenamento de substâncias de reserva e transporte de nutrientes (PACE; SOFFIATTI, 2013).

As espécies *P. suaveolens* e *J. copaia* estão classificadas como mais derivadas, de acordo com sistema APG IV, dentro de suas respectivas famílias. O tecido parenquimatoso é o mais abundante nos vegetais superiores (CARRAPIÇO, 1998). O parênquima axial presente em *P. suaveolens* é do tipo paratraqueal vasicêntrico e aliforme losangular (ALBUQUERQUE, 2012). Em *J. copaia*, o parênquima axial presente é do tipo paratraqueal aliforme com aletas curtas, por vezes confluyente, ocasionalmente unilateral (LEON, 2007). Vale ressaltar que as duas espécies apresentaram os maiores valores de porcentual de solubilidade em água fria e quente, indicando maior presença de material de reserva como, amido, goma e outros açúcares, que são atrativos para organismos xilófagos e mais facilmente lixiviáveis.

A ordem Sapindales está posicionada logo abaixo do ponto médio da árvore filogenética, portanto, é a segunda mais derivada, porém a família Rutaceae encontra-se na base, indicando ser mais derivada. Já a ordem Lamiales está base da árvore filogenética, indicando ser menos evoluída, e a família Lamiaceae também se encontra na base da árvore filogenética. Desse modo, entende-se que a espécie *A. integrifolia* é a mais primitiva do presente estudo. Sendo as duas espécies menos evoluídas do estudo, considerando a posição da família, evidencia-se que as mesmas possuem menor quantidade de parênquima axial. *E. paraensis* apresenta disposição paratraqueal escasso (MILER, 2007) e *A. integrifolia* parênquima axial paratraqueal unilateral (GOULART, 2012). As duas espécies também apresentam os menores valores de porcentual de solubilidade em água quente e fria.

5.3. Perda de material solúvel após 75 dias de exposição à biodegradação

Os resultados das variações de teores de materiais solúveis em água da madeira nas diferentes posições em relação ao solo são apresentados na Tabela 5. Não houve diferença significativa entre as posições da madeira no solo. Não foi possível obter material suficiente para avaliação de materiais solúveis em água fria para *J. copaia* devido à alta intensidade de

degradação (Figura 7). Os resultados indicaram maiores teores de materiais solúveis em água após os 75 dias em comparação ao início do bioensaio para todas as espécies.

Tabela 5. Teor de materiais solúveis em água fria após 75 dias de experimento em casa de vegetação, para as espécies estudadas.

Posição	Espécies			
	<i>A. integrifolia</i>	<i>E. paraensis</i>	<i>J. copaia</i>	<i>P. suaveolens</i>
Enterrado	8,21	7,00	-	10,23
Horizontal	9,87	7,66	-	10,69
Vertical	8,31	6,07	-	10,15

De acordo com Brand e Muniz (2012), normalmente a porcentagem de solubilizados aumenta em relação aos valores iniciais, indicando que ocorreram reações de transformação e disponibilização dos extrativos através de reações de oxidação, fermentação e/ou reações enzimáticas.

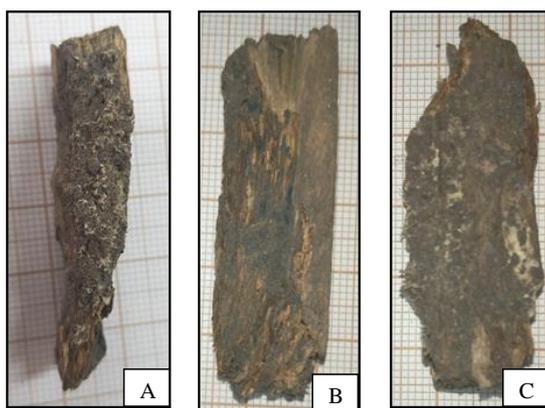


Figura 7. Corpos de prova da espécie *J. copaia* após 75 dias de experimento em casa de vegetação. Onde: A) vista lateral, B e C) vista frontal. Fonte: O autor.

De acordo com TAO et al (2005), a decomposição de materiais biológicos está relacionada a uma série de fatores bióticos e abióticos, como as condições climáticas, composição da comunidade decompositora, afinidade com o substrato e as características do material exposto, que juntamente com as tensões criadas pelo umedecimento e secagem, pela ação do sol sobre a madeira, fecham o ciclo da deterioração.

Garstang et al. (2002), pesquisando fatores que afetam a perda de massa em cavacos de resíduos da exploração de madeira estocados em galpão, também observaram valores

irregulares no teor de extrativos solúveis em água nos primeiros 50 dias de estocagem, porém, com queda de até 50% ou manutenção dos valores iniciais, após esse período.

O aumento do teor de materiais solúveis em água e álcool tolueno, no início do período de estocagem, é explicado por Sjöström (1993) como sendo resultado da oxidação dos ácidos graxos dienoicos e trienoicos, por certas enzimas (liposidases), que tem como consequência o aumento da hidrofilia e da solubilidade em água.

O teor de materiais solúveis em água pode indicar o grau de degradação por fungos, calor, luz, oxidação, entre outros, sendo que, na madeira degradada, a porcentagem de materiais solúveis em álcali aumenta (TAPPI, 1994).

Analisando-se os valores de solubilidade encontrados e considerando que, quanto maior a solubilidade, maior a degradação e menor a durabilidade natural, verificou-se que a espécie, estudada, mais resistente a biodegradação é a *E. paraensis*, seguido pela *A. integrifolia* e *J. copaia*, que se mostrou a menos resistente.

Considerando o teor de materiais solúveis em água, a espécie que teve maior percentual de solubilidade foi *P. suaveolens*, indicando também a degradação de componentes da parede celular.

5.4. Efeito da degradação da madeira no solo

Foi possível visualizar variação no pH e perda de nutrientes em todos os tratamentos contendo madeira estocada após o período de incubação em comparação com a amostra controle (Tabela 6). Para o pH, a maior variação ocorreu nas posições com corpo de prova enterrado e horizontal das espécies *A. integrifolia* e *E. paraensis* (14,8%). A menor variação ocorreu para espécie *P. suaveolens* na posição enterrado (7,4%), enquanto as demais espécies mantiveram variação em relação a amostra inicial média de 12,3%.

Para matéria orgânica no solo, a maior redução ocorreu na posição enterrado para a espécie *J. copaia* (19,4%), seguida da posição vertical para a mesma espécie e posições enterrado e horizontal de *P. suaveolens*, apresentando redução de 16,2%. *E. paraensis* e *P. suaveolens* apresentaram as menores taxas de redução para a posição vertical, ambas com 9,7%. As demais espécies e posições apresentaram redução em relação à amostra inicial entre 11,8% e 15,1%.

Em relação aos macronutrientes potássio e cálcio, a maior taxa de redução ocorreu para a espécie *J. copaia* na condição enterrada com valores de 90,9% e 33,3% respectivamente. Os menores valores de redução foram apresentados pela espécie *E. paraensis* na posição vertical com taxas de 78,7% e 6,0% para os macronutrientes após um

mês de incubação em comparação com a amostra inicial. As demais espécies e posições apresentaram reduções entre 81,8% e 84,8% para potássio e redução entre 12,1% e 30,3% para cálcio, em relação a amostra inicial.

Capacidade de troca de cátions, soma de bases e saturação por bases apresentaram diminuição nos valores para todos os tratamentos em comparação a amostra sem madeira com exceção da posição vertical para *E. paraensis* que demonstrou um leve aumento em CTC.

Tabela 6. Propriedades químicas e macronutrientes do solo após 30 dias (período de incubação) na presença de madeiras estocadas.

Tratamento	pH	MOS	P	K	Ca + M g	Ca	Al	H + Al	SB	CTC	Sat. Bases	Sat. Al
Sem madeira	5,4	31,89	171	0,33	3,8	3,3	0,0	4,2	4,1	8,3	49	0
<i>A. integrifolia</i>												
Enterrado	4,6	27,58	122	0,06	2,6	2,4	0,2	5,4	2,7	8,1	33	7
Vertical	4,7	27,07	124	0,06	2,8	2,6	0,2	5,2	2,9	8,1	36	6
Horizontal	4,7	26,89	128	0,06	2,9	2,7	0,2	4,7	3	7,7	39	6
<i>E. paraensis</i>												
Enterrado	4,7	28,10	126	0,06	2,5	2,3	0,2	5,3	2,6	7,9	33	7
Vertical	4,6	27,24	135	0,05	3	2,8	0,1	5,1	3	8,1	37	3
Horizontal	4,7	28,79	139	0,05	3,3	3,1	0,1	5,2	3,3	8,5	39	3
<i>J. copaia</i>												
Enterrado	4,8	25,69	135	0,07	2,4	2,2	0,2	5,3	2,5	7,8	32	7
Vertical	4,7	27,07	130	0,03	2,7	2,5	0,2	5,3	2,7	8	34	7
Horizontal	4,8	26,55	133	0,05	2,9	2,7	0,2	5,4	2,9	8,3	35	6
<i>P. suaveolens</i>												
Enterrado	5	26,72	128	0,06	2,8	2,6	0	4,5	2,9	7,4	39	0
Vertical	4,8	26,72	124	0,06	2,6	2,5	0,2	4,6	2,7	7,3	37	7
Horizontal	4,7	28,79	135	0,06	3,1	2,9	0,2	4,8	3,2	8	40	6

pH: potencial hidrogeniônico; MOS: matéria orgânica no solo; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; e Sat.: saturação.

O grau de acidez ou alcalinidade do solo, representado pelo seu potencial hidrogeniônico (pH), afeta várias de suas propriedades químicas e biológicas, influenciando na disponibilidade de muitos elementos, sejam nutrientes ou toxinas (BRADY; WEIL, 2013). A variação com tendência a acidificação do solo pode ser explicada pela adição dos corpos

de prova de madeira que contém grupos funcionais ácidos dos quais íons H^+ podem se dissociar com o início do processo de biodegradação (KLOCK, 2005; WASTOWSKI, 2018), bem como, pela formação de complexos solúveis com cátions não ácidos facilitando sua perda por lixiviação (BRADY; WEIL, 2013).

O termo matéria orgânica no solo (MOS) se refere à biomassa viva, por exemplo, micro-organismos e substâncias amorfas e coloidal de tecidos de plantas e/ou animais (BRADY; WEIL, 2013). O elemento carbono compõe aproximadamente metade da massa das substâncias do solo. Segundo Apolino *et al.* (2006), a dificuldade na manutenção de níveis elevados de carbono nos solos cultivados de regiões tropicais é devido às elevadas temperaturas, umidade e revolvimento do solo, que estimulam a maior decomposição da matéria orgânica, pela atividade microbiana.

O potássio está presente na forma de cátion com carga positiva K^+ e seu comportamento é influenciado, principalmente, pela capacidade de troca catiônica (CTC). Solos com baixa CTC têm baixo poder tampão em relação ao K, deixando o elemento mais susceptível a lixiviação (VILELA *et al.*, 2002). Em relação ao cálcio, sua disponibilidade também foi afetada pelo pH baixo do solo ocasionando, possivelmente, elevada perda por lixiviação.

Para o nutriente fósforo, a ciclagem inclui interações químicas e biológicas. A maior porcentagem de redução foi observada para a posição enterrado na espécie *A. integrifolia* apresentando taxa 28,6% de redução no teor do elemento em relação à amostra inicial. O menor valor de redução foi também obtido para a espécie *E. paraensis* na posição vertical com variação em relação a amostra inicial de 18,7%. As demais espécies e posições apresentaram valores de redução entre 21% e 27,4%. As perdas de fósforo no solo ocorrem pela baixa capacidade da matéria orgânica em fixar fortemente íons fosfato, pela solubilidade de minerais contendo fosfato que, conseqüentemente, se dissolvem em solos ácidos, principalmente, fosfato de cálcio e perdas por lixiviação.

A saturação por bases é a soma das bases trocáveis expressa em porcentagem de capacidade de troca de cátions. O índice de soma de bases baixo significa que há pequenas quantidades de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+), saturando as cargas negativas dos colóides e que a maioria delas está sendo neutralizada por H^+ e Al^{3+} . O solo provavelmente é ácido, podendo conter alumínio em nível tóxico às plantas (BRADY; WEIL, 2013).

A capacidade de troca de cátions representa a quantidade total de cátions retidos à superfície desses materiais em condição permutável. As argilas coloidais, as substâncias húmicas e os componentes da fração mineral dos solos sob condições tropicais, são os

principais colóides responsáveis pela CTC dos solos. Devido ao maior número de cargas negativas do que positivas desses colóides, a adsorção é principalmente de cátions (CORAZZA et al., 1999; JANSEN et al., 2003; FAO, 2010).

Na Tabela 7 pode-se verificar os valores referentes à análise de solo ao final do bioensaio. Para valores de pH, o tratamento *A. integrifolia* em todas as posições apresentou tendência a acidez com variação de 0,1 em relação ao pH sem a presença da planta. Os tratamentos *E. paraensis* e *J. copaia* na posição enterrado, e *P. suaveolens* na posição horizontal mantiveram o pH constante. *P. suaveolens* apresentou 0.4 de redução em pH em todas as posições e após a introdução do paricá, evidenciando tendência a acidificação do solo.

Em relação à matéria orgânica, o tratamento *E. paraensis* na posição vertical apresentou maior decréscimo de matéria orgânica (28,7%) em relação ao solo sem a presença da planta. A menor variação ocorreu no tratamento *P. suaveolens* na posição vertical com 12,2% de redução em comparação ao período de incubação. As demais espécies e posições variaram entre 14% e 22%.

Tabela 7. Propriedades químicas e macronutrientes do solo após 75 dias (final do bioensaio) na presença de madeiras estocadas e planta de paricá

Tratamento	pH	MOS	P	K	Ca		H		SB	CTC	Sat. Bases	Sat. Al
					+	Al	+	Al				
	-	g/kg	mg/dm ³			-----cmolc/dm ³ -----					%	
Sem madeira	4,8	31,38	168	0,19	4,4	3,8	0,1	4	4	9	48	1
<i>A. integrifolia</i>												
Enterrado	4,7	21,89	85	0,02	2,3	2	0,2	4,8	2,3	7,1	32	8
Vertical	4,6	23,27	106	0,02	2,6	2,2	0,1	4,4	2,6	7	37	4
Horizontal	4,6	22,93	97	0,02	2,6	2,2	0,1	4,6	2,6	7,2	36	4
<i>E. paraensis</i>												
Enterrado	4,7	21,89	100	0,02	2,5	2,2	0,1	4,6	2,5	7,1	35	4
Vertical	4,6	22,41	87	0,02	2,5	2,2	0,1	4,6	2,5	7,1	35	4
Horizontal	4,8	20,52	88	0,03	2,5	2,3	0,3	5,7	2,5	8,2	30	11
<i>J. copaia</i>												
Enterrado	4,5	20,69	85	0,03	2,3	2,1	0,1	4,6	2,3	6,9	33	4
Vertical	4,6	21,38	98	0,02	2,3	2	0,1	4,6	2,3	6,9	33	4
Horizontal	4,8	20,86	90	0,05	2,2	2	0,3	5,9	2,2	8,1	27	12
<i>P. suaveolens</i>												
Enterrado	4,6	21,89	88	0,03	2,3	2,1	0,4	6,3	2,3	8,6	27	15
Vertical	4,8	23,45	89	0,02	2,3	2,1	0,1	4,8	2,3	7,1	32	4
Horizontal	4,6	23,79	85	0,03	2,3	2	0,1	4,5	2,3	6,8	34	4

pH: potencial hidrogeniônico; MOS: matéria orgânica no solo; SB: soma de bases; CTC: capacidade de troca catiônica; e Sat.: saturação.

Esse resultado pode estar associado a irrigação diária após a entrada de paricá, que pode ter propiciado a lixiviação de cátions não ácidos proporcionando a entrada de íons H^+ que, conseqüentemente, predominaram nos sítios de troca dos colóides, tornando assim o solo mais ácido.

À medida que a matéria orgânica se decompõe, são formados compostos estimuladores de crescimento (aminoácidos, vitaminas e etc) que podem ser consumidos, tanto pelas plantas, como pelos micro-organismos do solo. Esse fato pode explicar a redução da mesma após a introdução do paricá, além do processo de produção de matéria orgânica pelo crescimento das plantas sofrer redução em altas temperaturas (BRADY; WEIL, 2013).

Para macronutrientes, os tratamentos que apresentaram maiores taxa de redução em relação ao período de incubação em *E. paraensis* e *P. suaveolens* na posição vertical, bem como *J. copaia* na posição enterrado. O menor valor foi encontrado para *A. integrifolia* na posição horizontal, enquanto os demais valores variaram entre 21% e 36% para fósforo. A redução desse elemento pode ser explicada pela possível absorção pela planta, bem como, retenção de P nas células de micro-organismos e/ou lixiviação.

Em relação ao nutriente potássio, o tratamento *J. copaia* na posição vertical não apresentou variação. A menor taxa de variação foi obtida no tratamento *J. copaia* posição vertical com 33% de variação. Os demais tratamentos e posições apresentaram variação entre 40% e 66%, além da absorção pelas plantas, o elemento potássio é mais susceptível a perdas por lixiviação que o fósforo e a capacidade de fixação no solo sofrem decréscimo em presença de baixo pH.

Para o cálcio, ambos os tratamentos *E. paraensis* e *J. copaia* na posição enterrado apresentaram a menor taxa de variação de 0,1%. O maior valor de variação foi encontrado para a espécie *P. suaveolens* na posição vertical com 0,9%. Os demais valores variaram entre 0,4% e 0,8%. Os processos de redução do cálcio no solo estão relacionados à absorção pelas plantas e lixiviação

Quanto à capacidade de troca de cátions, soma de bases e saturação por bases, houve diminuição nos valores para todos os tratamentos em relação ao período de incubação, com exceção do tratamento *P. suaveolens* na posição enterrado para CTC que

Macronutrientes, capacidade de troca catiônica, soma de bases e saturação de bases apresentaram mesma tendência de decréscimo que a observada na análise de solo durante o período de incubação.

5.5. Efeito da degradação da madeira no crescimento inicial do paricá

Não ocorreu interação entre os fatores espécie e posição para nenhuma das variáveis relacionadas ao crescimento inicial de paricá, somente houve diferenças para as variáveis, entre as espécies e o tratamento controle.

A presença de madeira nos recipientes levou a perdas significativas de crescimento em altura das mudas, se comparado às plantas sem madeira (controle). O fator espécies foi significativo para o crescimento ($p \leq 0,05$), mas o mesmo não ocorreu para o fator posição de estocagem ($p \geq 0,05$), conforme Tabela 8.

Tabela 8. Resumo da ANOVA para as variáveis de crescimento e produção de biomassa.

	GL	Desvio Res.	GL	Desvio Res.	p-valor
Altura espécies	3	1.4315	85	6.1910	0.0005842 ***
Ø caule espécies	3	22.6714	85	29.393	2.356e-12 ***
MS raiz espécies	3	5.9660	85	6.0547	< 2e-16 ***
MS caule espécies	3	2.51075	85	3.5806	1.066e-11 ***
MS folhas espécies	3	10.0397	85	3.0930	<2e-16 ***

GL=grau de liberdade, Res.= residual, ***=significância

Para a variável altura da planta, o tratamento controle destacou-se apresentando maior valor (33,3 cm) quando comparado aos tratamentos com a presença de madeira. Os tratamentos com presença de *A. integrifolia*, *E. paraensis*. e *P. suaveolens* apresentaram redução em altura de 29,1%, 28,8% e 28,2%, respectivamente. O tratamento em presença de *J. copaia* apresentou a menor porcentagem de redução, sendo a mesma 24,9% em relação ao tratamento controle (Figura 8).

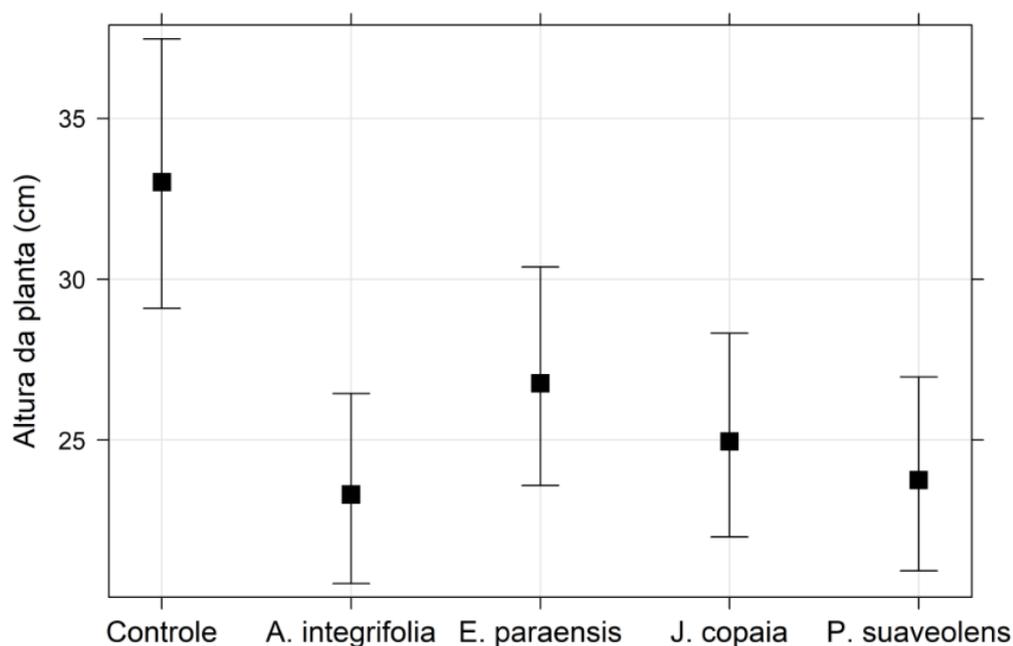
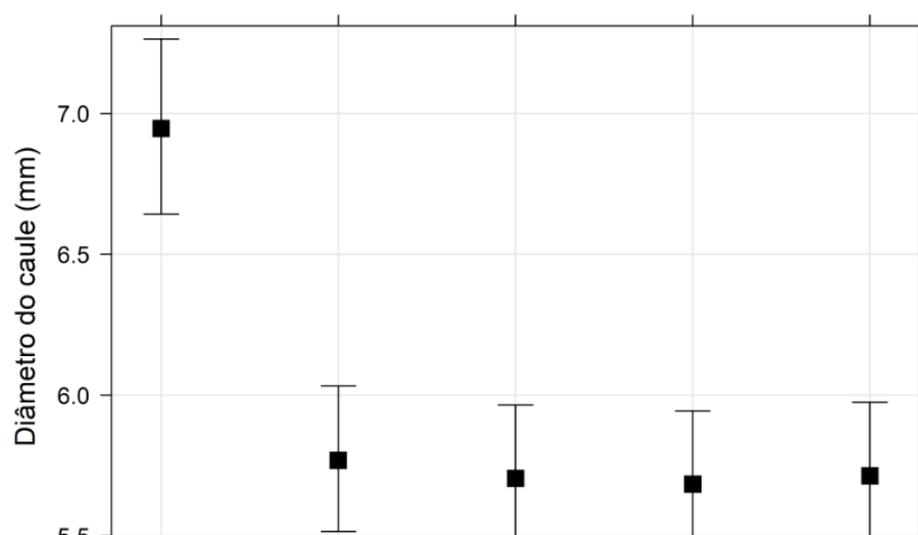


Figura 8. Altura de paricá submetido à exposição de corpos de prova de quatro espécies de madeiras amazônicas em processo de biodegradação.

Não houve diferença significativa entre as diferentes posições da madeira estocada para a variável diâmetro do caule, também não ocorreu interação entre espécie e posição. O tratamento controle (sem madeira) se destacou apresentando 6,99 mm de diâmetro do caule (Figura 9). Os tratamentos com a presença de *E. paraensis*, *J. copaia* e *P. suaveolens* apresentaram as maiores taxas de redução entre 18% e 18,5%. O tratamento com a presença de *A. integrifolia* apresentou a menor taxa de redução em relação ao tratamento controle (17,1%).



Em relação à massa seca da raiz de paricá, observa-se que não houve diferença significativa entre espécies de madeira em biodegradação. Entretanto, houve diferença significativa comparando-se os valores obtidos para os tratamentos contendo madeira com o valor do controle (Figura 10).

A produção de massa seca da raiz para o tratamento controle foi de 1,8 g, enquanto para os tratamentos com *A. integrifolia* e *E. paraensis*, foi de 0,9 g, representando decréscimo de 50% da produção em relação ao tratamento controle.

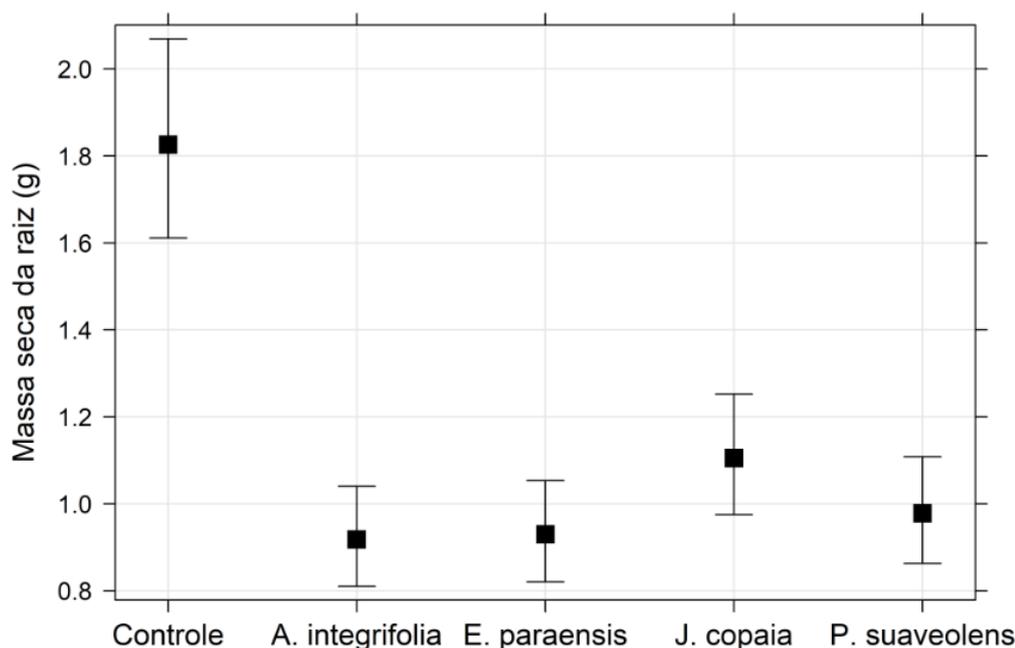


Figura 10. Massa seca da raiz de paricá submetida à exposição com quatro corpo de prova de espécies de madeiras amazônicas.

O tratamento com *J. copaia* foi o que apresentou maior taxa de produção de massa da raiz em relação às outras espécies madeireiras, com 1,1 g, uma redução de 38,8% em produção de massa seca de raiz. Já o tratamento com *P. suaveolens*, apresentou 1 g de produção de massa seca de raiz, com taxa 44,4% de redução massa seca de raiz em relação ao tratamento controle.

Em relação à massa seca do caule de paricá, observa-se que não houve diferença significativa entre espécies de madeira em biodegradação. Para massa seca do caule e massa seca das folhas, observou-se a mesma tendência de comportamento (Figuras 11 e

integrifolia, a taxa de redução foi ainda menor com 37,5% em relação ao tratamento controle.

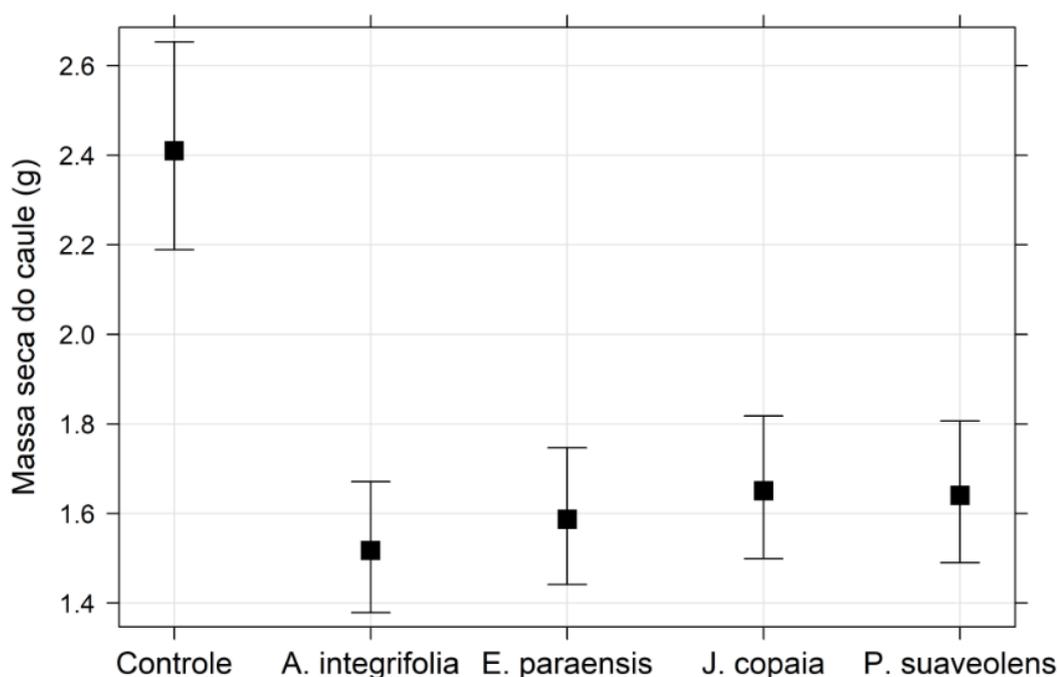


Figura 11. Massa seca do caule de paricá submetido à exposição com quatro corpos de prova de espécies de madeiras amazônicas.

Em relação à massa seca das folhas de paricá observa-se que não houve diferença significativa entre espécies de madeira em biodegradação. Para a massa seca das folhas, os tratamentos *E. paraensis* e *J. copaia* apresentaram 1,9 g em produção de fitomassa, o que representa queda de 60,5% em relação ao tratamento controle. Os dois tratamentos *A. integrifolia* e *P. suaveolens* apresentaram produção de massa seca foliar de 2,2 g, representando redução de 54,2% da produção em relação ao tratamento controle.

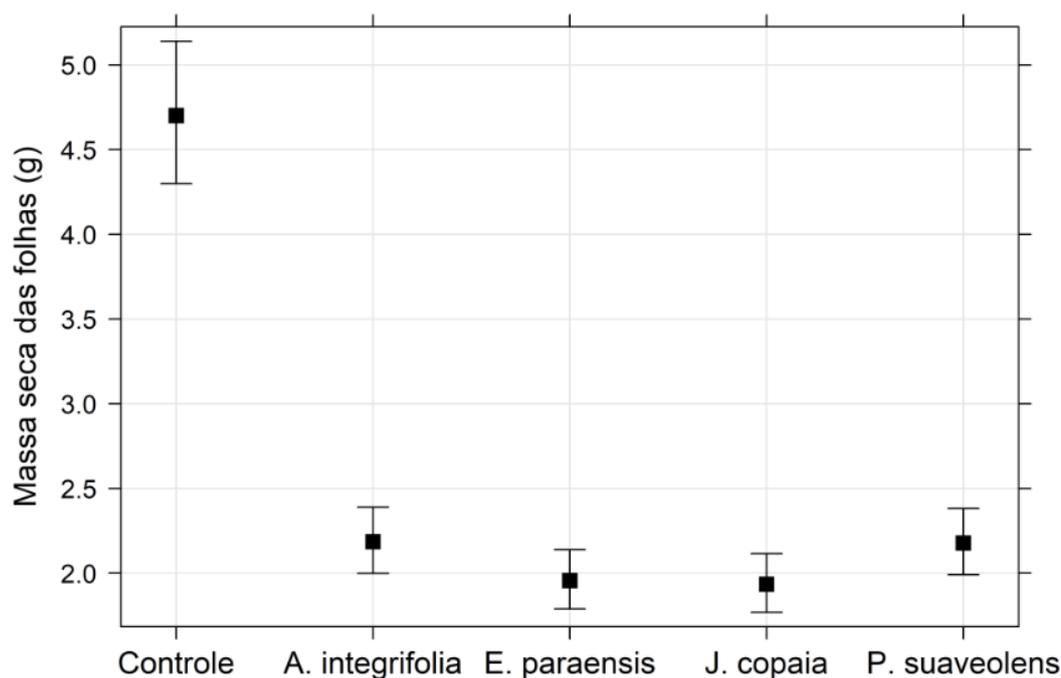


Figura 12. Massa seca da folha de paricá submetido à exposição com corpos de prova de quatro espécies de madeiras amazônicas.

Segundo Rossa et al. (2013), menores incrementos no crescimento inicial de mudas como altura e diâmetro indicam mudas de baixo padrão de qualidade. As reduções nas taxas de crescimento podem estar relacionadas à acidificação do solo através da liberação de íons H^+ de grupos funcionais da madeira, com isso a solubilidade e a disponibilidade de nutrientes foram diminuídas. Essa condição proporcionou a redução de absorção dos nutrientes pelas raízes e conseqüentemente reduziu as taxas de crescimento da planta (BRADY; WEIL, 2013).

Outra possibilidade que pode justificar as reduções nas taxas de crescimento é a probabilidade de ter ocorrido alelopatia entre os compostos secundários da madeira e a planta. Segundo Macias (2000), alelopatia é a ciência que estuda qualquer processo envolvendo, essencialmente, metabólitos secundários produzidos por plantas, algas, bactérias e fungos que influenciam o crescimento e desenvolvimento de sistemas agrícolas e biológicos, incluindo efeitos positivos e negativos. Muitas substâncias químicas produzidas pelas plantas afetam associações com outras plantas e influenciam

Apesar da espécie *J. copaia* ter apresentado maior porcentual de perda de massa, não houve diferença entre as espécies para as variáveis de crescimento inicial, ou seja, todas as espécies influenciaram negativamente e no mesmo nível, o crescimento de mudas de paricá.

6. CONCLUSÕES

A baixa densidade básica e o alto teor de extrativos removíveis por água pode favorecer a degradação da madeira estocada no solo. Entretanto, esse fenômeno depende da espécie, já que foi observada degradação mais intensa de uma espécie com alta densidade em função das propriedades anatômicas e químicas.

Para a perda de massa, não houve diferença entre as três posições de estocagem da madeira no solo, havendo somente variação porcentual entre as espécies do estudo, demonstrando que o fator espécie se destacou em relação as posições de estocagem no solo, durante o período do experimento.

A biodegradação, independentemente da posição da madeira estocada no solo, afetou negativamente as propriedades do solo sem a presença de *schizolobium amazonicum*. Com a presença de *schizolobium amazonicum*, foi verificado o mesmo padrão de redução das propriedades do solo, exceto para potencial hidrogeniônico, em que, não foi possível estabelecer um padrão para as diferentes posições.

Não houve diferença entre as três posições de estocagem da madeira no solo e nem entre as espécies. A diferença ocorreu entre as amostras com madeira e as amostras controle, onde a degradação da madeira estocada provocou reduções sobre as propriedades do solo e, conseqüentemente, reduziu o crescimento das plantas em altura e diâmetro do caule de *schizolobium amazonicum*, bem como, redução de biomassa seca da raiz e da parte aérea.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: Madeira - determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003a.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14577**: pasta celulósica e madeira – determinação do material solúvel em água. Rio de Janeiro: ABNT, 2003b.

ABNT -ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7989**: pasta celulósica e madeira - determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro: ABNT, 2010a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853**: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro: ABNT, 2010b.

ACCAME, M. E. C. Compuestos fenólicos. **Panorama ActualMed**, 2000.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **MeteorologischeZeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES, R. C. et al. Caracterização anatômica macroscópica de madeiras folhosas comercializadas no Estado do Espírito Santo. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 3, p. 352-361, 2012.

AYADI, N. et al. Color stability of heat-treated woos during artificial weathering. **HolzalsRohundWerkstoff**, v. 61, n. 3, p. 221-226, 2003.

BARCELÓ, A. R. Lignification in plant cell walls. In: **International review of cytology**. Academic Press, p. 87-132, 1997.

BASTOS, T. X. et al. Características agroclimáticas do município de Paragominas. **Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E)**, 2005.

BENITES, V. M.; MENDONÇA, E. S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, n. 2, p. 215-221, 1998.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. Elementos da natureza e propriedades dos solos. 3.Ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BROWNING, B. L. **Methods of Wood Chemistry**. John Wiley & Sons: New York, 1967.

CAMARGO, F. A. O. et al. Aspectos fisiológicos e caracterização da toxidez de ácidos orgânicos voláteis em plantas. **Ciência rural. Santa Maria.** Vol. 31, n. 3, p. 523-529, 2001.

CAMARGO, F.A.O. et al. Efeito dos ácidos acético e butírico sobre o crescimento de plântulas de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira.** Vol.28, n.9, p.1011-1018, 1993.

CAMARGO, F.A.O. et al. Acúmulo de nutrientes pelo arroz influenciado pela incorporação de palha em gleissolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Vol.19, n.2, p.243-247, 1995.

CSANÁDY, E. et al. Quality of machined wood surfaces, **Springer International Publishing**, New York City, 2015

CARPIM, L. K. et al. Liberação de nutrientes pela paleta de milho em diferentes estádios fenológicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** Vol.32, p.2813-2819, 2008.

CARRAPIÇO, F.J. N. Tecidos Vegetais: estrutura e enquadramento evolutivo. 1998.

CARVALHO, P. E. R. Paricá-*Schizolobiumamazonicum*. **Embrapa Florestas-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2007.

CHAVE, J. et al. Towards a worldwide wood economics spectrum (Global Wood Density Database). **Ecology Letters**, 2009.

CHANG, S.T. et al. Photodegradation and photoprotectionos wood surfaces. **Wood and fiber**, Vol. 14, n. 2, p. 104-107, 1982.

CLAESSEN, M. E. C. Manual de métodos de análise de solo. **Embrapa Solos-Documentos**, 1997.

COELHO, M. L. P. et al. Exigências nutricionais do paricá (*Schizolobiumamazonicum*, Herb.) na fase de muda. **Cerne**, v. 10, n. 2, p. 167-183, 2004.

COLOM, X. et al. Structural analysis of photodegraded wood by means of FTIR spectroscopy. **Polymer Degradation and Stability.** Vol. 80, n.3, p. 543-549, 2003.

CORDEIRO, I. M. C. C. et al. Avaliação de plantios de paricá (*Schizolobiumparahyba* var. *amazonicum* (Huber exDucke) Barneby de diferentes idades e sistemas de cultivo no município de aurora do Pará-PA. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 679-687, 2015.

CORDEIRO, I. M. C. C. et al. Recuperação dos atributos químicos de um latossolo amarelo em plantios florestais e agroflorestais no nordeste paraense, Brasil. : congresso internacional americanista, **Anais...** México, 2009.

CRUSCIOI, C. A. C. et al. Persistência de palhada e liberação de nutrientes do solo

DADSWELL, H. E. The anatomy of eucalypt wood. **Forest Products Laboratory**, Malbourne, n. 66, p. 1-28. 1972.

DESCH, H. E., DINWOODIE, J. M. **Timber:Structure, properties, conversion and use**. Hong-Kong: MacMillan Press Ltda.(1996)

DUBOIS, M. et al. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **AnaliticalChemistry**, v. 28, p. 350-356, 1956.

DUCKE, A. As Leguminosas da Amazônia Brasileira. Ministério da Agricultura. **Serviço de Publicidade Agrícola**, p. 88, 1939.

EMBRAPA, Amazônia oriental. Espécies arbóreas da Amazônia N°9: Timborana, *Pseudoptadeniapsilostachya*. 2004.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 271p, 1979.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, v. 155, n. 3924, p. 51-51, 1945. Doi: 10.1038/155051a0

FEIST, W.C. Weathering and protection of wood. In: **Annual Meeting of the American Wood-Preservers' Association**, 79. Kansas City:Proceedings. p. 195-205, 1983.

FERNANDES, C.; CORÁ, J. E. Caracterização físico-hídrica de substratos utilizados na produção de mudas de espécies olerícolas e florestais. **HorticulturaBrasileira**, v. 18, 2000.

FLORENCIO, C.; BADINO, A. C.; FARINAS, C. S. Desafios relacionados à produção e aplicação das enzimas celulolíticas na hidrólise da biomassa lignocelulósica. **Química Nova**, v. 40, n. 9, p. 1082-1093, 2017.

FOREST PRODUCTS LABORATORY – FPL. Wood handbook: wood as an engineering material. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory; 2010. 508 p.

FUENTES, R. L. A.; LONDOÑO, A. A. Manual para la identificación de maderas que se comercializan en el Departamento del Tolima. Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima, 2005.

GOULART, S. L. Anatomia comparada do lenho de raiz e caule de *Aegiphila sellowiana* cham.(Verbenaceae). **Cerne**, v. 18, n. 4, p. 595-606, 2012.

HARLEY, R. Lamiaceae na Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB23320>>. Acesso 11/2019.

HARLEY, R. M.; REYNOLDS, T. Labiate Science. **Richmond, Surrey, UK: Royal Botanic Gardens Kew**, 1992. HATFIELD, R.; VERMERRIS, W. Lignin formation in plants. The dilemma of linkage specificity. **Plant physiology**, v. 126, n. 4, p. 1351-1357, 2001.

HERNÁNDEZ, J. et al. 23 especies vegetales medicinales de uso frecuente en la población de Tabay. **Revista de la Facultad de Farmacia**, v. 44, p. 51-58, 2002.

HON, D.N.S. Weathering and photochemistry of wood. **Wood and cellulosic chemistry**, v. 2, p. 512-546, 2001.

IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In: FUNDAÇÃO CARGILL. **Adubação Verde no Brasil**. p. 232-267, 1984.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA (INPA). **Catálogo de madeiras da Amazônia**: características tecnológicas: área da hidrelétrica de Balbina. 163 p., 1991.

ISIDORO, M. M. et al. Fitoquímica e Quimiosistemática de *Euxylophoraparaensis* (Rutaceae). **Química nova**, v. 35, n11, p.2119-2124, 2012.

JACOBSEN, Anna L. et al. Do xylem fibers affect vessel cavitation resistance? **Plant physiology**, v. 139, n. 1, p. 546-556, 2005.

JUNAID, S. A. et al. The antimicrobial properties of *Ocimum gratissimum* extracts on some selected bacterial gastrointestinal isolates. **African journal of Biotechnology**, v. 5, n. 22, 2006.

JURD, L.; WONG, R. Y. New quinolinone alkaloids from the heartwood of, *Euxylophoraparaensis*. **Australian Journal of Chemistry**, v. 34, n. 8, p. 1625-1632, 1981.

KENNEDY, J. F. et al. **Wood and cellulose: industrial utilisation, biotechnology, structure and properties**. Ellis Horwood Limited, 1987.

LEI nº 6958 / 2007. Disponível: <www.mppa.mp.br>. Acesso: 06/2019.

LEÓN, H.W.J. ANATOMÍA DEL XILEMA SECUNDARIO DE DIEZ ESPECIES DE LA FAMILIA BIGNONIACEAE DE VENEZUELA/Wood anatomy of ten species of the Bignoniaceae family from Venezuela. **Acta Botánica Venezuelica**, p. 361-384, 2007.

MACHADO, R. S.; RODRIGUES, T. M. Parede Celular .In: EVERT, R. F. **Anatomia das plantas de Esau: meristemas, células e tecidos do corpo da planta: sua estrutura, função e desenvolvimento**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2013. p. 359-396.

MEINZER, F. C. Functional convergence in plant responses to the environment. **Oecologia**, v. 134, n. 1, p. 1-11, 2003.

MELISSARI, B. Ash related with high alkali and its migration-experimental evaluation. **Memoria Investigaciones en Ingenieria**, n. 12, p. 31-44, 2014.

MILLER, R. B. Madeiras fluorescentes do mundo. Pp 271-305 in: JH Flynn, Jr. (ed.), Um Guia para as Florestas Mais Úteis do Mundo. **Forest Products Society**, Madison, WI, 2007.

MINAMI, K.; PUCHALA, B. Produção de mudas de hortaliças de alta qualidade. **Horticultura Brasileira**. v.18, supl, p.162-163, 2000.

MOREIRA, W. S. Relações entre propriedades físico-mecânicas e características anatômicas e químicas da madeira. 1999. 107 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

MORESCHI, J. C. Biodegradação e preservação da madeira. Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal – UFPPF, 2013.

MUÑOZ, G. R. et al. Densidad de lamadera de 59 especies del orden Sapindales procedentes de bosques naturales brasileños. **Madera y bosques**, v. 25, n. 2, 2019.

NASCIMENTO, C. C. et al. Agrupamento de espécies madeireiras da Amazônia em função da densidade básica e propriedades mecânicas. **Madera y Bosques**, v. 3, n. 1, p. 33-52, 1997.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and soil**, v. 76, p. 319-337, 1984.

OHASHI, S. T et al. Variabilidade entre procedências de paricá *Schizolobium parahyba* var *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby plantadas no município de Colares - Pará. **Acta Amazonica**. v. 40, n. 1, p. 81-88, 2010.

OLTEAN, L. et al. Wood surface discoloration due to simulated indoor sunlight exposure. **Holz als Roh- und Werkstoff**. v. 66, p. 51- 56, 2008.

PAES, Juarez B. et al. Resistência natural de sete madeiras ao cupim subterrâneo (*Nasutitermes corniger* Motsch.) em ensaio de preferência alimentar. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v. 2, n. 1, p. 57-62, 2007.

In: **Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em anais de congresso**. v. 16-A, pt. 2, p. 1340-1344, 1982., 1982.

PEREIRA, B.L.C. et al. Efeito da carbonização da madeira na estrutura anatômica e densidade do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**. v. 26, p. 545-557, 2016.

POUBEL, D.S. et al. Estrutura anatômica e propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus pellita* F.Muell. **Floram**. v. 18, p. 117-126, 2011.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991.

RAMOS, L. P. The chemistry involved in the steam treatment of lignocellulosic materials. **Química Nova**, Vol. 26, 863-871, 2003.

RAO, D.N., MIKKELSEN, D.S. Effect of rice straw incorporation on rice plant growth and nutrition. **Agronomy Journal**, v.68, n.5, p.752-755, 1976.

ROBSON, T.W., TAYLOR, A.B. Effect of acetic acid on the respiration of parts of oat seedlings. **American Journal of Botany**, v.28, n.10, p.135, 1974.

ROSA, L. S. Ecologia e silvicultura do paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) na Amazônia brasileira. **Revista de Ciências Agrárias**, n. 45, p. 121-134, 2006.

SÁNCHEZ, L. E. et al. Estandarización de *Mentha spicata* L. medicamento herbário con actividad antiespasmódica. **Rev Cubana Plant Med**, 1998.

SAUVAIN, M. et al. In vitro and in vivo leishmanicidal activities of natural and synthetic quinoids. **Phytotherapy Research**, v. 7, n. 2, p. 167-171, 1993.

SCHAEFER, C. E. G. R. et al. **III-Solos da Região amazônica**. In: Solos dos Biomas Brasileiros. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2017.

SCHELLER, H. V.; ULVSKOV, P. Hemicelluloses. **Annual review of plant biology**, v. 61, 2010.

SILVA, M. F. G. et al. **The Alkaloids**. 2007.

SILVA, M. F. G. et al. Chemosystematics of the Rutaceae: suggestions for a more natural taxonomy and evolutionary interpretation of the family. **Plant Systematics and Evolution**, v. 161, n. 3-4, p. 97-134, 1988.

SMITH, B. G. et al. Crystalline cellulose in hydrated primary cell walls of three monocotyledons and one dicotyledon. **Plant and Cell Physiology**, v. 20, n. 7, p. 711-720,

STEVENSON, F.J. **Organic acids in soil**. In: McLAREN, A.D., PETERSON, G.H. (eds). Soil biochemistry. Arnold : [s.n.], p.119-146, 1967.

TAO, W. et al. Characterization of leachate from a woodwaste pile. **WaterQualityResearchJournal**. v. 40, pp. 476–483. 2005.

TELES, R. F.; COSTA, A. F. Influência do intemperismo acelerado nas propriedades colorimétricas da madeira de Angelim pedra. **Nativa**, v. 2, n. 2, p. 65-70, 2014.

TONOLI, G. H. D et al. Cellulose micro/nanofibres from Eucalyptus kraft pulp: preparation and properties. **CarbohydratePolymers**, v. 89, n. 1, p. 8- 88, 2012.

TORRES, J. L. R. et al. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.609-618, 2005.

TRUGILHO, P.F. et al. Comparação de métodos de determinação de densidade básica em madeira. **Acta Amazonica**, 1990.

WASTOWSKI, A. D. **Química da madeira**. Rio de Janeiro: Interciência, 2018.

WATERMAN, P. G.; GRUNDON, M. F.; **Chemistry and Chemical Taxonomy of the Rutales**, Academic Press: London, 1983.

WIEDENHOEFT, A. C. Wood Handbook, Chapter 03: Structure and Function of Wood. **Forest Products Laboratory, Department of Agriculture Forest Service, Madison, Wisconsin, USA**, 2010.

WHETTEN R. W. et al. Recent advances in understanding lignin biosynthesis. **Rev Plant Physiol Plant MolBiol**, 1998.

WILLIAMS J.; LEÓN H. Anatomía del xilemasecundario de diez especies de la familiabignoniaceae de venezuela. **ActaBotánicaVenezuéllica**, Vol. 30, pp. 361-384, 2007.

WILLIAMS, R. S. **Weathering of wood**. In: ROWELL, R. M. Handbook of wood chemistry and wood composites. Florida: CRC Press. p.139-185, 2005.

RIBEIRO, M. X. Resistência das madeiras de pinus, cedro australiano e seus produtos derivados ao ataque de *Cryptotermesbrevis*. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 433-439, 2013.

RINNER, K.T. et al. Evaluation of a liquid chromatography method for compoundspecific $\delta^{13}\text{C}$ analysis of plant carbohydrates in alkaline media. **Rapid Commum Mass Spectrom**, n. 26, p. 2173-2185, 2012.

VAN HANDEL, E. Direct microdetermination of sucrose. **Analytical Biochemistry**, v. 22: p. 280-283, 1968.

SIMS, D. A.; GAMON, J. A. Relationships between leaf pigment content and spectral reflectance across a wide range of species, leaf structures and developmental stages. **Remote Sensing of Environment**, v.81, p.337– 354, 2002.

VIEIRA, A. C. Caracterização da casca de arroz para geração de energia. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v.3, n. 1, p. 51-57, 2003.

ZOBEL, B. J.; BUITJEENEN, J. P. Wood Variation Its Causes and Control Springer-Verlag. 1989.