

Impacto do cultivo misto nas propriedades das madeiras de acácia e eucalipto no Brasil

Impact of mixed cultivation on properties of acacia and eucalyptus woods in Brazil

Impacto del cultivo mixto en las propiedades de las acacias y eucaliptos en Brasil

Recebido: 04/03/2020 | Revisado: 09/03/2020 | Aceito: 14/03/2020 | Publicado: 21/03/2020

Gilson Barbosa São Teago

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2785-559X>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: gilsonbar@hotmail.com

José Tarcísio da Silva Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/000-0003-3375-9227>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: jtsilva@npd.ufes.br

Graziela Baptista Vidaurre

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9285-7105>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: grazividaurre@gmail.com

Fernando Palha Leite

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7237-8657>

Celulose Nipo Brasileira SA-CENIBRA, Brasil

E-mail: fernando.leite@cenibra.com.br

Antônio Marcos Rosado

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1052-5401>

UNIASSELVI, Brasil

E-mail: antonio.rosado@yahoo.com.br

Jordão Cabral Moulin

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5543-3853>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: jordao_cm@hotmail.com

João Gabriel Missia Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3714-2745>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: joaogabrielmissia@gmail.com

Jean Carlos Lopes de Oliveira

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3547-5439>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: jeancar33@hotmail.com

Ana Paula Câmara

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7311-2159>

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: apcamara01@gmail.com

Resumo

As interações nos plantios arbóreos mistos, entre acácia e eucalipto e outras espécies, têm sido abordadas principalmente quanto aos benefícios nutricionais agregados ao solo. Informações sobre alterações na constituição da madeira gerada nesses plantios são fundamentais para auxiliar o entendimento geral desse sistema de cultivo. O objetivo foi avaliar as alterações nas propriedades físico-químicas e anatômicas da madeira de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, sob diferentes níveis de plantio misto e plantio puro. O experimento foi implantado na região de Santana do Paraíso – MG. Foram colhidas cinco árvores de cada uma das seis condições de plantio (puros de eucalipto e acácia e 4 diferentes proporções de árvores de acácia), totalizando 50 árvores aos 75 meses de idade. As variáveis avaliadas foram, casca, alburno, cerne, densidade básica da madeira, lignina total, extrativo, comprimento e espessura da parede da fibra, diâmetro e frequência de vasos. Os teores de casca, cerne e alburno não alteraram com as condições de plantio para ambas as espécies. O plantio misto com acácia influenciou a madeira de eucalipto quanto a densidade e teor de lignina total. Por sua vez, a madeira de acácia demonstrou alterações em sua anatomia, que podem ser consideradas como medidas adaptativas derivadas de sua rusticidade. As espécies de acácia e eucalipto responderam diferentemente às condições de crescimento em plantio misto, contudo, a madeira de acácia foi a mais estável quanto as propriedades estudadas.

Palavras-chave: Interações entre plantas; Plantio misto; Silvicultura; Qualidade da madeira.

Abstract

The interactions in mixed tree plantations, between acacia and eucalyptus and other species, have been addressed mainly regarding the nutritional benefits added to the soil. Information

on changes in the constitution of the wood generated in these plantations is essential to help the general understanding of this cultivation system. The objective was to evaluate changes in the physicochemical and anatomical properties of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* wood, under different levels of mixed and pure planting. The experiment was implemented in the Santana do Paraíso region - MG. Five trees were harvested from each of the six planting conditions (pure eucalyptus and acacia and 4 different proportions of acacia trees), totaling 50 trees at 75 months of age. The variables evaluated were bark, sapwood, heartwood, basic wood density, total lignin, extract, length and thickness of the fiber wall, diameter and frequency of vessels. The contents of bark, heartwood, and sapwood did not change with the planting conditions for both species. Mixed planting with acacia influenced eucalyptus wood in terms of density and total lignin content. In turn, the acacia wood showed changes in its anatomy, which can be considered as adaptive measures derived from its rusticity. The acacia and eucalyptus species responded differently to the growing conditions in a mixed planting, however, the acacia wood was the most stable in terms of the properties studied.

Keywords: Plant interactions; Mixed planting; Forestry; Wood quality.

Resumen

Las interacciones en plantaciones mixtas de árboles, entre acacia y eucalipto y otras especies, se han abordado principalmente en relación con los beneficios nutricionales agregados al suelo. La información sobre los cambios en la constitución de la madera generada en estas plantaciones es esencial para ayudar a la comprensión general de este sistema de cultivo. El objetivo fue evaluar las alteraciones en las propiedades fisicoquímicas y anatómicas de la madera de *Acacia mangium* y *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, bajo diferentes niveles de plantación mixta y pura. El experimento se implementó en la región de Santana do Paraíso - MG. Se cosecharon cinco árboles de cada una de las seis condiciones de siembra (eucalipto y acacia puros y 4 proporciones diferentes de acacias), totalizando 50 árboles a los 75 meses de edad. Las variables evaluadas fueron corteza, albura, duramen, densidad básica de la madera, lignina total, extracto, longitud y grosor de la pared de fibra, diámetro y frecuencia de los vasos. El contenido de corteza, duramen y albura no cambió con las condiciones de siembra para ambas especies. La plantación mixta con acacia influyó en la madera de eucalipto en términos de densidad y contenido total de lignina. A su vez, la madera de acacia mostró cambios en su anatomía, que pueden considerarse como medidas adaptativas derivadas de su rusticidad. Las especies de acacia y eucalipto respondieron de manera

diferente a las condiciones de crecimiento en la siembra mixta, sin embargo, la madera de acacia fue la más estable en términos de las propiedades estudiadas.

Palabras clave: Interacciones vegetales; Siembra mixta; Silvicultura; Calidad de la madera.

1. Introdução

O cultivo misto de espécies arbóreas, quando aplicado de maneira bem-sucedida, possui vantagens quando comparado a monoculturas (Malezieux et al., 2009). Os plantios mistos podem potencializar a aquisição de elementos essenciais para o desenvolvimento e crescimento da planta, como a absorção de luz, a eficiência do uso da água, a proteção contra pragas e doenças, a ciclagem de nutrientes no solo e consequentemente a produção de biomassa (Forrester; Bauhus & Cowie, 2006; Forrester et al., 2010; Azevedo et al., 2012; Le Maire et al., 2013; Forrester, 2014; Pretzsch, 2014). No entanto, é necessário combinar espécies de árvores em misturas embasadas em características complementares, que maximizem as interações positivas e minimizem as negativas (Liu; Kuchma & Krutovsky, 2018).

No Brasil, as espécies florestais mais comumente utilizadas em plantios misto e também foco de pesquisas recentes, são eucalipto e acácia, sendo analisadas principalmente quanto a disponibilidade de nutrientes e comunidade microbiana do solo, interações com a mesofauna e produtividade de biomassa (Carnovale et al., 2019; Koutika, 2019; Marron & Epron, 2019; Voigtlaender et al., 2019; Zagatto et al., 2019). O plantio misto entre eucaliptos e acácias a longo prazo pode diminuir a necessidade de aplicação mineral de nitrogênio, devido a capacidade de fixação desse nutriente no solo pela acácia (Voigtlaender et al., 2019), além de aumentar o acúmulo de carbono no solo (Koutika, 2019).

Embora sejam muitos benefícios do plantio misto, pouco se sabe sobre a qualidade da madeira para o setor industrial, sabe-se que pode alterar densidade da madeira de ambas espécies (Lombardi, 2013), sendo essa propriedade importante ao setor de celulose e energético.

Mencionada a importância silvicultural dos plantios florestais mistos e considerando que as propriedades da madeira estão vinculadas as condições de crescimento (Susanto et al., 2013), faz-se necessário conhecer as possíveis modificações na madeira de espécies produzidas nessas condições. Os trabalhos com essa temática, envolvendo a acácia e o eucalipto, têm como foco caracterizar ou comparar propriedades da madeira e casca entre plantios puros e mistos (Gonçalves & Lelis, 2012; Silva et al., 2018), sem explorar de forma

comparativa os diferentes níveis de plantios mistos, que englobam diferentes tipos de arranjos e espaçamentos.

Assim, teve-se por objetivo avaliar as alterações nas propriedades físico-químicas e anatômicas da madeira de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* sob diferentes níveis de plantio misto.

2. Metodologia

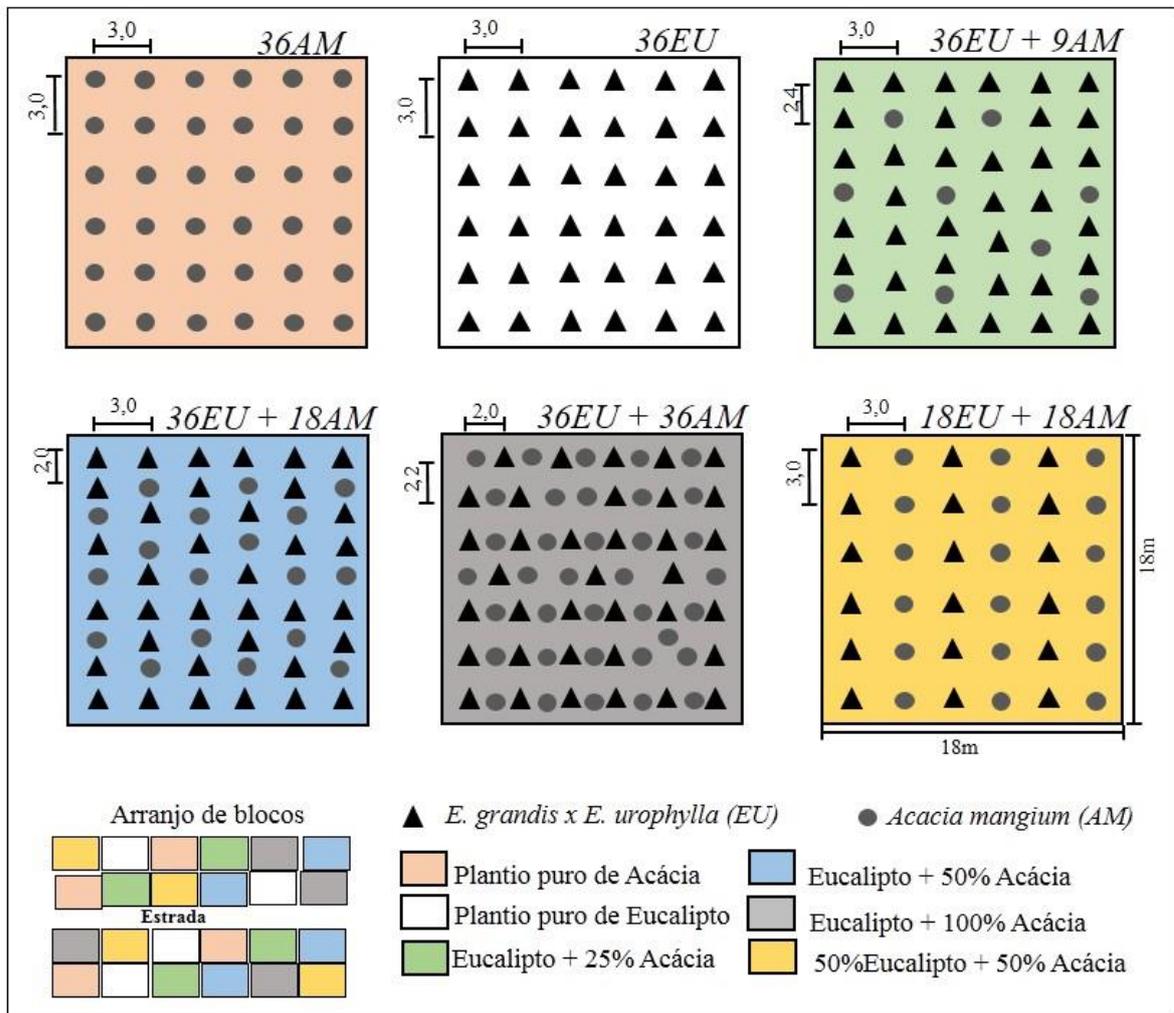
Local, arranjos dos plantios e amostragem

As árvores de *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, foram cultivadas por 75 meses, em parcelas experimentais no município de Santana do Paraíso, região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. Essas parcelas foram avaliadas em parceria com a empresa de Celulose Nipo Brasileira S/A (CENIBRA), afim de conhecer o efeito de diferentes proporções do plantio misto na madeira destinada a fabricação de celulose.

A temperatura, precipitação média anual e altitude da região foram de 25,2°C, 1.114 mm e 290 m, respectivamente. O solo foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico (Embrapa, 2006), preparado sob cultivo mínimo, com fertilização de base para todas as condições de plantio e espécies de 1.500 kg/ha de calcário (40% CaO; 10% MgO; 15% umidade) e 90 g do formulado NPK (06-30-06) por planta na ocasião do plantio; e adubação de cobertura dois meses após o plantio, com 400 kg/ha de fósforo reativo e 300 kg/ha de KCl (1,2% B, 1% Zn, 0,5% Cu).

As árvores de acácia e eucalipto foram cultivadas em diferentes condições de crescimento sendo um plantio puro (controle) de cada espécie, e 4 plantios de diferentes arranjos e espaçamentos, implantados em na mesma data. O modelo das parcelas, o número de árvores por condição e os espaçamentos de plantios adotados são representados na Figura 1. Em cada parcela de 30 x 30 m foram desconsiderados os 6 m periféricos em função do efeito de bordadura, configurando uma área útil de 18 x18 m.

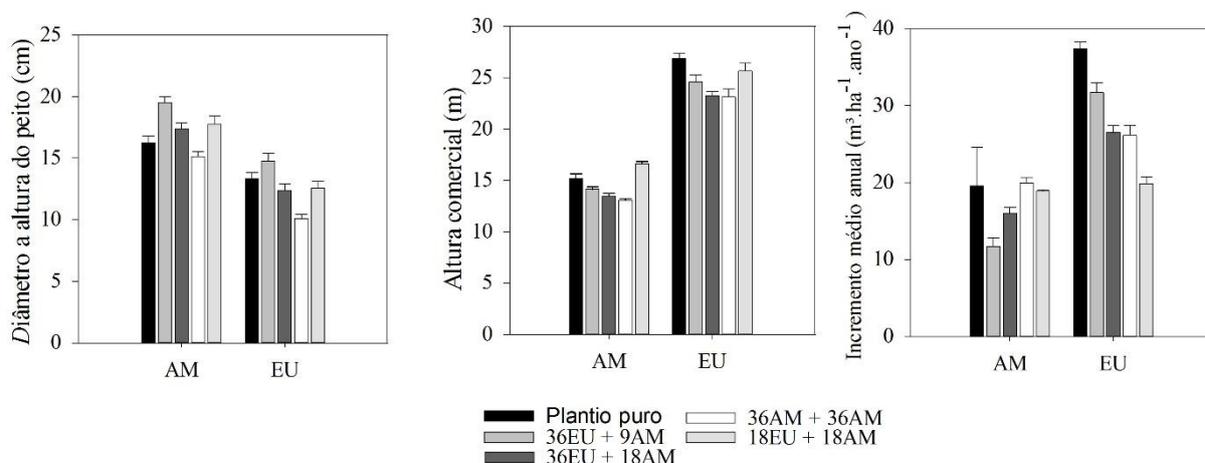
Figura 1. Condições de crescimento de acácias e eucaliptos aos 75 meses de idade.



Os valores 36, 9 e 18 representam o número de árvores que compõem os plantios.

Foram coletadas cinco árvores por espécie em cada condição de crescimento, totalizando 50 árvores. A seleção das árvores baseou-se no diâmetro médio e altura comercial, obtidos em inventário florestal, cujo dados foram utilizados para aferir o incremento médio anual (IMA) (Figura 2), por meio do volume calculado pelo método de Smalian.

Figura 2. Diâmetro à altura do peito, altura comercial e incremento médio anual das árvores de *Acacia mangium* (AM) e *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (EU) por condições de crescimento aos 75 meses de idade.



Os valores 36, 9 e 18 representam o número de árvores que compõem os plantios. Acima das barras está o erro padrão, correspondente às respectivas condições de crescimento.

Dessas árvores retirou-se discos nas posições correspondentes à 0 (base), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial (diâmetro de 6,0 cm) e também na altura do DAP (1,30 m do solo).

Caracterização das propriedades da madeira

As propriedades da madeira avaliadas, bem como a amostragem do material e metodologias das análises são listadas na Tabela 1.

Tabela 1. Lista de análises, com descrição da amostragem de madeira e suas metodologias.

Análises	Amostragem	Metodologia
% casca, cerne e albúrnio	Discos da base, DAP*, 25, 50, 75 e 100%	Brito et al. (2019)
Densidade básica		NBR 11941 (ABNT, 2003)
Extrativos	DAP	NBR 14853 (ABNT, 2010)
Lignina insolúvel		NBR 7989 (ABNT, 1998)
Lignina solúvel		Goldshimid (1971)
Dimensões dos vasos e fibras		COPANT (1974)

* DAP = Diâmetro a altura do peito (1,30 metros do solo).

A densidade básica da madeira foi determinada pelo método gravimétrico em cunhas opostas dos discos. Com os valores de densidade básica e do volume, foi calculada a densidade básica média ponderada da madeira (Equação 1).

$$DB_{mP} = \frac{[(DB_{m \text{ base-DAP}} \times V_{\text{base-DAP}}) + \dots + (DB_{m \text{ 75-100\%}} \times V_{\text{75-100\%}})]}{(V_{\text{base-DAP}}) + \dots + (V_{\text{75-100\%}})} \quad (1)$$

Em que: DB_{mP} : Densidade básica média ponderada (g cm^{-3}); DB_m : Densidade básica média entre as posições base a DAP; DAP a 25; 25 a 50; 50 a 75; 75 a 100% da altura comercial (g cm^{-3}); e V : Volume das seções entre as posições base a DAP; DAP a 25; 25 a 50; 50 a 75; 75 a 100% da altura comercial (m^3).

Para a caracterização química da madeira foram retiradas cunhas opostas dos discos e transformadas em cavacos, que foram secos ao ar e transformados em serragem em moinho tipo Wiley, conforme a norma da Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI - T 257 om-92, 1992). A serragem foi classificada por peneiras, de 40 e 60 mesh, sendo as análises efetuadas com a fração granulométrica retida na peneira de 60 “mesh” (0,25mm).

A quantificação dos extrativos foi realizada com extração em álcool: tolueno. A determinação da lignina ocorreu pela hidrólise em ácido sulfúrico. O material sólido, correspondente a lignina insolúvel foi determinado por diferença de massa (Gomide & Demuner, 1986), enquanto a lignina solúvel foi determinada pela espectrometria (Tabela 1). O teor de lignina total consistiu na soma das frações solúvel e insolúvel.

Para o estudo das dimensões dos vasos e fibras da madeira foram cortadas amostras de 1,0 x 1,5 x 2,0 cm (direções radial, tangencial e longitudinal, respectivamente) nos discos do DAP, em três posições no sentido medula-casca (próximo à medula, intermediária e próximo à casca), com 25 mensurações em cada posição. Utilizou-se a média das posições para comparação das condições de crescimento.

Cortes histológicos, com espessura de 20 μm , foram realizados para posterior medição de diâmetro tangencial e frequência de vasos. O comprimento, largura e diâmetro do lume das fibras foram determinados a partir do macerado preparado com peróxido de hidrogênio: ácido acético, proposto por Nicholls & Dadswel descrito por Ramalho (1987). A espessura da parede foi calculada pela metade da diferença entre a largura e diâmetro do lume das fibras.

As estruturas foram fotomicrografadas por câmera (resolução de 7.1 Megapixels) acoplada ao microscópio óptico, sendo as imagens analisadas no software *AxioVision 4.5*[®].

Análise estatística dos dados

Na avaliação das propriedades da madeira adotou-se o delineamento inteiramente casualizado com cinco repetições (cinco árvores por condição de crescimento). Logo, as condições de plantio misto foram comparadas as de plantio puro de acácia ou eucalipto.

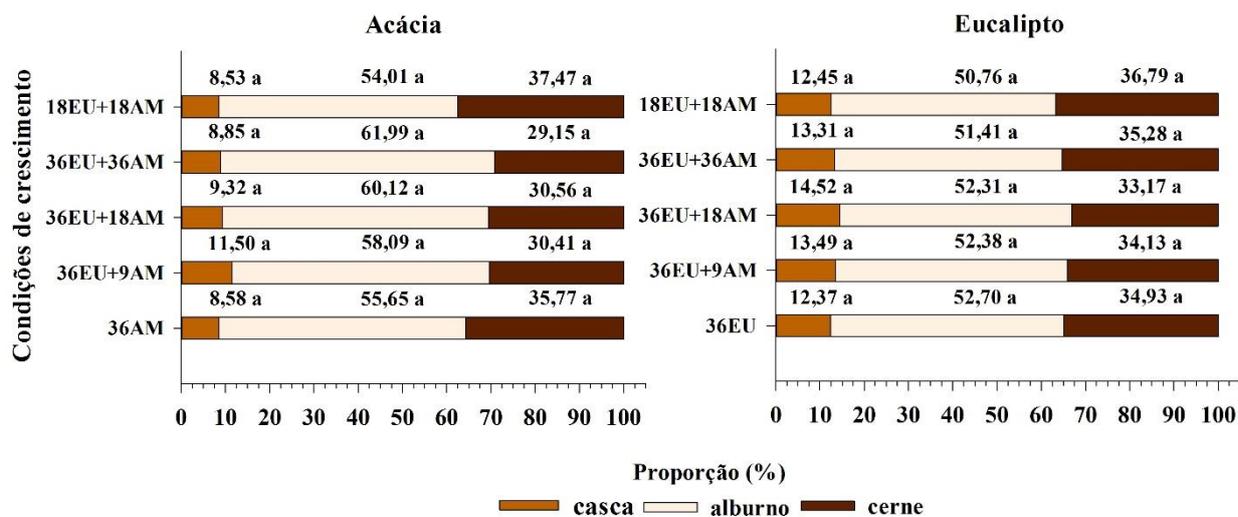
Para possibilitar a análise estatística, os dados em porcentagem, componentes do tronco (alburno, cerne e casca) e parâmetros químicos (lignina total e extrativos), foram transformados por $\arcsen[\text{raiz}(\text{parâmetro}/100)]$. Esta transformação dos dados, sugerida por Steel, Torrie & Dickey (1980), foi necessária para permitir a normalidade dos dados. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e quando significativo, aplicou-se o teste de Tukey. Para todos os testes utilizou-se o nível de 5% de significância.

3. Resultados e Discussões

Os plantios puros e mistos, em todas as condições estudadas, não tiveram efeito na proporção de casca, alburno e cerne das árvores de acácia e eucalipto (Figura 3). Em valores absolutos, houve o incremento de casca e diminuição de alburno em eucalipto, com a adição de árvores de acácia nas linhas de plantio.

Os resultados encontrados para as proporções de cerne e alburno são reflexos da idade das árvores (Plomion; Leprovost & Stokes, 2001), condições de crescimento (Bamber, 1987; Brito et al., 2019; Almeida et al., 2020) e material genético (Brito et al., 2019). A formação de cerne é uma combinação de expressão genética endógena com fatores ambientais externos (Mishra; Collings & Altaner, 2018). Portanto, fatores influentes no crescimento das árvores, como espaçamento e absorção de nitrogênio e outros nutrientes, induzirão a formação de cerne de acordo com tempo e condições de crescimento (Miranda; Gominho & Pereira, 2009).

Figura 3. Proporção de casca, albarno e cerne de acácias e eucaliptos aos 75 meses de idade, por condições de crescimento.



Onde: AM = *Acacia mangium* e EU = *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. Os valores 36, 9 e 18 representam o número de árvores que compõem os plantios. As médias seguidas pela mesma letra em cada espécie não diferiram significativamente pelo teste de Tukey.

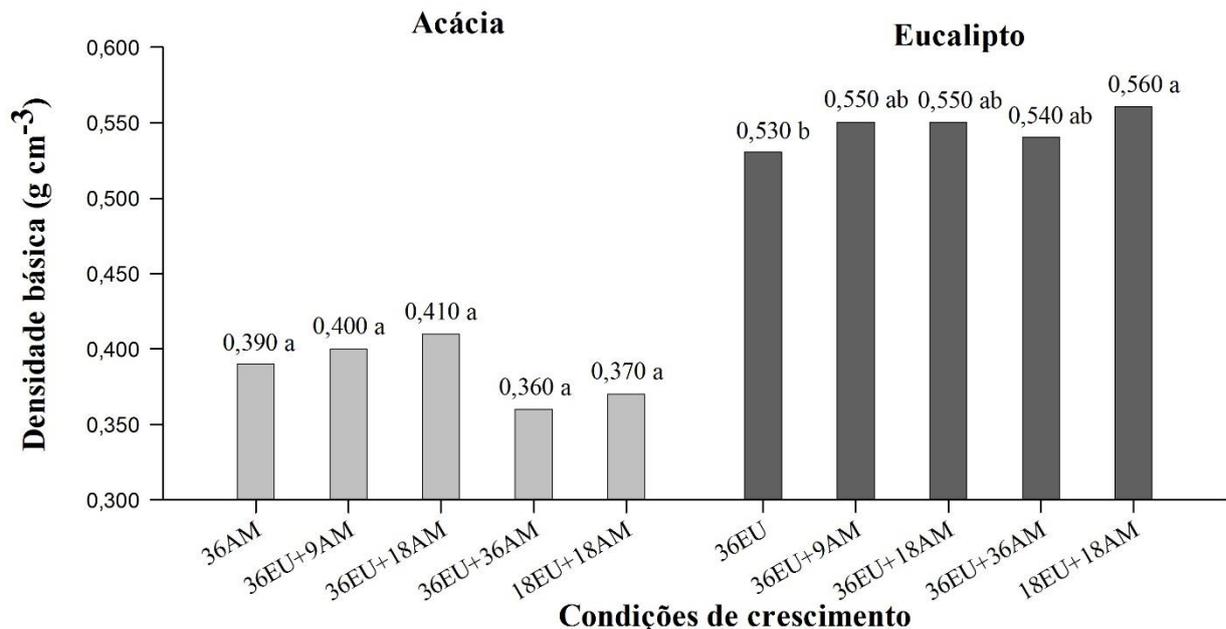
Mesmo sem alteração nas proporções de cerne e albarno pelas condições de crescimento em ambas espécies avaliadas, a acácia deteve a maior amplitude entre as condições, já o eucalipto manteve proporções similares independentemente do plantio. A acácia apresentou uma tendência de produzir mais cerne nas condições com maior espaçamento, menor número de árvores e elevados valores de IMA.

A competição nos plantios mistos, proporcionada pelo arranjo espacial, e fertilização mineral das árvores, tem efeito na cultura do eucalipto por promover o acúmulo de cálcio, potássio e magnésio (Andrade et al., 2011). Em escala decrescente, a concentração de nutrientes é alocada nas folhas, casca, galhos, e, por último, no fuste (Verão et al., 2016). Em estudo sobre teor de nutrientes e biomassa da casca de eucalipto, em espaçamento 3 x 3 m, o maior incremento no teor de casca foi relacionado ao acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio (Martins et al., 2019). A não alteração do teor de casca entre os plantios corrobora com a hipótese de que os benefícios nutricionais do plantio misto são evidenciados a longo prazo (Voigtlaender et al., 2019), esse fato pode descartar o aproveitamento desses benefícios em ciclos curtos, como os utilizados para produção de celulose. O investimento de energia da árvore em casca está relacionado a situações desfavoráveis de crescimento (Ratnam et al., 2019).

A densidade média da madeira de acácia nos sistemas de plantios e arranjos foi de 0,39 g cm⁻³. Não houve diferença estatística entre os arranjos, embora a variação da densidade da acácia corresponda a 12,2% entre 36EU+18AM e 36EU+36AM. Para a madeira de

eucalipto, houve diferença estatística da densidade entre o plantio puro (36EU) e o arranjo 18EU+18AM (Figura 4), tendo o aumento de 9,4% nos valores de densidade da madeira de eucalipto com adição de árvores de acácia na plantação.

Figura 4. Densidade básica da madeira de acácia e eucalipto aos 75 meses de idade por condições de crescimento.

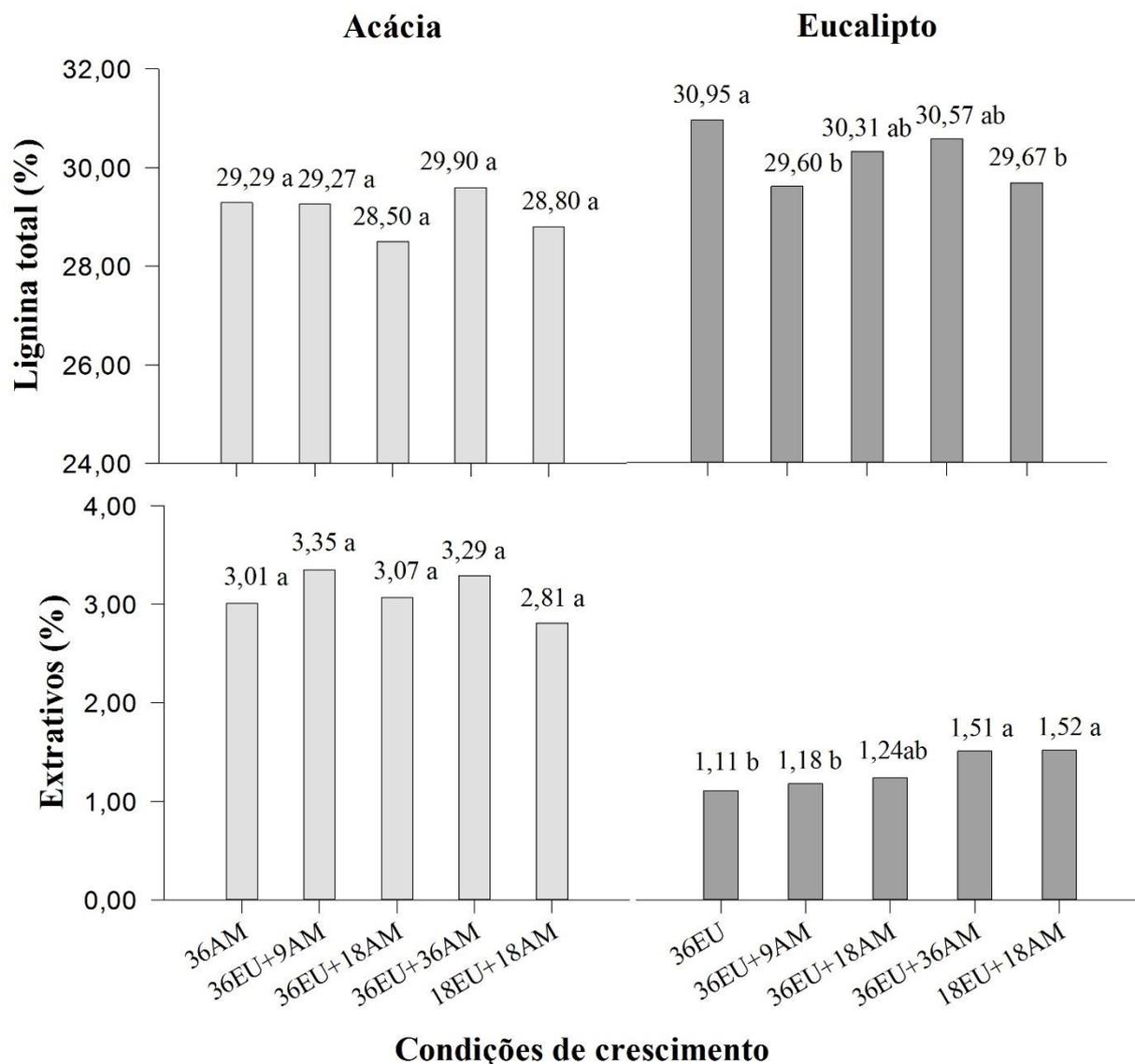


Onde: AM = *Acacia mangium* e EU = *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. Os valores 36, 9 e 18 representam o número de árvores que compõem os plantios. As médias seguidas pela mesma letra em cada espécie não diferiram significativamente pelo teste de Tukey.

A maior densidade da madeira de eucalipto foi no plantio misto e a menor no plantio puro, mesmo com os maiores valores de espessura de parede das fibras (Figura 6), as quais formam de 65% a 75% do volume da madeira (Foelkel, 2009). Entretanto, a competição entre espécies tem potencial de alteração em constituintes da madeira como, espessura da parede dos vasos e parênquima axial que podem ter contribuído para a alteração da densidade.

A composição química da madeira de acácia não foi alterada quantitativamente pelos plantios mistos (Figura 5). A madeira de eucalipto teve diminuição dos valores de lignina total no plantio misto, independentemente do número de árvores de acácia. Os maiores teores de extrativos da madeira de eucalipto foram para os arranjos 36EU+36AM e 18EU+18AM, os quais possuíam o mesmo número de árvores para as duas espécies, com diferenciação no espaçamento.

Figura 5. Extrativos e lignina total de madeira de acácia e eucalipto aos 75 meses de idade por condições de crescimento.



Condições de crescimento

Onde: AM = *Acacia mangium* e EU = *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. Os valores 36, 9 e 18 representam o número de árvores que compõem o plantio misto. As médias seguidas pela mesma letra em cada espécie não diferiram significativamente pelo teste de Tukey.

A composição química da acácia quando comparada aos trabalhos realizados na Indonésia (país de origem) apresenta valores divergentes de extrativos e semelhantes para lignina total (Antunes, 2009; Segura; Zanão & Silva Jr., 2016). Esse dado realça a hipótese de que a rusticidade, intrínseca a genética da espécie (Silva, 2007) prevalece diante do manejo, uma vez que a lignina é um composto orgânico constituinte das espécies arbóreas, com importante função estrutural (Barrichelo & Brito, 1979).

Quimicamente, o cultivo consorciado com a *Acacia mangium* promoveu maiores alterações em extrativos e lignina para a madeira de eucalipto. Os extrativos são componentes

secundários, logo, mais facilmente alterados em função das condições ambientais (Yang & Jaakkola, 2011). A madeira de *Acacia mangium* é caracterizada por uma grande quantidade de extrativos em sua constituição, sendo os mais abundantes, os polissacarídeos e as substâncias fenólicas complexas (Zhang et al., 2010). Apesar do elevado teor de extrativos ser endógeno a madeira de acácia, ainda se faz necessário entender a influência do plantio misto com eucalipto, em sua composição.

O menor teor de lignina na madeira de eucalipto no plantio misto pode ser devido a menor exigência de rigidez e resistência mecânica da planta, por causa do maior número de árvores por área e a estrutura de copa da *Acacia mangium* (Foelkel, 2012) que minimizam o efeito de ventos sobre as mesmas (Braz et al., 2013) e no talhão, fazendo com que o investimento em lignificação seja menor.

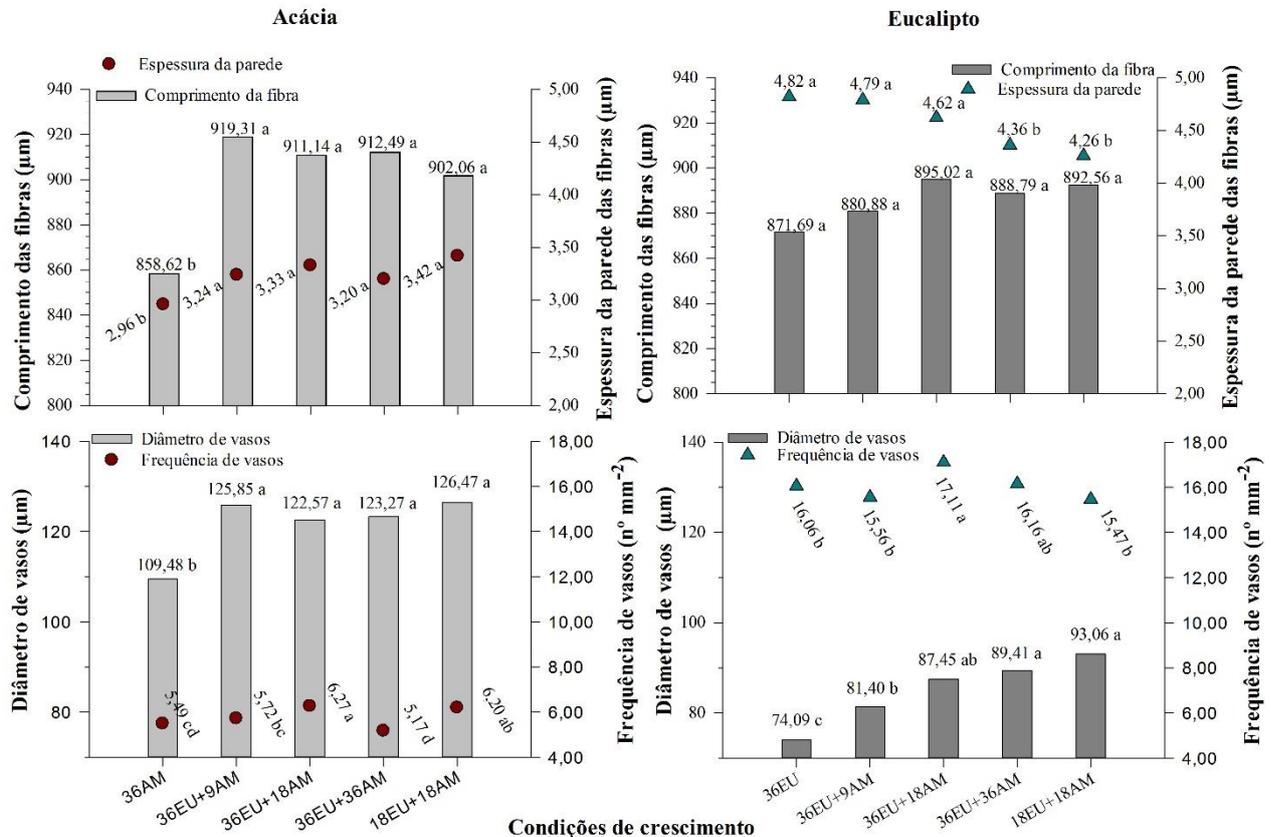
Na anatomia da madeira, o comprimento e espessura da parede das fibras da madeira de acácia diferiram significativamente entre as condições de crescimento, porém, para a madeira de eucalipto somente a espessura da parede das fibras alterou significativamente (Figura 6).

O plantio misto de eucalipto e acácia (36EU+9AM) aumentou em 6% o comprimento das fibras da madeira de acácia em comparação ao plantio puro de acácia. As diferentes intensidades de plantio misto com o eucalipto não influenciaram o comprimento das fibras do lenho de acácia, entre si. A espessura da parede das fibras também aumentou cerca de 14% em decorrência do plantio misto (18EU+18AM), exceto para aquele com 100% de árvores de acácia.

O plantio puro de acácia obteve o menor valor de espessura de parede das fibras, enquanto a média do plantio misto foi de 3,30 μm . O aumento da espessura da parede das fibras e principalmente, o seu comprimento, evidenciado na madeira de acácia no plantio misto, pode servir de base para melhoramento genético desses parâmetros em particular. Isso porque as indústrias de polpa e papel requerem fibras mais longas para a produção (Nugroho et al., 2012).

No eucalipto, os plantios mistos 36EU+36EU e 18EU + 18EU apresentaram as menores espessuras de parede das fibras.

Figura 6. Dimensões das fibras e vasos da madeira de acácia e eucalipto aos 75 meses de idade por condições de crescimento.



Onde: AM = *Acacia mangium* e EU = *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. Os valores 36, 9 e 18 representam o número de árvores que compõem o plantio misto. As médias seguidas pela mesma letra em cada espécie não diferiram significativamente pelo teste de Tukey.

O diâmetro e a frequência dos vasos diferiram significativamente entre os plantios mistos e o puro para ambas as espécies madeireiras (Figura 6).

A madeira de acácia de plantio puro apresentou o menor diâmetro tangencial dos vasos, cerca de 12% inferior à média dos plantios mistos. Dentre os plantios mistos, não houve alteração no diâmetro dos vasos do lenho de acácia. Vasos mais frequentes foram observados no lenho da madeira de acácia em plantio misto de 36EU+18AM e 18EU+18AM. A maior adição de árvores de acácia nas linhas de plantio (36EU+36AM) resultou em menor frequência dos vasos lenhosos, embora não tenha diferido da madeira de árvores em plantio puro. Ao comparar a condição de crescimento com maior frequência de vasos (36EU+18AM) ao plantio puro, percebe-se um aumento de 14% no número de células por mm² da madeira de acácia.

A adição de árvores de acácia no plantio misto colaborou para o aumento do diâmetro dos vasos da madeira de eucalipto. A madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* proveniente de plantio puro (36EU) apresentou vasos com diâmetro 20% menor em relação ao plantio misto 18EU+18AM. Os vasos foram mais frequentes no lenho de eucalipto originário do plantio misto 36EU+18AM.

A competição por recursos em plantações altamente produtivas, são dominadas por interações (Le Maire et al., 2013), visto que as combinações baseadas em características complementares, maximizam as interações positivas (Liu; Kuchma & Krutovsky, 2018). Ao substituir árvores de eucalipto por acácias, há uma redução competitiva para as duas espécies, aumentando o rendimento para ambas (Le Maire et al., 2013), notado principalmente pelo processo de condução ascendente das raízes às folhas. Para tal, ambas as espécies, investiram em aumento do diâmetro vascular, de modo que o transporte de água e nutrientes do solo para a parte aérea seja facilitado.

De modo geral, o crescimento em plantio misto afetou a madeira de eucalipto em mais características inerentes a produção de polpa e papel que a madeira de acácia. A densidade (incremento) e o teor de lignina total (redução) da madeira de eucalipto foram alterados pela presença das árvores de acácia. Por sua vez, a acácia demonstrou alteração na anatomia, que pode ser considerada como medidas adaptativas derivadas de sua rusticidade. A escolha das espécies para o plantio misto podem alterar as propriedades da madeira de forma mais intensiva em espécies de rápido crescimento com características adaptativas mais versáteis.

4. Considerações Finais

A proporção de casca, cerne e alburno e dos componentes químicos da madeira de acácia não foi alterada pela condição de crescimento em plantio misto. A madeira de eucalipto foi mais densa no arranjo misto com número semelhante de árvores de acácia e eucalipto, bem como os seus teores de extrativos e lignina total foram superiores nos plantios mistos.

A espessura da parede das fibras de eucalipto foi inferior no plantio misto com maiores proporções de árvores de acácia. O crescimento em plantio misto favoreceu o aumento das dimensões das fibras do lenho de acácia e o incremento no diâmetro dos vasos das madeiras de acácia e eucalipto.

As espécies de acácia e eucalipto responderam diferentemente as condições de crescimento em plantio misto, contudo, a madeira de acácia foi a mais estável quanto as propriedades estudadas, uma vez que apenas os elementos anatômicos foram influenciados pelo plantio misto. Dessa forma, conclui-se que há alterações nas propriedades das duas

madeiras analisadas, com magnitudes diferentes em função do arranjo do plantio misto. Apesar das descobertas deste estudo, fatores não explorados como os edafoclimáticos e genéticos ainda demandam de pesquisas que esclareçam a dinâmica de interação entre acácia e eucalipto e seus efeitos nas propriedades da madeira.

Referências

Almeida, M. N. F., Vidaurre, G. B., Pezzopane, J. E. M., Lousada, J. L. P. C., Silva, M. E. C. M., Câmara, A. P., ...& Alvares, C. A. (2020). Heartwood variation of *Eucalyptus urophylla* is influenced by climatic conditions. *Forest Ecology and Management*, 458, 117743.

Andrade, M. C. N. D., Minhoni, M. T. D. A., Sansígolo, C. A., Zied, D. C., & Sales-Campos, C. (2011). Estudo comparativo da constituição nutricional da madeira e casca de espécies e clones de eucalipto visando o cultivo de shiitake em toras. *Revista Árvore*, 35(2), 183-192.

Antunes, F. S. (2009). *Avaliação da qualidade da madeira das espécies Acacia crassicarpa, Acacia mangium, Eucalyptus nitens, Eucalyptus globulus e Populus tremuloides* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. (1998). *NBR 7989: pasta celulósica e madeira: determinação de lignina insolúvel em ácido*.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. (2003). *NBR-11941: madeira: determinação da densidade básica*.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. (2010). *NBR-14853: madeira: determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona*.

Azevedo, C. P., Silva, J. N. M., de Souza, C. R., & Sanquetta, C. R. (2012). Eficiência de tratamentos silviculturais por anelamento na floresta do Jari, Amapá. *Floresta*, 42(2), 315-324.

Bamber, R. K. (1987). *Sapwood and Heartwood*. Australia: Wood Technology and Forest Research Division.

- Barrichelo, L. E., & Brito, J. O. (1979). A utilização da madeira na produção de celulose. *Circular técnica IPEF*, (68).
- Braz, R. L., Oliveira, J. T. S., Arantes, M. D. C., & Rodrigues, B. P. (2013). Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Toona ciliata* em diferentes idades. *Floresta*, 43(4), 663-670.
- Brito, A. S., Vidaurre, G. B., Oliveira, J. T. S., Silva, J. G. M., Rodrigues, B. P., & Carneiro, A. C. O. (2019). Effect of Planting Spacing in Production and Permeability of Heartwood and Sapwood of Eucalyptus Wood. *Floresta e Ambiente*, 26(SPE1).
- Carnovale, D., Bissett, A., Thrall, P. H., & Baker, G. (2019). Plant genus (*Acacia* and *Eucalyptus*) alters soil microbial community structure and relative abundance within revegetated shelterbelts. *Applied Soil Ecology*, 133, 1-11.
- COPANT. (1974). Descripción de características generales, macroscópicas de las maderas angiospermas dicotiledóneas. *COPANT*, 30.
- Embrapa Solos. (2006). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos.
- Foelkel, C. (2009). Individualização das fibras da madeira do eucalipto para a produção de celulose Kraft. *Eucalyptus Online Book & Newsletter*, 2, 107.
- Foelkel, C. E. B. (2012). Os eucaliptos e as leguminosas—parte 03: *Acacia mangium*. *Eucalyptus On Line Book & Newsletter*.
- Forrester, D. I. (2014). The spatial and temporal dynamics of species interactions in mixed-species forests: from pattern to process. *Forest Ecology and Management*, 312, 282-292.
- Forrester, D. I., Bauhus, J., & Cowie, A. L. (2006). Carbon allocation in a mixed-species plantation of *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii*. *Forest Ecology and Management*, 233(2-3), 275-284.

Forrester, D. I., Theiveyanathan, S., Collopy, J. J., & Marcar, N. E. (2010). Enhanced water use efficiency in a mixed *Eucalyptus globulus* and *Acacia mearnsii* plantation. *Forest Ecology and Management*, 259(9), 1761-1770.

Goldschimid, O. Ultraviolet spectra. (1971). In: Sarkanen, K. V., & Luswig, C. H. (eds). *Lignins*. New York: Wiley Interscience,

Gomide, J. L., & Demuner, B. J. (1986). Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. *O papel*, 47(8), 36-38.

Gonçalves, F. G., & Lelis, R. C. C. (2012). Caracterização tecnológica da madeira de *Acacia mangium* Willd em plantio consorciado com eucalipto. *Floresta e Ambiente*, 19(3), 286-295.

Koutika, L. S. (2019). Afforesting savannas with *Acacia mangium* and Eucalyptus improves P availability in Arenosols of the Congolese coastal plains. *Geoderma Regional*, 16, e00207.

Le Maire, G., Nouvellon, Y., Christina, M., Ponzoni, F. J., Gonçalves, J. L. D. M., Bouillet, J. P., & Laclau, J. P. (2013). Tree and stand light use efficiencies over a full rotation of single- and mixed-species *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* plantations. *Forest Ecology and Management*, 288, 31-42.

Liu, C. L. C., Kuchma, O., & Krutovsky, K. V. (2018). Mixed-species versus monocultures in plantation forestry: Development, benefits, ecosystem services and perspectives for the future. *Global Ecology and Conservation*, 15, e00419.

Lombardi, L. R. (2013). *Qualidade da madeira de eucalipto e acacia mangium consorciadas para produção de polpa kraft branqueada*. (Doctoral dissertation, Universidade Federal de Viçosa).

Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., ... & Valantin-Morison, M. (2009). Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models: a review. In: Lichtfouse E., Navarrete M., Debaeke P., Véronique S., & Alberola C. (eds) *Sustainable agriculture* (pp. 329-353). Springer, Dordrecht.

Marron, N., & Epron, D. (2019). Are mixed-tree plantations including a nitrogen-fixing species more productive than monocultures?. *Forest Ecology and Management*, 441, 242-252.

Martins, T. G., Rocha, M. F., Nieri, E. M., Melo, L. A. D., Silva, M. L. D. S., & Silva, D. S. (2019). Nutrient accumulation in *Eucalyptus* bark at different population densities. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(1), 40-46.

Miranda, I., Gominho, J., & Pereira, H. (2009). Variation of heartwood and sapwood in 18-year-old *Eucalyptus globulus* trees grown with different spacings. *Trees*, 23(2), 367-372.

Mishra, G., Collings, D. A., & Altaner, C. M. (2018). Physiological changes during heartwood formation in young *Eucalyptus bosistoana* trees. *IWA journal*, 39(4), 382-394.

Nugroho, W. D., Marsoem, S. N., Yasue, K., Fujiwara, T., Nakajima, T., Hayakawa, M., ...& Funada, R. (2012). Radial variations in the anatomical characteristics and density of the wood of *Acacia mangium* of five different provenances in Indonesia. *Journal of Wood Science*, 58(3), 185-194.

Plomion, C., Leprovost, G., & Stokes, A. (2001). Formação de madeira nas árvores. *Fisiologia vegetal*, 127(4), 1513-1523.

Pretzsch, H. (2014). Canopy space filling and tree crown morphology in mixed-species stands compared with monocultures. *Forest Ecology and Management*, 327, 251-264.

Ramalho, R. S. (1987). *O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa.

Ratnam, J., Chengappa, S. K., Machado, S. J., Nataraj, N., Osuri, A. M., & Sankaran, M. (2019). Functional traits of trees from dry deciduous 'forests' of southern India suggest seasonal drought and fire are important drivers. *Front. Ecol. Evol.* 7(8), 1-6.

Segura, T. E., Zañão, M., & Silva Jr, F. G. (2010). *Potencial da Madeira de acácia para a produção de polpa celulósica Kraft*. XXI Encontro Nacional da TECNICELPA/VI CIADICYP.

Silva, C. L., Roldão, B. D. C., Santos, L. D. T., & Hein, P. R. G. (2018). Lenho e Casca de *Eucalyptus* e *Acacia* em Plantios Monoespecíficos e Consorciados. *Floresta e Ambiente*, 25(1).

Silva, E. V. D. (2007). *Desenvolvimento de raiz fina em povoamentos monoespecíficos e mistos de Eucalyptus grandis e Acacia mangium* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Stell, R. G. D., Torrie, J. H., & Dickey, D. (1980). *Principles and procedures of statistics: a biometrical approach*. New York: MacGraw-Hill.

Susanto, M., Naiem, M., Hardiyanto, E. B., & Prayitno, T. A. Variasi Genetik Sifat-sifat Kayu Uji Keturunan *Acacia Mangium* Umur 5 Tahun Di Wonogiri, Jawa Tengah (Genetic Variation of Wood Properties in Progeny Trial of *Acacia Mangium* on 5 Years Old in Wonogiri, Central Java). (2013). *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 20(3), 312-323.

Technical Association of the Pulp and Paper Industry (1992). TAPPI test methods T 257 om-92: *sampling and preparing wood for analysis*. Atlanta: Tappi Technology Park.

Verão, D. S., Bleich, M. E., Martins, N. P., Bassotto, J. M., Mortat, A. F., & Santos, A. F. A. (2016). Concentração de nutrientes em *Eucalyptus urograndis* (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T Blake) com sete anos de idade na borda sul da Amazônia. *Biodiversidade*, 15(3).

Voigtlaender, M., Brandani, C. B., Caldeira, D. R. M., Tardy, F., Bouillet, J. P., Gonçalves, J. L. M., ... & Laclau, J. P. (2019). Nitrogen cycling in monospecific and mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus* at 4 sites in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 436, 56-67.

Yang, G., & Jaakkola, P. (2011). *Química da madeira e isolamento de extrativos da madeira*. Estudo de literatura para o projeto BIOTULI - Universidade de Ciências Aplicadas de Saimaa, 10-22.

Zagatto, M. R. G., Pereira, A. P. A., Souza, A. J., Pereira, R. F., Baldesin, L. F., Pereira, C. M., ...& Cardoso, E. J. B. N. (2019). Interactions between mesofauna, microbiological and chemical soil attributes in pure and intercropped *Eucalyptus grandis* and *Acacia mangium* plantations. *Forest Ecology and Management*, 433, 240-247.

Zhang, L., Chen, J., Wang, Y., Wu, D., & Xu, M. (2010). Phenolic extracts from *Acacia mangium* bark and their antioxidant activities. *Molecules*, 15(5), 3567-3577.

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Gilson Barbosa São Teago – 50%

José Tarcísio da Silva Oliveira – 10%

Graziela Baptista Vidaurre – 7%

Fernando Palha Leite – 7%

Antônio Marcos Rosado – 6%

Jordão Cabral Moulin – 5%

João Gabriel Missia Silva – 5%

Jean Carlos Lopes de Oliveira – 5%

Ana Paula Câmara – 5%