



ANATOLY QUEIROZ ABREU TORRES

**ANÁLISE DE CRESCIMENTO E DESRAMA NA
IMPLANTAÇÃO DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS**

**LAVRAS - MG
2022**

ANATOLY QUEIROZ ABREU TORRES

**Análise de crescimento e desrama na implantação de espécies
florestais nativas**

Tese de Doutorado apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Curso de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, área
de concentração em Silvicultura e Genética
Florestal.

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo
Orientador

**LAVRAS – MG
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Torres, Anatoly Queiroz Abreu

Análise de crescimento e desrama na implantação de espécies
florestais nativas / Anatoly Queiroz Abreu Torres. - 2022.
68p.

Orientador(a): Lucas Amaral de Melo.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.
Bibliografia.

1. Reserva Legal. 2. Silvicultura. 3. Modelagem. I. Melo, Lucas
Amaral de. II. Título.

ANATOLY QUEIROZ ABREU TORRES

**ANÁLISE DE CRESCIMENTO E DESRAMA NA IMPLANTAÇÃO DE
ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS**

**ANALYSIS OF GROWTH AND PRUNING IN THE
IMPLEMENTATION OF NATIVE FOREST SPECIES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, área de concentração Silvicultura e Genética Florestal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 11 de março de 2022.

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo, UFLA
Prof. Dra. Soraya Alvarenga Botelho, UFLA
Prof. Dr. Lucas Rezende Gomide, UFLA
Prof. Dra. Michele Valquíria dos Reis, UFLA
Prof. Dr. Marciel José Ferreira, UFAM

Prof. Dr. Lucas Amaral de Melo
(Orientador)

LAVRAS - MG

Aos meus pais, irmãos e a todos que torceram por mim e me apoiaram...

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir que tudo isso se realizasse, me guiando, iluminando e sendo presença constante na minha vida.

A minha mãe Edna e irmãos Lara, Yuri e Nadya por todo amor, compreensão e apoio incondicional nas diversas etapas desta caminhada.

A todos os meus familiares de Muriaé, tios e primos.

À Universidade Federal de Lavras, em especial a todos da coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

Ao meu orientador, Lucas Amaral de Melo, pelos muitos ensinamentos transmitidos, pela boa convivência, paciência e orientação.

Aos professores do Departamento de Ciências Florestais, em especial aos professores Soraya Alvarenga Botelho e Otavio Camargo Campoe no auxílio da realização deste trabalho e também ao professor Gilmar Tavares pelo apoio na implantação do mesmo.

À banca examinadora da defesa desta tese, professores Lucas Rezende Gomide, Michele Valquíria dos Reis e Marciel José Ferreira, pela participação e pelas contribuições.

Aos companheiros do Laboratório de Estudos em Silvicultura e Restauração Florestal, em especial aos técnicos José Pedro e Matheus e aos estudantes Lucas Vieira, Gabriel Campos, Eduardo, Gabriel Neves, Gustavo, Gabriel Sterzeck, Natan e Thaynara pelo apoio e bons momentos juntos.

Aos colegas de curso, pelo companheirismo, amizade e interação produtiva: Raul, Maria, Patrick, Adênio, Denys, Fabrina, Fernanda Leite, Eduardo Macedo e Celina.

Ao doutor, Erick, e futuros doutores, Rodolfo e Evandro, por todo apoio, incentivo e contribuições neste trabalho.

Aos amigos de república, que tiveram participação especial nessa fase: Artur, Gabriel, Vinicius, Frederico, entre outros.

Aos meus grandes amigos, por tudo que vivemos e pela cumplicidade ao longo destes anos: Elisamara, Alexandre, Ingrid, Ronan, Gustavo, Stênio, Jerusa, Marianne, Talita, Jean, Larissa, Caroline, Manuel e Hortênsia.

Ao CNPQ, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho, o meu sincero agradecimento.

RESUMO

A exploração sustentável da Reserva Legal tem despertado o interesse pelo plantio de espécies florestais de interesse econômico. Adicionalmente, o uso de espécies florestais madeireiras e não madeireiras surge como uma alternativa para aumentar a renda da propriedade rural a médio e longo prazo, ao mesmo tempo em que favorece os mecanismos de sustentação do ecossistema. A área de Reserva Legal estudada está localizada no Sítio Pirilampo, município de Ijaci, no estado de Minas Gerais. Utilizou-se uma área de 3,19 ha, com diferentes espécies florestais nativas no espaçamento 3 x 1,5 metros. No estudo realizado no capítulo 1, analisou-se o emprego de três modelos lineares de efeito misto na predição do incremento corrente anual (ICA) em DAP, de onze espécies florestais nativas, em função da idade, sendo elas *G. ulmifolia*, *Cordia trichotoma*, *Peltophorum dubium*, *Johannesia princeps*, *Aspidosperma parvifolium*, *Hymenaea courbaril*, *Myracrodruon urundeuva*, *Zeyheria tuberculosa*, *Schizolobium parahyba*, *Enterolobium contortisiliquum* e *Anadenanthera peregrina*. Os três modelos apresentaram, de forma geral, ótimos desempenhos, entretanto, o Modelo 2 – MEM - Spurr foi inferior aos demais. *S. parahyba* e *G. ulmifolia* apresentaram o maiores incrementos em DAP ao longo dos três anos de idade. No capítulo 2, avaliou-se o desempenho silvicultural de quatro espécies nativas em função da intensidade de desrama. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com dez repetições e uma planta por parcela, em esquema fatorial 4 x 4, quatro espécies florestais (*G. ulmifolia*, *C. trichotoma*, *P. dubium* e *J. princeps*) e quatro intensidades de desrama (0%, 25%, 50% e 75%), proporcionais à altura total dos indivíduos. Aos 18, 30 e 42 meses avaliou-se a altura (H) e o diâmetro à altura do peito (DAP) e calculou o incremento corrente anual (ICA) para H e DAP aos 42 meses. Não houve interação entre espécies e intensidade de desrama. *G. ulmifolia* apresentou maior crescimento em altura e diâmetro em relação às espécies *J. princeps*, *P. dubium* e *C. trichotoma*, aos 30 e 42 meses de idade. A partir dos resultados inéditos obtidos por este trabalho, demonstrou-se a relevância quanto ao potencial das espécies florestais nativas em projetos de implantação florestal, o que contribui para o conhecimento técnico científico do setor florestal brasileiro.

Palavras-chave: Reserva Legal. Silvicultura. Modelagem.

ABSTRACT

The sustainable exploitation of the Legal Reserve has aroused interest in planting forest species of economic interest. Additionally, timber and non-timber species emerge as an alternative to increasing rural property income in the medium term, at the same time as it favors ecosystem support mechanisms. The Legal Reserve area is located in Sítio Pirilampo, municipality of Ijaci, in the state of Minas Gerais. An area of 3.19 ha was used, with different native forest species in a spacing of 3 x 1.5 meters. No study was carried out in chapter 1, a function of three annual linear models of mixed-effect employment in predicting the increase (CAI) in DBH eleven native forest species, in age date, namely *Guazuma ulmifolia*, *Cordia trichotoma*, *Peltophorum dubium*, *Johannesia princeps*, *Aspidosperma parvifolium*, *Hymenaea courbaril*, *Myracrodruon urundeuva*, *Zeyheria tuberculosa*, *Schizolobium parahyba*, *Enterolobium contortisiliquum* and *Anadenanthera peregrina*. The three great models presented too much, in general, performances, however, the Model 2 - MEM - Spurr was inferior to the. *S. parahyba* and *G. ulmifolia* showed the highest increases in DBH over three years of age. In chapter 2, the silvicultural performance of four native species was evaluated as a function of pruning intensity. The experimental design was completely randomized with ten replications and one plant per plot, in a 4 x 4 factorial scheme, four forest species (*G. ulmifolia*, *C. trichotoma*, *P. dubium*, and *J. princeps*) and four pruning intensities (0%, 25%, 50%, and 75%), proportional to the total height of the individuals. At 18, 30, and 42 months, height (H) and diameter at breast height (DBH) were evaluated and the current annual increment (CAI) for H and DBH were calculated at 42 months. There was no interaction between species and pruning intensity. *G. ulmifolia* showed greater growth in height and diameter than the species *J. princeps*, *P. dubium*, and *C. trichotoma*, at 30 and 42 months of age. The pruning resulted in decreased growth in DBH. From the unpublished results obtained by this work, the relevance of the potential of native forest species in forest implantation projects was demonstrated, which contributes to the scientific-technical knowledge of the Brazilian forest sector.

Keywords: Legal Reserve. Silviculture. Modeling.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	9
1. INTRODUÇÃO	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	10
2.1 Manejo da Reserva Legal	10
2.2 Potencial das espécies florestais nativas	13
2.2.1 <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>amazonicum</i> (paricá) e <i>Schizolobium parahyba</i> var. <i>parahyba</i> (guapuruvu)	15
2.2.2 <i>Hymenaea courbaril</i> (jatobá)	17
2.2.3 <i>Cordia trichotoma</i> (louro pardo)	18
2.2.4 <i>Zeyheria tuberculosa</i> (ipê felpudo)	19
REFERÊNCIAS	21
SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	28
ARTIGO 1 - USO DE MODELOS DE EFEITO MISTO NA ANÁLISE DO CRESCIMENTO DE ONZE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS	28
1. INTRODUÇÃO	30
2. MATERIAL E MÉTODOS	31
3. RESULTADOS	36
4. DISCUSSÃO	43
5. CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	46
ARTIGO 2 - SILVICULTURAL PERFORMANCE OF FOUR NATIVE FOREST SPECIES AS A FUNCTION OF PRUNING INTENSITY	49
1. INTRODUCTION AND OBJECTIVES	50
2. MATERIALS AND METHODS	51
3. RESULTS AND DISCUSSION	53
4. CONCLUSIONS	60
REFERENCES	63

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO

A produção florestal é a atividade ou processo de transformação da matéria-prima, proveniente de florestas naturais ou plantadas, em bens de consumo (KEEFE; ALAVALAPATI; PINHEIRO, 2012). Tal transformação pode resultar em produtos florestais madeireiros e não madeireiros como um meio de viabilizar economicamente os projetos de recomposição florestal (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015).

Os produtos madeireiros são todos os materiais lenhosos passíveis de aproveitamento para serraria, estacas, lenha, poste, moirão e outros. Já os produtos não madeireiros são todos os materiais não lenhosos de origem vegetal, tais como resina, cipó, óleo, sementes, plantas ornamentais e medicinais, entre outros, bem como serviços sociais e ambientais, como reservas extrativistas, sequestro de carbono, conservação genética e demais benefícios advindos da manutenção da floresta (MMA, 2022).

A implantação de um sistema de produção florestal cria condições econômicas que favorecem a produção em larga escala de produtos e subprodutos madeireiros e não madeireiros em projetos de recomposição florestal, oferecendo benefícios econômicos, sociais e ambientais e respeitando os mecanismos de sustentação do ecossistema (BRANCALION et al., 2012).

Estudos demonstram que os modelos de recomposição florestal de plantio misto de espécies florestais são um dos meios eficientes de recomposição de áreas em grandes extensões (CHAZDON, 2008; LAMB; ERSKINE; PARROTTA, 2005), visto que esse modelo de plantio pode oferecer a oportunidade de explorar novas fontes de renda, capaz de equilibrar a produção agropecuária com a conservação florestal (PRYDE et al., 2015), levando à diversificação da propriedade e dos ciclos de produção (KELTY, 2006).

O desenvolvimento de modelos com espécies nativas tem surgido como uma oportunidade única para áreas de Reserva Legal (CALVO-ALVARADO; ARIAS; RICHTER, 2007) e tem se destacado como uma alternativa promissora ao associar a produção de madeira (ou de produtos não madeireiros) como um meio de viabilizar economicamente os projetos de recomposição florestal. Contudo, se por um lado esse modelo surge como uma estratégia eficiente, por outro, existe uma carência ampla de

conhecimento a respeito da silvicultura das espécies florestais nativas (BRANCALION; GANDOLFI; RODRIGUES, 2015).

Diante disso é importante avaliar o potencial das espécies nativas para plantios florestais, obtendo conhecimento sobre a silvicultura e, a partir disso, buscar melhores modelos de produção florestal (RONDON NETO et al., 2011). Assim, o uso de espécies florestais de potencial econômico pode agregar valor às áreas de Reserva Legal, aumentar a renda da propriedade e, conseqüentemente, diminuir a pressão de desmatamento sobre florestas nativas (DOUCET et al., 2009).

Portanto, esse modelo surge como uma boa alternativa para compensar os custos de investimento e até promover um aumento de renda para o produtor a médio e longo prazo. Entretanto, é importante ressaltar que a exploração florestal em área de Reserva Legal deve ser de baixo impacto ambiental, respeitando a legislação florestal vigente (BRASIL, 2012).

Esta tese está dividida em duas partes. A primeira busca situar o leitor diante dos objetivos deste trabalho e fazer uma abordagem teórica sobre os temas trabalhados, incluindo termos importantes que foram utilizados ao longo da segunda parte. A segunda parte foi organizada em dois artigos. O primeiro artigo analisa o emprego de três modelos lineares de efeito misto na predição do incremento corrente anual (ICA) em DAP, de onze espécies florestais nativas. Já o segundo artigo avalia o desempenho silvicultural de quatro espécies nativas em função da intensidade de desrama.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manejo da Reserva Legal

A expansão das fronteiras agrícolas, motivada pela necessidade crescente de produzir alimentos em quantidades cada vez maiores, promoveu a derrubada de importantes áreas de florestas para implantação da agricultura nas propriedades rurais (DOMINGUES; BERMANN, 2012). Neste contexto, foram criadas leis para proteger ambientes frágeis ou especiais, pelas suas características e sua relevância ecológica, visando garantir a todos o direito ao ambiente saudável e ecologicamente equilibrado (JACOVINE et al., 2008).

Para garantir a preservação das florestas e demais formas de vegetação no território brasileiro, o Código Florestal (BRASIL, 2012) pressupõe a existência da Reserva Legal, sendo que todo imóvel rural deve manter uma área mínima com cobertura de vegetação nativa, com a função de auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, bem como o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa.

No entanto, toda propriedade rural tem o papel de gerar riquezas por meio da exploração de atividades agropecuárias ou extrativistas, sendo que tais recursos naturais são extraídos do ambiente onde se localiza o imóvel rural (CASTRO, 2013). A Reserva Legal, nesse aspecto, pode ter destinação econômica, mas está condicionada ao atendimento dos planos de manejo previamente aprovados pelos órgãos ambientais competentes (SANTIAGO; REZENDE; BORGES, 2017).

Segundo o Código Florestal (BRASIL, 2012), as áreas de Reserva Legal podem ser aproveitadas com destinação econômica mediante a utilização de programa de ações e atividades não predatórias, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema, o denominado manejo sustentável, prática que permite a sua exploração sustentável:

“O manejo florestal sustentável da vegetação da Reserva Legal com propósito comercial depende de autorização do órgão competente, observadas três diretrizes:

- I – não descaracterizar a cobertura vegetal e não prejudicar a conservação da vegetação nativa;
- II – assegurar a manutenção da diversidade das espécies;
- III – na condução do manejo de espécies exóticas, deverão ser adotadas medidas que favoreçam a regeneração de espécies nativas.”

Neste sentido, o manejo florestal visa o planejamento de ações e práticas que têm por finalidade buscar a maximização do potencial econômico da Reserva Legal e a conservação do meio ambiente, respeitando às normas técnico-científicas previamente aprovadas (DELALIBERA et al., 2008). Acredita-se que o enfraquecimento desse instrumento levaria à perda irreversível da biodiversidade (PARDINI et al., 2010) e a redução dos serviços ecossistêmicos que favorecem a produção agropecuária (CARVALHEIRO et al., 2011).

Diversos estudos sobre percepções e atitudes com relação às alternativas ecológicas e econômicas viáveis de uso sustentável que possibilitam a conservação e ganhos reais para o proprietário rural pelo manejo florestal em áreas de Reserva Legal vêm sendo observados, como por exemplo, no uso de um modelo de produção energético-madeireiro na Amazônia (BRIENZA JUNIOR et al., 2008), nos diferentes tipos de unidades de produção agropecuária (UPA) na microbacia do rio Oriçanga - SP (FASIABEN et al., 2011), no uso de Sistemas Agroflorestais (SAF) multiestrato na região do Vale do Ribeira - SP (FROUFE; SEOANE, 2011) e na manutenção dos serviços ecossistêmicos (SPAROVEK et al., 2012), entre outros.

Portanto, o manejo florestal sustentável pode ser definido segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA) como “a administração da floresta para obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, respeitando-se os mecanismos de sustentação do ecossistema objeto do manejo e considerando-se, cumulativa ou alternativamente, a utilização de múltiplas espécies madeireiras, de múltiplos produtos e subprodutos não madeireiros, bem como a utilização de outros bens e serviços florestais” (MMA, 2022).

A exploração florestal, ou seja, a produção de madeira e de outros produtos florestais (resinas, raízes, cascas, cipós, entre outros), tem como fonte de matéria-prima legal, somente as florestas exploradas sob regime sustentável, através de Planos de Manejo Florestal Sustentável - PMFS ou por meio de desmatamentos autorizados (BRASIL, 2022).

No que tange a viabilidade da extração de madeira produzida por espécies florestais, ainda não se encontra muitos estudos e normas que regularizam a sua exploração. Portanto, um dos maiores gargalos das próximas pesquisas é como realizar um manejo sustentável sem descaracterizar a cobertura vegetal da área.

De acordo com o Código Florestal (Lei 12.651/2012) esse manejo pode ser realizado com o plantio de espécies lenhosas, perenes ou de ciclo longo, exóticas com nativas de ocorrência regional, em até 50% (cinquenta por cento) da área total a ser recomposta (BRASIL, 2012). Neste contexto, o manejo sustentável das florestas nativas é uma atividade econômica interessante, uma vez que essas espécies podem contribuir substancialmente para a economia nacional como fonte alternativa de produção de

madeira, bem como auxiliar na manutenção da qualidade ambiental (ANDRAE; SCHNEIDER; DURLO, 2018).

2.2 Potencial das espécies florestais nativas

A implantação de um sistema de produção florestal pode gerar benefícios econômicos, ecológicos e sociais, principalmente quando se trabalha com diversidade de espécies, promovendo a recuperação da paisagem, a diversificação produtiva e a geração de renda (GODINHO; DA SILVA; MOREIRA, 2016). Entretanto, para incentivar o produtor rural a realizar a implantação desse sistema são necessárias algumas informações básicas sobre essas espécies florestais, como a sua capacidade de crescimento, os ciclos de corte esperados e o volume de madeira que pode ser obtido a partir desses ciclos de exploração (ELIAS; SANTOS, 2016).

A ausência dessas informações detalhadas acaba despertando o maior interesse dos produtores rurais por plantios de espécies exóticas, devido a maior disponibilidade de conhecimento sobre essas espécies (PLATH et al., 2011; BESSÃO et al., 2013). Por exemplo, cerca de 98% das plantações florestais no Brasil voltadas para a produção de madeira são de espécies exóticas, principalmente eucalipto (77%) e pinus (18%) (IBÁ, 2021).

Amorim et al. (2012), ao avaliarem áreas de reflorestamento no estado do Rio de Janeiro, observaram que 98% era ocupada por eucalipto e que este grupo de espécies era responsável por quase dois milhões de metros cúbicos de madeira do estado. Outros exemplos de estudos voltados para o uso de espécies plantadas em plantios florestais em áreas de recomposição florestal podem ser verificados em Sperandio et al. (2012), Brancalion et al. (2012), Silva (2016), Ferreira et al. (2017) e Paiva Filho et al. (2018).

Esse incentivo e desenvolvimento silvicultural restrito ao cultivo de espécies exóticas não só subestima o potencial de mercado de espécies nativas, quanto limita a sua conservação e o resgate genético, uma vez que muitas dessas espécies são raras em áreas rurais devido à constante exploração irracional nas últimas décadas, o que desencadeou a sua extinção em muitos locais (CARNEIRO et al., 2017).

Em cenários onde se exige que parte da implantação florestal seja de espécies nativas, como no caso da Reserva Legal, a exploração de produtos florestais torna-se uma

alternativa importante por oferecer segurança econômica aos produtores rurais ao mesmo tempo em que favorece o objetivo principal da restauração do ecossistema (BRANCALION et al., 2012; FAO, 2015).

O plantio dessas espécies torna-se ainda mais atrativo para o produtor rural quando associada a rendimentos gerados por programas de pagamento por serviços ambientais (BRANCALION et al., 2012; CHAZDON; GUARIGUATA, 2016; ANDRAE; SCHNEIDER; DURLO, 2018), manejo e colheita dos produtos florestais não madeireiros (FAO, 2015; ELIAS; SANTOS, 2016), bem como pela adoção de Sistemas Agroflorestais (PINTO; BERNARDES; SPAROVEK, 2003; FEISTAUER et al., 2017), gerando renda, reduzindo custos com o manejo, oferecendo usos múltiplos da floresta e superando obstáculos ambientais e socioeconômicos nessa fase de transição de uma área aberta para floresta (PEREIRA et al., 2012; SANGALLI; SCHLINDWEIN; STURZA, 2017).

Para melhor aproveitamento das características edafoclimáticas favoráveis e do potencial de muitas espécies nativas para a silvicultura, é imprescindível que se conheça o comportamento silvicultural dessas espécies em plantios experimentais (MENDONÇA, 2017). Além disso, há necessidade da análise do crescimento para uma idade definida, a qual serve também como ferramenta na avaliação do desenvolvimento em altura, diâmetro, volume, área basal e produtividade (MILANI, 2013).

Cabe destacar que, embora envolva custos adicionais, a prática de tratamentos silviculturais (desrama, por exemplo) pode contribuir para o aumento no incremento médio anual dos indivíduos ao longo do seu crescimento, melhorar a forma das árvores e, assim, aumentar a rentabilidade da exploração desses plantios (MONTAGNINI; PIOTTO 2011; OLIVEIRA et al., 2020).

Nesse contexto, a implantação florestal de espécies nativas com potencial econômico pode agregar valor às áreas de Reserva Legal, aumentando a renda da propriedade e trazendo retorno do capital investido pelo produtor, além de reduzir a pressão do desmatamento em florestas naturais. Em alguns casos, investimentos como esse apresentam maiores retornos financeiros ao produtor rural que a própria atividade principal da propriedade (RODRIGUES et al., 2009).

Segundo Rolim et al., (2020), no relatório técnico do World Resources Institute (WRI) Brasil, entre as diversas espécies nativas que apresentam bom potencial para silvicultura, pode-se citar *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, *Schizolobium*

parahyba var. *parahyba*, *Hymenaea courbaril*, *Cordia trichotomae* *Zeyheria tuberculosa*.

No entanto, a carência de conhecimentos técnico-científicos sobre o potencial das espécies nativas em áreas de Reserva Legal é um dos principais gargalos enfrentados para a sua aplicação em larga escala. Diante disso, novos métodos e modelos de restauração florestal devem ser explorados a fim de buscar um maior conhecimento dos aspectos silviculturais das espécies a serem utilizadas visando potencializar a exploração sustentável da Reserva Legal.

2.2.1 *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (paricá) e *Schizolobium parahyba* var. *parahyba* (guapuruvu)

O paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*), da família Caesalpinaceae, nativa da Amazônia possui crescimento rápido, porte elevado (20 a 30 m de altura), tronco de até 1 m de diâmetro e madeira com superfície sedosa e lisa, sendo muito utilizado na fabricação de forros, palitos e papel (TRINDADE et al., 1999). Segundo Costa e Menezzi, (2017) o *S. parahyba* var. *amazonicum* é muito cultivado na região norte do Brasil para produção de folheados laminados, para a fabricação de compensados, e também na restauração florestal para recuperar áreas alteradas pela agricultura e pecuária.

Vidaurre et al. (2018) relatam que a madeira de *S. parahyba* var. *amazonicum* apresenta uma grande vantagem pela facilidade em relação à remoção da casca, laminação, secagem, prensagem e excelente acabamento. Segundo Carvalho (2007), em algumas regiões do Pará, reflorestamentos em torno de seis anos de idade atingiram produção volumétrica de 38 m³/ha/ano.

Comparando a madeira de *S. parahyba* var. *amazonicum*, classificada visualmente, com a madeira das espécies exóticas de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, Almeida et al. (2013) observaram que a variedade amazônica possui menor incidência de nós, o que aumenta o rendimento de folhas de boa qualidade. Essas vantagens motivaram um aumento das plantações comerciais desta espécie, atingindo uma área de 90.047 ha em 2016 (IBÁ, 2021).

Em geral, a sua produtividade média anual é na faixa de 20 a 30 m³/ha/ano, estando na mesma faixa de crescimento das espécies de pinus (*Pinus taeda*) que é de 25

a 30 m³/ha/ano, e superior à teca (*Tectona grandis*) com 15 a 20 m³/ha/ano (IWAKIRI et al., 2010). Diante disso, devido à facilidade na produção, ao excelente ritmo de crescimento e ao bom índice de estabelecimento no campo, o *S. parahyba* var. *amazonicum* reúne boas qualidades silviculturais, justificando o seu emprego em áreas de recomposição florestal.

O *Schizolobium parahyba* var. *parahyba*, mais conhecido como guapuruvu, típico do bioma Mata Atlântica, tem sido apontado como uma variedade mais tolerante à seca do que *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*, apesar de não existirem dados experimentais que demonstrem esse fato (CARVALHO, 2005). Assim como o *S. parahyba* var. *amazonicum*, apresenta crescimento rápido, boa produtividade e é bastante utilizado em sistemas silvipastoris, o que aumenta sua viabilidade econômica (MANESCHY; SANTANA; VEIGA, 2009).

Relacionado ao seu potencial madeireiro, o *S. parahyba* var. *parahyba* apresenta madeira leve e macia, com densidade básica em torno de 0,27 g.cm⁻³, sendo muito empregado na fabricação de móveis, formas de concreto, caixotaria pesada e leve, confecção de chapa compensada, caixas, forros, pranchetas, palitos e canoas, além de outros usos (CARVALHO, 2005). De acordo com Paula e Alves (1997), a madeira de *S. parahyba* var. *parahyba* é adequada para confecção de aeromodelos, brinquedos, bem como para produção de papel.

Ao avaliar a produção de chapas de partículas de madeira de duas espécies nativas da Mata Atlântica, entre elas o *S. parahyba* var. *parahyba*, Vidaurre et al. (2004) constataram que, tanto em plantio puro, quanto em plantio misto, a espécie apresentou elevado potencial para a produção de painéis OSB e que a mesma pode apresentar performances similares aos produzidos pelas indústrias canadenses e americanas de OSB (MALONEY, 1993).

Nisgoski et al. (2012), com o objetivo de avaliar a variação radial dos elementos celulares e as características das fibras do *S. parahyba* var. *parahyba*, constataram características anatômicas adequadas para a produção de celulose e papel, sendo necessários estudos práticos e de viabilidade econômica, por se tratar de uma espécie nativa de rápido crescimento. Já Narita et al. (2018), ao avaliarem a granulometria dos briquetes sob os aspectos de estabilidade, densidade, resistência mecânica e friabilidade,

verificaram que *S. parahyba* var. *parahyba* pode ser uma ótima alternativa para a produção de biocombustível sólido e para outros fins energéticos.

2.2.2 *Hymenaea courbaril* (jatobá)

O jatobá (*Hymenaea courbaril*), da família Fabaceae é uma espécie secundária tardia ou clímax exigente em luz (OLIVEIRA et al., 2011). Possui elevado potencial de absorção de carbono e é encontrada na maioria dos estados brasileiros, em áreas antrópicas, Caatinga, Cerrado, Floresta de Terra Firme, Floresta Ombrófila (Floresta Pluvial), mais frequentemente em solos argilosos e pobres e em altitudes de até 900 m acima do nível do mar (SHANLEY; MEDINA, 2005).

H. courbaril pode medir de 30 a 45 m de altura, e seu tronco, cerca de 2 m de diâmetro com casca lisa, coloração cinza ou castanho-acinzentada. O sistema radicular é robusto e superficial. As folhas são pecioladas, bifoliadas e com disposição alterna (SHANLEY; MEDINA, 2005).

A principal utilização econômica é a madeira que está entre as mais valiosas e mais intensamente exploradas na Amazônia brasileira (LACERDA et al., 2008). *H. courbaril* enquadra-se em duas categorias de recursos genéticos florestais importantes para a conservação *in situ*, o de espécie arbórea de interesse econômico e o de espécie de importância para a sustentabilidade do ecossistema (FAO, 2010).

A polpa farinácea dos frutos é utilizada na alimentação humana (BEZERRA et al., 2013), a resina que exsuda do seu tronco serve para fabricação de vernizes (CARVALHO, 2003) e ainda é usada na medicina natural como remédio para problemas respiratórios (BEZERRA et al., 2013). A espécie também apresenta grande potencial melífero, paisagístico urbano e na recuperação de áreas degradadas (LORENZI, 2008).

A espécie apresenta madeira de ótima qualidade, alta densidade básica ($0,96 \text{ g.cm}^{-3}$), muito dura ao corte, de média resistência ao ataque de organismos xilófagos sob condições naturais e empregadas na construção civil e naval na forma serrada ou roliça (MACÊDO; SOUZA; POMPEU NETO, 2012). Ressalta-se ainda, a sua aplicação em pisos maciços, com elevado valor agregado (KLITZKE et al., 2008).

O comportamento silvicultural desta espécie é melhor em plantios mistos, portanto, o plantio de enriquecimento tem se mostrado boa alternativa (ZUBA JUNIOR

et al., 2010). Carvalho (2003) reforçou a importância do plantio de *H. courbaril* consorciado com outra espécie de rápido crescimento, já que em ambiente sombreado, a competição por luz proveniente do dossel estimula a planta ao crescimento em altura, formando melhores formas de fustes.

Silva (2014) ressalta que o crescimento do *H. courbaril* pode ser potencializado através de intervenções silviculturais e manejo adequado para a melhor qualidade do fuste produzido. Já Carvalho (2003), indica que a desrama natural do *H. courbaril* é deficiente, exigindo podas frequentes de condução dos galhos para o aumento da altura comercial e do incremento diamétrico.

2.2.3 *Cordia trichotoma* (louro pardo)

O louro-pardo (*Cordia trichotoma*) é uma espécie florestal nativa, da família Boraginaceae que pode alcançar até 35 m de altura, com tronco reto e cilíndrico, dando fustes de 10 a 20 m de altura (SCHEEREN et al., 2002). Segundo Roman, Bressan e Durlo (2009), os valores da altura comercial de fuste para o *C. trichotoma* mostram-se semelhantes ao de outras espécies nativas, com uma média de aproveitamento de duas toras comerciáveis por fuste.

A espécie apresenta uma combinação de aspectos importantes, como rápido crescimento inicial, boa forma, sem a tendência de ramificar-se em sentido lateral, madeira de excelente qualidade apreciada nos mercados interno e externo, frutificação abundante e regeneração natural vigorosa (CARVALHO, 2003). Para Brack e Grings (2011), *C. trichotoma* é uma das espécies florestais de maior interesse social, ecológico e econômico, apresentando-se como uma boa alternativa para áreas destinadas à agricultura e à conservação, como a Reserva Legal.

Por sua forma e arquitetura de copa, a *C. trichotoma* é indicada para uso em diferentes modalidades de Sistemas Agroflorestais, na arborização de culturas anuais e pastagens, na proteção de culturas perenes, como café, citrus e erva-mate (BAGGIO et al., 2011). A espécie apresenta ainda qualidades ornamentais e pode ser utilizada no paisagismo em geral (LORENZI, 2002).

C. trichotoma é uma espécie bastante promissora para o emprego em reflorestamentos puros ou mistos, devido à sua grande aceitabilidade da madeira no

mercado (CARVALHO, 2003). A massa específica aparente da madeira é classificada como média, entre 0,57 a 0,78 g.cm⁻³, a 15% de umidade, com fácil trabalhabilidade, recebendo bom acabamento e interessante valor comercial por suas boas propriedades físicas e mecânicas. (SCHEEREN; SCHNEIDER; FINGER, 2002).

A sua madeira é empregada amplamente na confecção de mobiliário, para revestimentos decorativos e na fabricação de portas e janelas, embarcações, tonéis, caixilhos, entre outros (CARVALHO, 2003). Além disso, segundo Walker (1993) e Trianoski e Iwakiri (2018), a espécie apresenta densidade da madeira média, além de estabilidade dimensional e resistência mecânica, características imprescindíveis ao processo de laminação para produção de painéis compensados.

Segundo o Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais - IPEF (2022), os melhores incrementos volumétricos registrados em plantios com esta espécie são de 9,65 m³/ha/ano aos cinco anos de idade, usando espaçamento médio de 2 x 3 m. Para Faganello et al. (2015), em solos bem manejados de média a alta fertilidade, pode-se esperar, com o primeiro corte estimado do *C. trichotoma* aos 15 anos, uma produtividade volumétrica superior a 20 m³ ha/ano.

2.2.4 *Zeyheria tuberculosa* (ipê felpudo)

O ipê felpudo (*Zeyheria tuberculosa*) é uma espécie florestal nativa do Brasil, da família Bignoniaceae que apresenta folhas largas (50 a 90 cm de comprimento em mudas e 30 a 40 cm em árvores) e crescimento monopodial (formando fuste até 2/3 da altura total da árvore), podendo ser incluída em monocultivo ou intercalada com outras espécies, tanto em Sistemas Agroflorestais, como em Sistemas Agrossilvipastoris (CARVALHO, 2003). A exuberância durante o florescimento faz com que muitas espécies de Bignoniaceae sejam utilizadas no paisagismo e arborização urbana (CHAGAS; CARVALHO; MANSANARES, 2010).

É uma espécie com potencial madeireiro, ornamental e para recuperação de áreas degradadas, podendo atingir de 15 a 23 m de altura e 40 a 60 cm de diâmetro em sua fase adulta, com tronco reto e casca grossa cinza a pardo-amarelada (PAGANO; MARIA, 2010). Pelas suas excelentes propriedades silviculturais é muito utilizada em construções (estruturas de casas e telhados, pisos, paredes de tábuas, pontes) e atividades

agropecuárias (cercas, moirões, postes, currais, paióis, cabos de ferramentas) (CHAGAS; CARVALHO; MANSANARES, 2010).

Não é muito comum encontrar na literatura estudos de avaliação silvicultural de espécies nativas da Mata Atlântica e quando são publicados, geralmente se referem a levantamentos florísticos e fitossociológicos e a componentes químicos de suas estruturas. Entretanto, alguns estudos destacaram as características silviculturais do *Z. tuberculosa*, quanto à sua forma de fuste retilíneo, o que favorece a utilização da sua madeira em serraria (CARNEIRO et al., 2017) e o incremento médio anual volumétrico variando de 5,65 a 24,00 m³/ha/ano e DAP médio variando de 15,1 a 22,4 cm (CARVALHO, 2009).

Z. tuberculosa apresenta ainda apresentar alguns recursos, como brotar da talhadia após cortes sucessivos da madeira em diferentes idades e comportamento caducifólio em determinadas épocas do ano, podendo contribuir para agroecossistemas mais sustentáveis (DUARTE et al., 2013). Esta diversificação pode contribuir para a manutenção de diferentes serviços ecossistêmicos pelo incremento de serrapilheira e matéria orgânica do solo na maior parte do ano, resultando em potenciais melhorias nos aspectos físicos, químicos e qualidade biológica do solo e, conseqüentemente, nas interações ecológicas para fins de restauração florestal (PAGANO; MARIA, 2010).

O conhecimento da decomposição e dinâmica de liberação dos nutrientes das espécies pode contribuir para a tomada de decisão pelo produtor rural no estabelecimento e ampliação de estratégias de manejo sustentável em sistemas agroflorestais, como permite organizar melhor os modelos espaciais, onde espécies que produzem material orgânico mais lento em decomposição (melhor proteção do solo e formação de matéria orgânica) podem ser combinadas com espécies que produzem material orgânico de decomposição mais rápida (mais rápida liberação de nutrientes).

Para o desenvolvimento da silvicultura dessa e de outras espécies nativas, são fundamentais estudos de técnicas silviculturais, melhoramento genético e tecnologia da madeira (CARNEIRO et al., 2017). Diante disso, novos métodos e modelos de restauração florestal devem ser explorados para garantir que as espécies florestais nativas sejam atrativas aos produtores rurais (PLATH et al., 2011).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. H. et al. Full characterization of strength properties of *Schizolobium amazonicum* Wood for timber structures. **International Journal of Engineering & Technology**, Amã, v. 13, n. 6, p. 93-96, 2013.
- AMORIM, H. B. et al. Estimate of the area occupied by reforestation programs in Rio de Janeiro state. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 27-32, 2012.
- ANDRAE, F. H.; SCHNEIDER, P. R.; DURLO, M. A. Importância do manejo de florestas nativas para a renda da propriedade e abastecimento do mercado madeireiro. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 3, p. 1293-1302, 2018.
- BAGGIO, A. J. et al. **Produção do componente arbóreo no sistema agroflorestal da erva-mate em Machadinho, RS**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 13 p.
- BESSÃO, G. et al. Uso de espécies nativas e exóticas na restauração de matas ciliares no estado de São Paulo (1957-2008). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 599-609, 2013.
- BEZERRA, G. P. et al. Phytochemical study guided by the myorelaxant activity of the crude extract, fractions and constituent from stem bark of *Hymenaea courbaril* L. **Journal of Ethnopharmacology**, Country Clare, v. 149, n. 1, p. 62-69, 2013.
- BRACK, P.; GRINGS, M. **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro- Região Sul**. Brasília, MMA, 2011. 936 p.
- BRANCALION, P. H. S. et al. Finding the money for tropical forest restoration. **Unasyuva**, Roma, v. 63, n. 239, p. 25-34, 2012.
- BRANCALION, P. H. S.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. **Restauração Florestal**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 432 p.
- BRASIL. **Lei n. 12.651, de 12 de Maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acesso em: 11 jan. 2022.
- BRASIL. **Portal Nacional da Gestão Florestal**. Manejo Florestal. Brasília. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/pngf/manejo-florestal/apresentacao>. Acesso em: 11 jan. 2022.
- BRIENZA JUNIOR, S. et al. **Recuperação de áreas degradadas com base em sistema de produção florestal energético-madeireiro: indicadores de custos, produtividade e renda**. Embrapa Amazônia Oriental-Artigo em periódico indexado, 2008.

CALVO-ALVARADO, J. C.; ARIAS, D.; RICHTER, D. D. Early growth performance of native and introduced fast growing tree species in wet to sub-humid climates of the Southern region of Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 242, n. 2-3, p. 227–235, 2007.

CARNEIRO, G. et al. Avaliação silvicultural de dez espécies nativas da mata atlântica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 277-290, 2017.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. v. 1, 1.093 p.

CARVALHO, C. J. R. Respostas de plantas de *Schizolobium amazonicum* (*S. parahyba* var. *amazonicum*) e *Schizolobium parahyba* (*Schizolobium parahybum*) à deficiência hídrica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 907-914, 2005.

CARVALHO, P. E. R. **Paricá: *Schizolobium amazonicum***. Colombo: Embrapa, 2007. 8 p.

CARVALHEIRO, L. G. et al. Natural and within-farmland biodiversity enhances crop productivity. **Ecology letters**, Oxford, v. 14, n. 3, p. 251-259, 2011.

CASTRO, D. S. A. A instituição da reserva legal no código florestal brasileiro: fundamentos histórico-conceituais. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 26, p. 132-154, 2013.

CHAGAS, J. M. D.; CARVALHO, D. A. D.; MANSANARES, M. E. A família Bignoniáceae Juss. (Ipês) no município de Lavras, Minas Gerais. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 517-529, 2010.

CHAZDON, R. L. Beyond deforestation: restoring forests and ecosystem services on degraded lands. **Science**, Washington, v. 320, n. 5882, p. 1458-60, 2008

CHAZDON, R. L.; GUARIGUATA, M. R. Natural regeneration as a tool for large-scale forest restoration in the tropics: prospects and challenges. **Biotropica**, New York, v. 48, n. 6, p. 716-730, 2016.

COSTA, M. D. A.; MENEZZI, C. H. S. D. Effect of thermo-mechanical treatment on properties of parica plywoods (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 41, n. 1, 2017.

DELALIBERA, H. C. et al. Alocação de reserva legal em propriedades rurais: do cartesiano ao holístico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 3, p. 286-292, 2008.

DOMINGUES, M. S.; BERMANN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & sociedade**, Campinas v. 15, n. 2, p. 1-22, 2012.

DOUCET, J. L., et al. Enrichment of logging gaps with moabi (*Baillonella toxisperma* Pierre) in a Central African rain forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 258, n. 11, p. 2407-2415, 2009.

DUARTE, E. M. et al. Decomposition and nutrient release in leaves of Atlantic Rainforest tree species used in agroforestry systems. **Agroforestry systems**, Nova Zelândia, v. 87, n. 4, p. 835-847, 2013.

ELIAS, G. A.; SANTOS, R. D. Non-timber forest products and sustainable exploration potential in a tropical rain forest in Santa Catarina state, Brazil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 249-262, 2016.

FAGANELLO, L. R. et al. Efeito dos ácidos indolbutírico e naftalenoacético no enraizamento de estacas semilenhosas de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 4, p. 863-871, 2015.

FAO. **Global Forest Resources Assessment: Main Report**. Roma: FAO, 2010. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 11 jan. 2022.

FAO. **Global Forest Resources Assessment: Main Report**. Roma: FAO, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 11 jan. 2022.

FASIABEN, M. D. C. R. et al. Impacto econômico da reserva legal sobre diferentes tipos de unidades de produção agropecuária. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 49, n. 4, p. 1051-1096, 2011.

FEISTAUER, D. et al. Using indicators based on Brazilian environmental laws for analysis of family farms in the amazon region. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 249-262, 2017.

FERREIRA, P. L. et al. Potencial de fragmentos florestais inseridos dentro de floresta de exóticas para a restauração da floresta com araucárias. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 3, p. 1049-1060, 2017.

FROUFE, L. C. M.; SEOANE, C. E. S. Levantamento fitossociológico comparativo entre sistema agroflorestal multiestrato e capoeiras como ferramenta para a execução da reserva legal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 67, p. 203, 2011.

GODINHO, T. D. O.; DA SILVA, N. B.; MOREIRA, S. O. Crescimento de espécies florestais da Mata Atlântica produtoras de produtos florestais madeireiros e PFNM. **Revista Univap**, São José dos Campos, v. 22, n. 40, p. 175, 2016.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Sumário Executivo 2021**. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2021.

IPEF - Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais, Brasil. **Identificação de Espécies Florestais**. Disponível em: <<https://www.ipef.br/identificacao/>>. Acesso em: 11 jan. 2022.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis laminados unidirecionais-LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 557-563, 2010.

JACOVINE, L. A. G. et al. Quantificação das áreas de preservação permanente e de reserva legal em propriedades da bacia do Rio Pomba-MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 2, p. 269-278, 2008.

KEEFE, K.; ALAVALAPATI, J. A. A.; PINHEIRO, C. Is enrichment planting worth its costs? A financial cost-benefit analysis. **Forest Policy and Economics**, Joensuu, v. 23, p. 10–16, 2012.

KELTY, M. J. The role of species mixtures in plantation forestry. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, n. 2–3, p. 195–204, 2006.

KLITZKE, R. J. et al. Caracterização dos lenhos de cerne, alburno e transição de jatobá (*Hymenaea* sp.) visando ao agrupamento para fins de secagem convencional. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 279-284, 2008.

LACERDA, A. E. B. et al. Effects of reduced impact logging on genetic diversity and spatial genetic structure of a *Hymenaea courbaril* population in the Brazilian Amazon Forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 255, p. 1034-1043, 2008.

LAMB, D.; ERSKINE, P.; PARROTTA, J. Restoration of Degraded Tropical Forest Landscapes. **Science**, Washington, v. 310, n. 5754, p. 1628–1632, 2005.

LHOTKA, J. M.; LOEWENSTEIN, E. F. An individual-tree diameter growth model for managed uneven-aged oakshortleaf pine stands in the Ozark Highlands of Missouri, USA. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n. 3, p. 770- 778, 2011.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 4. ed. São Paulo, SP: Nova Odessa, Instituto Plantarum, 2002. v. 1, 367 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. v. 1, 352 p.

MACÊDO, A. N.; SOUZA, A. A. C. E.; POMPEU NETO, B. B. Chapas de cimento-madeira com resíduos da indústria madeireira da Região Amazônica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 131-150, 2012.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard e dry-process fiberboard manufacturing**. 2.ed. São Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.

MANESCHY, R. Q.; SANTANA, A. C.; VEIGA, J. B. Viabilidade Econômica de Sistemas Silvopastoris com *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* e *Tectona grandis* no Pará. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 60, p. 49, 2009.

MENDONÇA, G. C. D. et al. Avaliação silvicultural de dez espécies nativas da Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 277-290, 2017.

MILANI, E. J.; SCHNEIDER, P. R.; CUNHA, T. A. D. Crescimento em diâmetro de árvores de *Podocarpus lambertii* em duas regiões fitogeográficas no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 443-448, 2013.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Manejo Florestal Sustentável**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/florestas/manejo-florestal-sustentavel>>. Acesso em: 10 de jan. 2022.

MONTAGNINI, F.; PIOTTO, D. Mixed plantations of native trees on abandoned pastures: restoring productivity, ecosystem properties, and services on a humid tropical site. In: **Silviculture in the Tropics**. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011. p. 501-511.

NARITA, D. K. et al. Uso do guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) para fins energéticos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 758-764, 2018.

NISGOSKI, S. et al. Wood anatomical characteristics and paper resistance index of *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake from experimental plant. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 203-211, 2012.

OLIVEIRA, W. L. et al. Regeneração e estrutura populacional de jatobá-da-mata (*Hymenaea courbaril* L.), em dois fragmentos com diferentes graus de perturbação antrópica. **Acta Botanica Brasilica**, Brasília, v. 25, n. 4, p. 876-884, 2011.

OLIVEIRA, F. M. et al. Avaliação técnica e de custos de poda manual e semimecanizada em plantios de *Pinus taeda*. **Floresta**, Viçosa, v. 42, n. 4, p. 691-700, 2012.

PAGANO, M. C.; MARIA, S. M. Effect of phosphorus fertilization on arbuscular mycorrhizal colonization of *Zeyheria tuberculosa* a native species in Brazil's forest. **Middle-East J Sci Res**, Washington, v. 6, n. 6, p. 604-11, 2010.

PAIVA FILHO, J. C. D. et al. Diagnosis of the use of wood as construction material in the city of Mossoró-RN/Brazil. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 3, 2018.

PAULA, J. E.; ALVES, J. L. H. **Madeiras nativas: anatomia, dendrologia, dendrometria, produção, uso**. Brasília: Fundação Mokiti Okada, 1997. 541 p.

PARDINI, R. et al. Beyond the fragmentation threshold hypothesis: regime shifts in biodiversity across fragmented landscapes. **PloS one**, Califórnia v. 5, n. 10, p. e13666, 2010.

PEREIRA, Z. V. et al. Usos múltiplos de espécies nativas do bioma Cerrado no Assentamento Lagoa Grande, Dourados, Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Dois Vizinhos, v. 7, n. 2, p. 126-136, 2012.

PINTO, L. F. G.; BERNARDES, M. S.; SPAROVEK, G. Feasibility of cultivation of sugarcane in agroforestry systems. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 3, p. 489-493, 2003.

PLATH, M. et al. Establishment of native tropical timber trees in monoculture and mixed-species plantations: Small-scale effects on tree performance and insect herbivory. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 261, n. 3, p. 741-750, 2011.

PRYDE, E. C. et al. Conservation of tropical forest tree species in a native timber plantation landscape. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 339, p. 96-104, 2015.

RODRIGUES, R. R. et al. On the restoration of high diversity forests: 30 years of experience in the Brazilian Atlantic Forest. **Biological conservation**, Amsterdam, v. 142, n. 6, p. 1242-1251, 2009.

ROLIM, S. G. et al. **Prioridades e lacunas de pesquisa e desenvolvimento em silvicultura de espécies nativas no Brasil**. WorkingPaper. São Paulo, Brasil: WRI Brasil, 2020. Disponível em <https://wribrasil.org.br/pt/publicacoes>. Acesso em: 10 jan.2022.

ROMAN, M.; BRESSAN, D. A.; DURLO, M. A. Variáveis morfométricas e relações interdimensionais para *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 473-480, 2009.

RONDON NETO, R. M. et al. Enriquecimento da floresta secundária com cedro-rosa (*Cedrela odorata* L.) e sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.), em Alta Floresta (MT). **Revista Ambientia**, Guarapuava, v. 7, n. 1, p. 103-109, 2011.

SANGALLI, A. R.; SCHLINDWEIN, M. M.; STURZA, J. A. I. Ações de pesquisa e extensão como perspectiva de mudança da paisagem no assentamento rural lagoa grande, em dourados, Mato Grosso do Sul. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 39, p. 92-110, 2017.

SANTIAGO, T. M. O.; REZENDE, J. L. P. D.; BORGES, L. A. C. The legal reserve: historical basis for the understanding and analysis of this instrument. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 47, n. 2, 2017.

SCHEEREN, L. W.; SCHNEIDER, P. S. P.; FINGER, C. A. G. Crescimento do Louro-Pardo, *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. Ex Steud., na depressão central do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 169-176, 2002.

SHANLEY, P.; MEDINA, G. **Frutíferas e plantas úteis na vida Amazônica**. Belém: Cifor, 2005. 300 p

SILVA, S. M. M. et al. Parâmetros genéticos para a conservação de *Hymenaea courbaril* L. na Amazônia sul-ocidental. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 87-95, 2014.

SILVA, K. A. et al. Restauração florestal de uma mina de bauxita: Avaliação do desenvolvimento das espécies arbóreas plantadas. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 23, n. 3, p. 309-319, 2016.

SPAROVEK, G. et al. The revision of the Brazilian Forest Act: increased deforestation or a historic step towards balancing agricultural development and nature conservation? **Environmental Science & Policy**, Amsterdam, v. 16, p. 65-72, 2012.

SPERANDIO, H. V. et al. Emprego da serapilheira acumulada na avaliação de sistemas de restauração florestal em Alegre-ES. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 4, p. 460-467, 2012.

TRIANOSKI, R.; IWAKIRI, S. Pure and Decorative Plywood Panels from *Cordia trichotoma* and *Grevillea robusta*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 25, n. 3, 2018.

TRINDADE, D. R. et al. Black crust (*Phyllachora schizolobiicola* subsp. *schizolobiicola*) on *Schizolobium amazonicum* in Brazil. **Fitopatologia brasileira**, Brasília, v. 24, n. 2, p. 194, 1999.

VIDAURRE, G. B. et al. Produção de chapas de partículas de madeira de duas espécies nativas da Mata Atlântica e suas combinações. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 1, p. 235-242, 2004.

VIDAURRE, G. B. et al. Anatomical and chemical properties of juvenile *Schizolobium amazonicum* WOOD. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 42, n. 3, 2018.

WALKER, J. C. **Primary wood processing: principles and practice**. London: Chapman e Hall, 1993. 595 p.

ZUBA JUNIOR, G. R. et al. Crescimento do jatobá e de leguminosas arbóreas em diferentes espaçamentos, em área degradada. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 4, p. 63-68, 2010.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1 - USO DE MODELOS DE EFEITO MISTO NA ANÁLISE DO CRESCIMENTO DE ONZE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS

RESUMO

A análise do crescimento das árvores é de suma importância no setor florestal, uma vez que permite definir a seleção de espécies para proteção e exploração, além de estimar ciclos de corte e prescrever tratamentos silviculturais. Características como a idade das árvores, associadas aos dados de crescimento, são utilizadas com frequência como variáveis preditoras. Entretanto, a efetividade desses tipos de variáveis na modelagem do crescimento de espécies nativas ainda é pouco conhecida. O presente trabalho analisou o emprego de três modelos lineares de efeito misto na predição do incremento corrente anual (ICA) em DAP, de onze espécies florestais nativas, em função da idade em um povoamento misto equiâneo. Os três modelos apresentaram, de forma geral, ótimos desempenhos, entretanto, o Modelo 2 – MEM - Spurr foi inferior aos demais. *S. parahyba* e *G. ulmifolia* apresentaram o maiores incrementos em DAP ao longo dos três anos de idade, enquanto, *A. peregrina* e *J. princeps* apresentaram os menores. Os modelos mistos mostram-se bastante eficazes na modelagem do crescimento das espécies florestais nativas, portanto, a aplicação desse método tem um potencial bastante promissor, sobretudo nos sistemas de predição e projeção para fins de planejamento florestal sustentável.

Palavras-chave: Modelagem, Modelos de crescimento; Aspectos silviculturais.

ABSTRACT

The analysis of tree growth is crucial in the forestry sector, as it allows for defining the selection of species for protection and exploitation, in addition to estimating cutting cycles and prescribing silvicultural treatments. Characteristics such as the age of trees, associated with growth data, are often used as predictor variables. However, the effectiveness of these types of variables in modeling the growth of native species is still poorly understood. The present work analyzed the use of three linear mixed-effect models in the prediction of the current annual increment (CAI) in DBH, of eleven native forest species, as a function of the even-aged mixed stand. The three models presented, in general, excellent performances, however, Model 2 – MEM - Spurr was inferior to the others. *S. parahyba* and *G. ulmifolia* showed the highest increases in DBH over three years of age, while *A. peregrina* and *J. princeps* showed the smallest. The combined models are shown to be quite simulated in the modeling of the implementation model of species that have promising potential, especially in the planning methods of this sustainable forestry planning.

Keywords: Modeling, Growth models; Silvicultural aspects.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, o Brasil se consolidou como um dos maiores geradores e consumidores mundiais de produtos de origem florestal (IBÁ, 2021). Essa demanda é suprida, em parte, por madeira de espécies exóticas do gênero *Eucalyptus* e *Pinus*, cujas técnicas silviculturais já estão consolidadas (EVANS; TURNBULL, 2004). No entanto, o plantio com espécies nativas surge como ótima alternativa para a produção de madeira, além de possibilitar vários serviços ambientais, como o sequestro de carbono atmosférico, a conservação do solo e água, a manutenção da biodiversidade e o retorno econômico direto para os produtores rurais, inclusive aqueles menos capitalizados (LAMB, 2014).

Tal fato decorre do aumento gradativo da demanda por madeira e benefícios ecológicos. Assim, avaliar o comportamento silvicultural de algumas espécies florestais nativas é fundamental para definir quais espécies apresentam maior potencial em plantios florestais (BRANCALION et al., 2012; LHOTKA, 2017; STOLARSKI et al., 2018).

Entre os estudos já realizados sobre silvicultura de espécies nativas, como *Cordia trichotoma*, *Zeyheria tuberculosa*, *Peltophorum dubium*, dentre outras, pode-se citar os trabalhos de Santos et al. (2017), Mendonça et al. (2017), Bertolini, Brun e Debastiani (2015). Porém, ainda são poucos os estudos que apresentam bases de dados confiáveis, sendo necessários estudos sobre métodos mais efetivos para gerar as predições do ritmo de crescimento de árvores.

Os modelos de crescimento em diâmetro e altura são importantes para prever o incremento e dinâmica do crescimento (LHOTKA; LOEWENSTEIN, 2011; TIMILSINA; STAUDHAMMER, 2013; CUNHA et al., 2016) e, conseqüentemente, são utilizados para obter variáveis importantes na sua produção final. Esses estudos de incremento e dinâmica do crescimento fornecem informações sobre a idade da árvore, da dinâmica florestal, dos impactos e associações do crescimento das espécies com o clima (HESS; RICKEN; CIARNOSCHI, 2018).

Nesse sentido, o modelo misto é considerado uma alternativa promissora, pois possibilita incluir, na estrutura de seu ajuste, um conjunto de variáveis não observáveis, denominado de efeitos aleatórios, junto às variáveis observáveis, denominadas de efeitos fixos (PINHEIRO; BATES, 2000). Tal metodologia se mostra bastante flexível e de maior precisão, sendo uma opção atraente para estimação do crescimento e produção

florestal, quando comparada com métodos que utilizam apenas os efeitos fixos nos modelos (CALEGARIO et al., 2004; GOUVEIA et al., 2015).

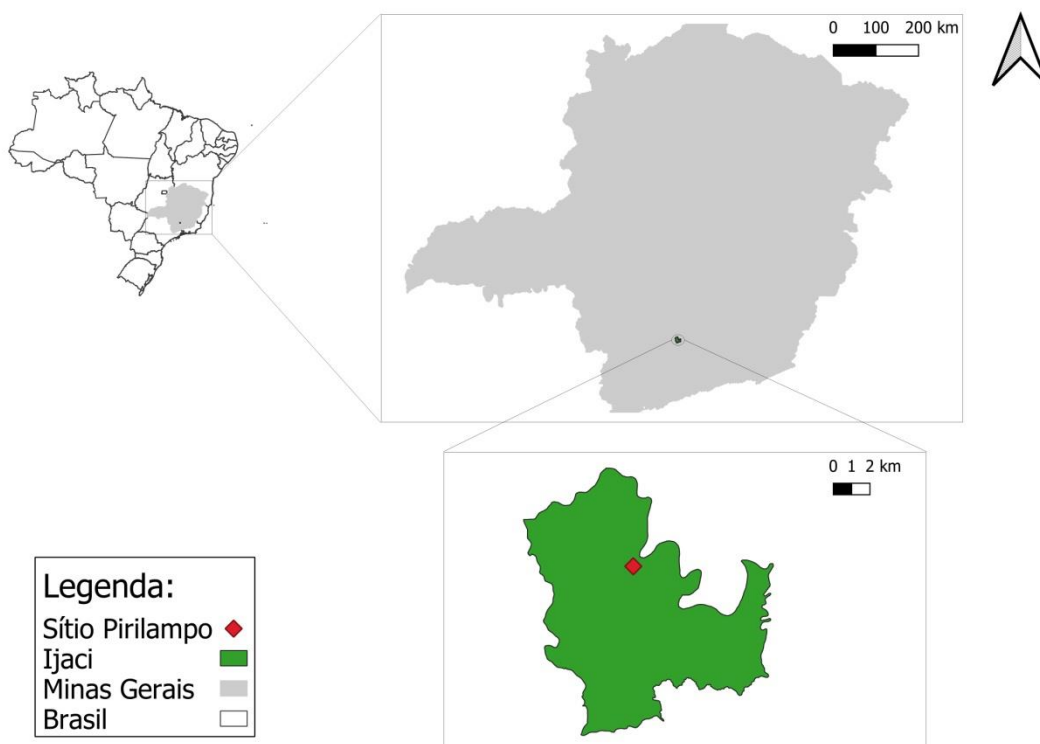
Pesquisas recentes têm apresentado bons resultados usando modelos de regressão lineares e não lineares mistos (MLM) (CAO et al., 2018; JIN et al., 2018; DANTAS et al., 2020; MIRANDA et al., 2022). Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o emprego de modelos lineares de efeitos mistos para estimar o incremento do crescimento em diâmetro de diferentes espécies florestais nativas em uma área no sudeste do Brasil, que corresponde a uma região ecotonal entre dois hotspots globais de biodiversidade, Cerrado e Mata Atlântica (MYERS et al., 2000).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

A base de dados é proveniente de uma área localizada no sítio Pirilampo, município de Ijaci, região ecotonal entre os domínios Cerrado e Mata Atlântica (MYERS et al., 2000), no estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil ($21^{\circ} 09' 26.60''\text{S}$ e $44^{\circ} 56' 07.15''\text{O}$, altitude média de 875 m) (Figura 1).

Figura 1 – Mapa da localização da área em Ijaci, Minas Gerais.



Fonte: Do autor (2022).

O solo da região é do tipo Latossolo Vermelho escuro. O clima é classificado como Cwb, de acordo com Koppen. A temperatura média anual é de 19,4 °C, variando entre 15,8 °C e 22,1 °C para os meses de julho e fevereiro, respectivamente, e com precipitação total anual de 1530 mm (ALVARES et al., 2013).

O controle de formigas foi e continua sendo realizado com iscas à base de sulfluramida, enquanto o controle das plantas daninhas foi e continua sendo realizado com capinas manuais, roçadas e coroamentos, sempre que necessário.

No sítio experimental, realizou-se a análise química do solo antes da realização do plantio, nas profundidades de 0 - 20 e 20- 40 centímetros. As amostras foram coletadas, embaladas, devidamente identificadas e encaminhadas para o Laboratório de Fertilidade e Física do Solo, do Departamento de Ciência do Solo, da Universidade Federal de Lavras, para análise química, cujos resultados podem ser verificados na tabela 1.

Tabela 1 - Análise química do solo da área experimental, nas profundidades de 0–20 e 20-40 cm.

Profundidade	pH	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al	V	Zn	Fe	B	Cu	B	S
		mg dm ⁻³			cmol dm ⁻³			%	mg dm ⁻³					
0-20 cm	6,4	128	2,6	3,5	1,5	0,04	3	64,4	2,6	-	0,08	1,23	0,08	-
20-40 cm	6,2	89	1,7	2,9	1,3	0,07	4,13	53,0	-	-	-	-	-	-

Fonte: Do autor (2022).

Anteriormente à realização do plantio, a área foi cultivada com a cultura do café. Neste período, a área foi manejada com o plantio de nabo forrageiro e posterior incorporação do material vegetal produzido, como adubo verde, visando uma prática conservacionista de proteção do solo

O experimento foi realizado em um povoamento misto equiâneo, destinado à recomposição de uma Reserva Legal produtiva, implantada em janeiro de 2018. Como preparo do solo, foi feita gradagem em área total, uma subsolagem em linha até 40 cm de profundidade, e adubação de plantio utilizando 150 g de superfosfato simples por cova.

O plantio foi realizado com cerca de 30 espécies florestais nativas, dentre elas onze espécies com potencial econômico, provenientes do Viveiro Florestal da Universidade Federal de Lavras (UFLA), sendo elas *Guazuma ulmifolia* (Gu), *Cordia trichotoma* (Ct), *Peltophorum dubium* (Pd), *Johannesia princeps* (Jp), *Aspidosperma parvifolium* (Ap), *Hymenaea courbaril* (Hc), *Myracrodruonur undeuva* (Mu), *Zeyheria tuberculosa* (Zt), *Schizolobium parahyba* (Sp), *Enterolobium contortisiliquum* (Ec) e *Anadenanthera peregrina* (Ape) e, com espaçamento de 3 x 1,5 m.

Ao final do 1º, 2º e 3º ano de idade, foram mensurados a altura (H) das árvores, com auxílio de régua graduada e o diâmetro à altura do solo (DAS), com auxílio de fita métrica. Foi calculado o incremento corrente anual (ICA) para DAP para cada período, considerando o valor de DAP, no momento do plantio, como 0,0 (Equação 1).

$$ICA = Y_2 - Y_1 \quad (\text{Equação 1})$$

Sendo, $Y_2 = \text{DAP final}$, e $Y_1 = \text{DAP inicial}$, ambos, considerando avaliações sucessivas de um ano para outro.

Modelagem do incremento corrente anual

Para a modelagem do incremento, optou-se pela utilização de modelos lineares de efeito misto, que incorporassem efeitos fixos e aleatórios preponderantes no crescimento da floresta. Inicialmente, para a modelagem do ICA, foram utilizadas como base os modelos de Husch, Spurr e Shumacher & Hall. Os modelos bases para os modelos lineares mistos (MLM) para i -ésima árvore e j -ésimo espécie são expressos pelas equações constantes na tabela 2.

No processo de investigação do modelo candidato, foram testados efeitos aleatórios de interações das variáveis do povoamento florestal (idade, classe de diâmetro, área basal, densidade e altura dominante), junto aos efeitos fixos das variáveis mencionados no modelo base. Para corrigir o enviesamento nas estimativas da variância, foi utilizada a máxima verossimilhança restrita (REML) para ajustar o modelo candidato final.

Os cálculos e a análise estatística foram realizados com o R 4.0.4 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2020) e o auxílio do pacote lmer (BATES et al., 2021) para os ajustes dos modelos mistos.

Tabela 2 - Equações testadas para a estimativa do incremento corrente anual em diâmetro para as onze espécies amostradas no experimento.

Modelo	Autor	Equação
1	Husch	$\ln(Y_{ij}) = \beta_o + \beta_1 \ln(DAP) + \varepsilon_{ij}$
2	Spurr	$\ln(Y_{ij}) = \beta_o + \beta_1 \ln(DAP^2 Ht) + \varepsilon_{ij}$
3	Schumacher & Hall	$\ln(Y_{ij}) = \beta_o + \beta_1 \ln(DAP) + \beta_2 \ln(Ht) + \varepsilon_{ij}$

Legenda: Em que: Y é a variável dependente; Ht é a altura total da árvore (m); DAP é o diâmetro à altura do peito (cm); β_i é o coeficientes da equação; $\ln()$ é o logaritmo neperiano; ε é o erro.

Fonte: Do autor (2022).

Métricas de avaliação

Para avaliar e selecionar o desempenho dos modelos de incremento, foi calculado o critério de informação Akaike (AIC), critério de informação Bayesiano (BIC), raiz quadrada do erro médio (RMSE), erro médio absoluto percentual (MAPE), coeficiente de determinação (R^2), bias, conforme equações de 2 a 7, e análise gráfica dos resíduos.

$$AIC = -2\ln(L) + 2k \quad (2)$$

$$BIC = -2\ln(L) + k \log n \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n}} \quad (4)$$

$$MAPE(\%) = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \quad (5)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (6)$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)}{n} \quad (7)$$

Onde: i = número da instância; n = número total de observações; Y_i = valor observado; \hat{Y}_i = valor médio estimado; \bar{Y}_i = valor médio; K : número de parâmetros livres do modelo; L : verossimilhança.

3. RESULTADOS

Na tabela 3 são apresentados os valores da média aritmética, da variância, do máximo e do mínimo para as variáveis Ht, DAP e ICA em DAP separados por idade. Nos dois primeiros anos, pode-se observar que as espécies que apresentaram maior Ht, DAP e ICA em DAP foram *S. parahyba* e *G. ulmifolia*, respectivamente. Elas também possuem os maiores valores de variância, máximo e mínimo dentro do levantamento. Para a idade de três anos, destaca-se *A. peregrina* e *J. princeps*, que tiveram um crescimento em DAP, com valores médios comparáveis às espécies citadas anteriormente.

Tabela 3 - Altura total (Ht), diâmetro à altura do peito (DAP) e incremento corrente anual (ICA) em DAP para onze espécies nativas, ao longo de três anos de idade.

Variável	Estatística	Idade	Pd	Mu	Ape	Jp	Sp	Ap	Zt	Hc	Ct	Gu	Ec
Ht (m)	Média	1	3.44	3.19	2.61	3.23	4.79	1.45	1.89	1.97	2.50	4.34	2.05
		2	5.73	5.21	5.39	5.88	7.75	3.02	3.69	3.73	5.13	6.97	2.83
		3	7.71	6.45	8.08	8.08	10.73	2.97	5.09	4.43	6.67	9.30	3.36
	Máximo	1	5.40	5.30	4.60	5.50	7.45	2.10	3.20	3.20	5.00	7.10	8.50
		2	9.10	9.80	9.80	9.20	13.00	4.80	6.30	6.10	8.40	11.80	5.10
		3	12.00	11.00	14.60	12.60	16.00	6.20	8.00	8.50	10.80	13.00	7.00
	Mínimo	1	0.98	1.38	0.40	1.32	1.35	0.50	1.00	0.80	1.00	1.20	1.30
		2	1.70	1.80	2.05	0.80	1.75	2.20	1.25	1.65	2.00	1.75	1.70
		3	1.70	2.15	2.10	1.20	3.35	1.40	1.70	1.40	2.50	2.20	1.35
	Variância	1	0.91	0.60	0.51	0.84	1.53	0.09	0.17	0.24	0.55	1.63	0.42
		2	2.93	1.23	2.34	3.05	3.21	0.51	1.16	0.78	1.58	2.69	0.57
		3	5.56	1.77	6.22	5.52	4.85	1.03	2.29	5.93	2.39	3.48	9.23
DAP (cm)	Média	1	1.45	0.77	0.88	1.47	3.58	0.16	0.72	0.36	0.87	2.00	0.68
		2	7.92	5.32	7.87	8.98	16.45	1.95	4.50	2.76	6.01	11.84	3.70
		3	10.60	7.50	12.21	12.76	20.49	2.10	6.25	3.69	8.05	15.79	4.72
	Máximo	1	2.72	2.04	3.09	4.94	5.42	0.64	1.43	2.04	2.07	3.66	2.02
		2	18.46	13.05	18.01	15.92	23.75	3.34	7.96	6.37	12.73	18.78	9.00
		3	20.79	13.44	27.12	26.82	28.33	9.20	14.32	8.30	15.72	25.62	11.78
	Mínimo	1	0.06	0.10	0.06	0.16	0.32	0.03	0.16	0.10	0.06	0.10	0.03
		2	1.27	1.27	1.43	0.29	3.02	1.27	0.64	1.27	1.21	1.59	1.27
		3	1.67	0.95	1.75	1.91	7.00	0.32	2.01	0.73	1.24	2.71	0.32
	Variância	1	0.34	0.09	0.28	0.40	1.10	0.02	0.06	0.07	0.17	0.68	0.15

	2	9.18	2.59	11.96	11.37	14.60	0.23	2.71	1.15	5.08	13.03	2.88	
	3	12.85	3.83	22.11	20.94	13.98	1.36	4.84	2.81	7.74	18.29	4.29	
ICA (cm)	Média	1	1.45	0.77	0.88	1.47	3.58	0.16	0.72	0.36	0.87	2.00	0.68
		2	6.63	4.56	7.06	7.57	12.89	1.86	4.11	2.47	5.21	9.89	3.00
		3	2.84	2.26	4.70	4.04	4.32	1.52	2.07	1.75	2.29	4.28	1.61
	Máximo	1	2.72	2.04	3.09	4.94	5.42	0.64	1.43	2.04	2.07	3.66	2.02
		2	16.90	12.33	17.51	13.53	18.40	3.34	7.20	5.41	11.21	15.60	8.05
		3	14.80	6.14	14.64	14.96	17.41	9.20	12.10	3.35	6.72	14.35	3.89
	Mínimo	1	0.06	0.10	0.06	0.16	0.32	0.03	0.16	0.10	0.06	0.10	0.03
		2	1.27	1.27	1.43	0.29	1.72	1.27	0.64	0.45	0.67	1.59	0.76
		3	0.13	0.06	0.32	0.16	0.67	0.06	0.22	0.48	0.22	1.08	0.25
	Variância	1	0.34	0.09	0.28	0.40	1.10	0.02	0.06	0.07	0.17	0.68	0.15
		2	5.76	2.02	9.02	8.10	8.49	0.20	1.84	0.88	3.69	8.14	2.04
		3	2.10	1.04	4.19	4.46	3.11	1.01	1.40	0.44	1.22	2.29	0.59

Legenda: Pd (*P. dubium*); Mu (*M. urundeuva*); Ape (*A. peregrina*); Jp (*J. princeps*); Sp (*S. parahyba*); Ap (*A. parvifolium*); Zt (*Z. tuberculosa*); Hc (*H. courbaril*); Ct (*C. trichotoma*); Gu (*G. ulmifolia*); Ec (*E. contortisiliquum*).

Fonte: Do autor (2022).

A. parvifolium, *H. courbaril* e *E. contortisiliquum* apresentaram menor Ht, DAP e ICA em DAP nos três primeiros anos. Nota-se que as mesmas também possuem menores valores de variância, máximo e mínimo.

Em seguida, foram verificados valores decrescentes no incremento em função da idade para todas as espécies. Entretanto, houve uma redução em torno de 50% de incremento corrente anual para *S. parahyba* e *G. ulmifolia*, enquanto para *A. parvifolium* e *H. courbaril* essa redução foi menor que 30%.

Ademais, *C. trichotoma*, *M. urundeuva* e *Z. tuberculosa* apresentaram ritmo moderado de crescimento em Ht, DAP e ICA em DAP. No entanto, *C. trichotoma* apresentou taxas de crescimento ligeiramente superiores que as demais.

Inúmeros modelos candidatos foram derivados das estruturas dos modelos bases. Os modelos testes incluíram fatores aleatórios ao nível de espécie e idade no intercepto e na inclinação, e variáveis independentes adicionais, tais como: idade, área basal, densidade e altura dominante. Entre os preditores, a transformação logaritmo da idade foi selecionada aos modelos candidatos finais, com efeitos aleatórios, tanto no intercepto (μ_0), quanto na inclinação (μ_1) associado a idade, como pode ser observado no modelo 1 – MEM – Husch (Equação 8), modelo 2 – MEM – Spurr (Equação 9) e modelo 3 – MEM – Schumacher & Hall (Equação 10).

$$\ln(ICA_{ij}) = (\beta_o + \mu_o) + (\beta_1 + \mu_1)I_{ij} + \beta_2 \ln(DAP_{ij}) + \beta_3 \ln(I_{ij}) + \varepsilon_{ij}$$

$$\ln(ICA_{ij}) = (\beta_o + \mu_o) + (\beta_1 + \mu_1)I_{ij} + \beta_2 \ln(DAP_{ij}^2 Ht_{ij}) + \beta_3 \ln(I_{ij}) + \varepsilon_{ij} \quad (9)$$

$$\ln(ICA_{ij}) = (\beta_o + \mu_o) + (\beta_1 + \mu_1)I_{ij} + \beta_2 \ln(DAP_{ij}) + \beta_3 \ln(Ht_{ij}) + \beta_4 \ln(I_{ij}) + \varepsilon_{ij} \quad (10)$$

Em que: ICA é o incremento corrente anual em diâmetro da árvore i e espécie j (cm); Ht é a altura total da árvore i e espécie j (m); DAP é o diâmetro à altura do peito da árvore i e espécie j (cm); I é a idade da árvore i e espécie j (cm); β_k são os coeficientes fixos da equação; μ_k são os efeitos aleatórios; ε é o erro.

As estimativas dos parâmetros fixos e das métricas de ajuste e de avaliação dos modelos são descritas na tabela 4. A inclusão de efeitos aleatórios no intercepto e na inclinação da idade resultaram em bons ajustes nas respectivas equações, mostrando-se como alternativas para caracterizar o crescimento do ICA em DAP para as diferentes espécies estudadas.

Tabela 4 - Estimativas dos efeitos fixos e aleatórios e métricas de avaliação dos modelos de efeitos mistos finais, para onze espécies nativas, ao longo de três anos de idade.

Modelo de efeitos mistos									
Modelo	Efeitos fixos					Efeitos Aleatórios			
	Parâmetros	Estimativa	Std. Error	t-valor	Grupo	Nome	Variância	Std. Error	
1	Intercepto	-2,0222	0,0302	-66,92	Sp	Intercepto	21,4027	4,6263	
	$B_1(\ln(DAP))$	0,8665	0,0070	123,94		Idade	6,8717	2,6214	
	$B_2(\ln(I))$	3,9479	0,0650	60,71	Resíduo		0,0874	0,295	
2	Intercepto	2,5232	0,1367	18,46	Sp	Intercepto	0,1929	0,4392	
	$B_1(\ln(DAP^2 Ht))$	0,3244	0,0032	102,14		Idade	8,6888	2,9477	
	$B_2(\ln(I))$	4,8141	0,0683	70,45	Resíduo		0,1019	0,3193	
3	Intercepto	2,6364	0,0871	30,28	Sp	Intercepto	0,0733	0,2706	
	$B_1(\ln(DAP))$	1,0625	0,0114	92,92		Idade	5,1467	2,2686	
	$B_2(\ln(Ht))$	-0,3890	0,0174	-22,34	Resíduo		0,0815	0,2855	
	$B_3(\ln(I))$	3,2611	0,0715	45,62					
Métricas de avaliação do modelo									
Modelo	AIC	BIC	logLik	Desvio	G.L. resíduo	RMSE	MAPE	Bias	R ²
1	2887,6	2935,4	-1436,8	2873,6	6819	0,8593	18,99	0,1219	93,50%
2	3985,9	4026,9	-1987	3973,9	6820	0,9473	21,81	0,1273	92,10%
3	2452,4	2500,2	-1219,2	2438,4	6819	0,8449	19,29	0,1236	93,72%

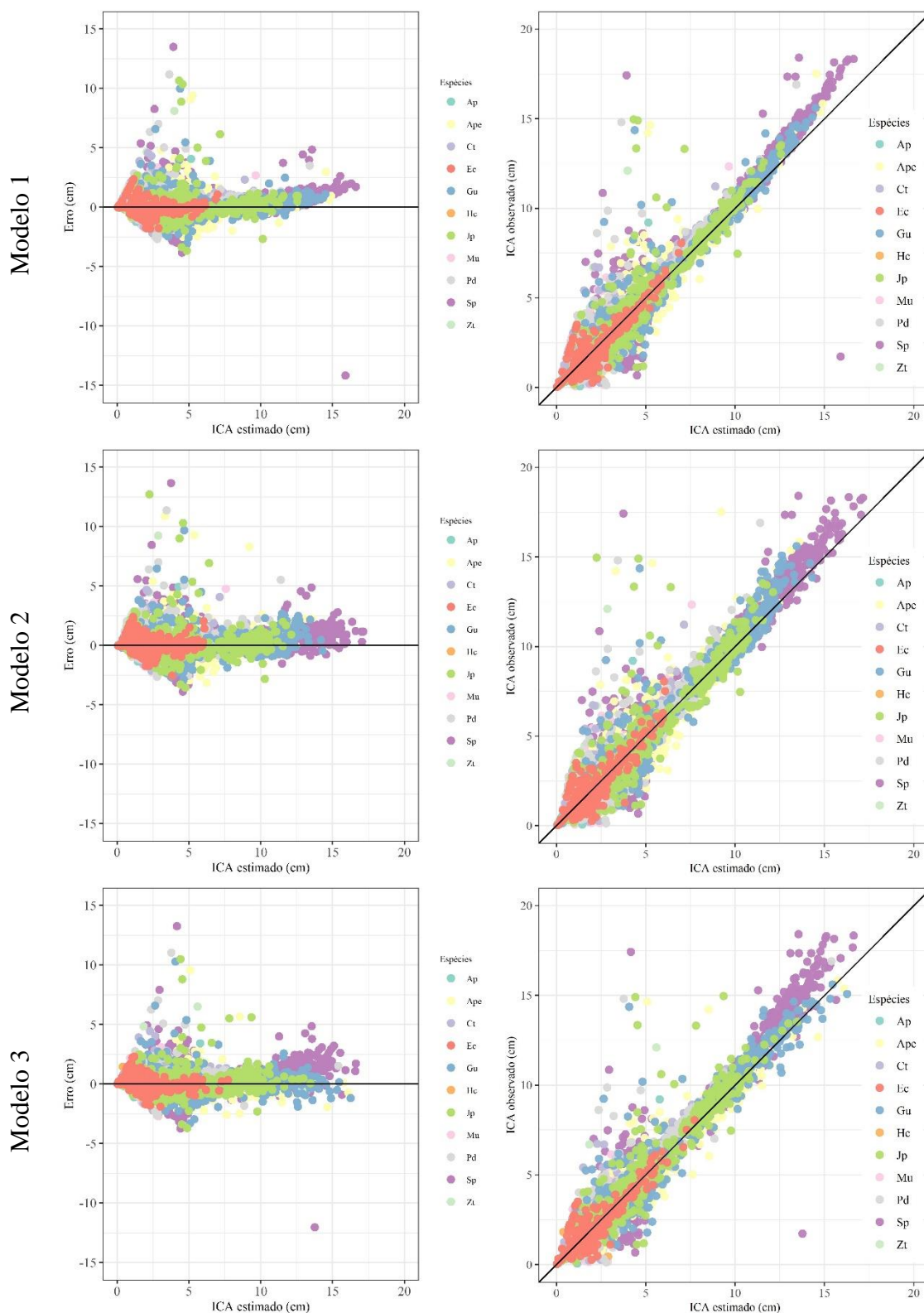
Legenda: Em que: Ht é a altura total da árvore (m); DAP é o diâmetro à altura do peito (cm); I é a idade; β_i são os coeficientes da equação; AIC é o critério de informação Akaike; BIC é o critério de informação Bayesiano; RMSE é a raiz quadrada do erro médio; MAPE é o erro médio absoluto percentual; R² é o coeficiente de determinação.

Fonte: Do autor (2022).

O modelo 3, com base no modelo de Shumacher & Hall, apresentou o melhor desempenho dentre os modelos finais, com valores de $RMSE = 0,8449$ cm e $R^2 = 93,72\%$, assim como os menores valores de AIC e BIC. O modelo 1, com base no modelo de Husch, apresentou os melhores resultados para as métricas de avaliação $MAPE = 18,99\%$ e $Bias = 0,1219$ cm. Enquanto o modelo 2, com base no modelo de Spurr, também apresentou bom desempenho, embora inferior aos demais.

Apesar das métricas residuais demonstrarem um comportamento semelhante, é importante analisar a melhor disposição dos resíduos entre os modelos. Assim, na figura 2 são observados os resíduos em função do ICA estimado e a correlação do ICA do DAP observado pelo estimado. Como pode ser observado, os modelos apresentam comportamentos distintos.

Figura 2 - Gráfico de resíduos e de correlação entre o observado e o estimado para os modelos de efeitos mistos finais, para onze espécies nativas, ao longo de três anos de idade.



Legenda: Ap (*A. parvifolium*); Ape (*A. peregrina*); Ct (*C. trichotoma*); Ec (*E. contortisiliquum*); Gu (*G. ulmifolia*); Hc (*H. courbaril*); Jp (*J. princeps*); Mu (*M. urundeuva*); Pd (*P. dubium*); Sp (*S. parahyba*); Zt (*Z. tuberculosa*).

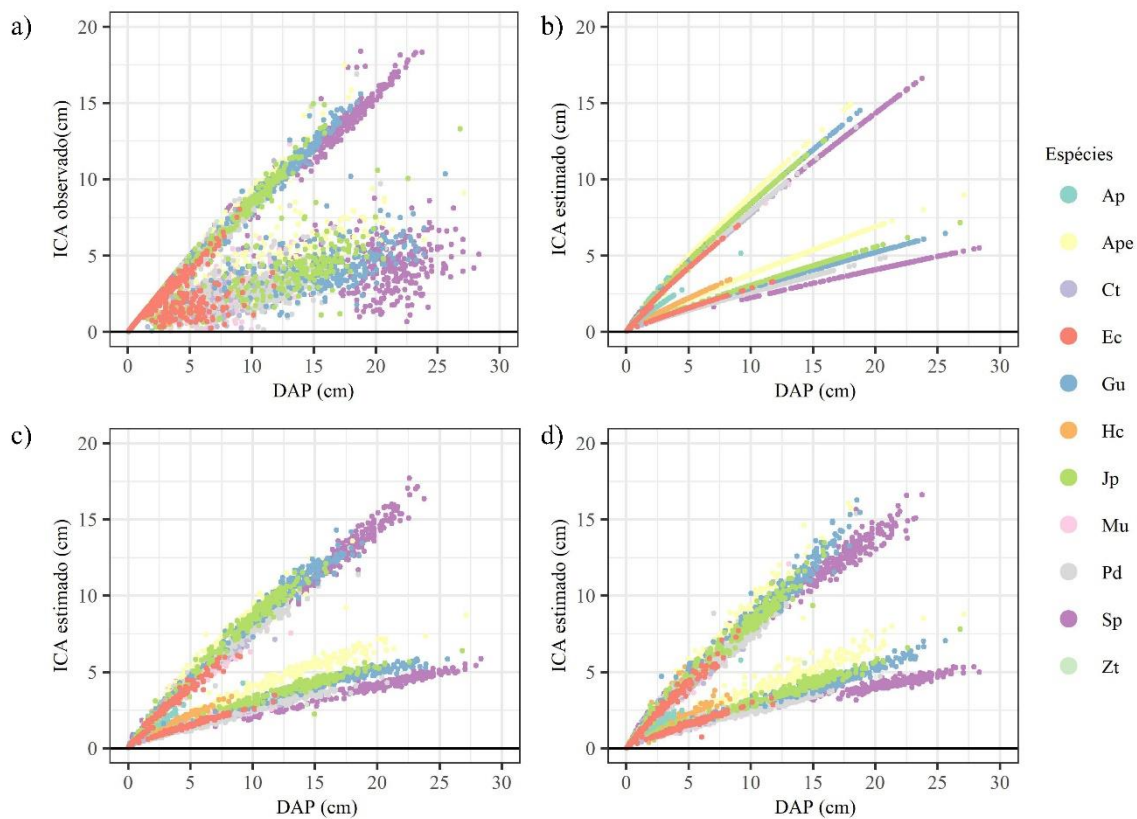
Fonte: Do autor (2022).

O modelo 1 apresenta uma disposição residual mais afunilada no centro, mostrando uma melhor predição com valores médios de incremento, mas com estimativas menos precisas em incrementos menores e maiores, com destaque para *E. contortisiliquum* e *S. parahyba*. Esse comportamento também pode ser verificado pelo gráfico de correlação entre os dados observados e os dados estimados.

O modelo 2 apresenta uma dispersão dos resíduos mais achatada, porém com estimativas mais precisas com indivíduos de *S. parahyba* que cresceram mais. O modelo 3 apresenta um comportamento semelhante ao modelo 2, mas com métricas de erro mais precisas.

Na figura 3 são apresentados os modelos de efeitos mistos com os efeitos aleatórios, tanto por espécie no intercepto, quanto na idade na inclinação dos modelos finais. O modelo 1, que apresenta como efeito fixo a idade e inclinação, mostra claramente a relação das espécies com o incremento em DAP, com espécies como *S. parahyba*, *G. ulmifolia* e *A. peregrina* com maior crescimento. Os modelos 2 e 3 apresentam uma relação mais dispersa, devido à inclusão da Ht como efeito fixo.

Figura 3 - Relação do incremento corrente anual (ICA) pelo diâmetro à altura do peito (DAP) para os dados observados e os modelos de efeitos misto finais, para onze espécies nativas, ao longo de três anos de idade.



Legenda: a) dados observados em relação ao DAP; b) modelo 1 em relação ao DAP; c) modelo 2 em relação ao DAP; d) modelo 3 em relação ao DAP.

Ap (*A. parvifolium*); Ape (*A. peregrina*); Ct (*C. trichotoma*); Ec (*E. contortisiliquum*); Gu (*G. ulmifolia*); Hc (*H. courbaril*); Jp (*J. princeps*); Mu (*M. urundeuva*); Pd (*P. dubium*); Sp (*S. parahyba*); Zt (*Z. tuberculosa*).

Fonte: Do autor (2022).

4. DISCUSSÃO

Ao analisar o crescimento de onze espécies florestais nativas, optou-se pelo uso de modelo linear de efeito misto, com efeitos aleatórios, tanto no intercepto, quanto na inclinação associado à idade. Foram encontrados modelos que descreveram de forma satisfatória o incremento corrente anual (ICA) em DAP.

Assim, de modo geral, entre as espécies selecionadas, *S. parahyba* e *G. ulmifolia* apresentaram o maiores incrementos em DAP, enquanto *H. courbaril* e *A. parvifolium* apresentaram os menores. Isso pode ocorrer devido à maior atividade fotossintética de espécies de crescimento rápido, como é o caso de *S. parahyba*, uma vez que essa espécie, de acordo com Meng et al. (2008), ocupa o dossel superior da floresta, tendo principalmente maior oferta de recursos e luz, garantindo níveis significativos de ganhos no crescimento, como também na capacidade produtiva do sítio. Barbosa et al. (2018) afirmam que espécies de estágios sucessionais mais avançados, apresentam baixas taxas de crescimento iniciais, no entanto podem aumentar o ritmo com a idade, o que corrobora com os resultados de *H. courbaril* deste trabalho.

O tamanho alcançado por uma árvore em uma determinada idade relaciona-se com o espaço disponível para o seu crescimento e aumenta com o tamanho e a idade (TONINI; OLIVEIRA; SCHWENGBER, 2008). Essa tendência pode ser observada na melhora gradual de desempenho de *H. courbaril* e outras espécies nativas no estado de Roraima aos sete anos de idade, indicando que o crescimento inicial pode não caracterizar o potencial da espécie para plantios florestais, exigindo ensaios de longa duração (TONINI; ARCO-VERDE; SÁ, 2005).

Outras espécies como *G. ulmifolia*, *A. peregrina* e *J. princeps* também apresentaram um bom crescimento inicial, evidenciando o potencial de espécies pioneiras e secundárias iniciais em relação às espécies secundárias tardias, como *H. courbaril*. Barbosa et al. (2003), ao analisarem o crescimento em DAP de plantios puros e mistos de *H. courbaril*, com *Jacaranda copaia* e *Ochroma lagopus*, obtiveram diâmetros de 1,14, 0,98 e 1,23 cm, respectivamente, aos dois anos de idade, sendo esses resultados inferiores aos obtidos neste trabalho com *H. courbaril*, de 2,76 cm de DAP na mesma idade.

Segundo Lewis (2015), o gênero *Schizolobium* desperta interesse devido ao seu potencial de crescimento com as variedades *S. parahyba* var. *parahyba* e *S. parahyba* var. *amazonicum*, as quais apresentam ampla abrangência no território nacional e de

acordo com estudos, possuem fundamental importância ambiental para a Amazônia e Mata Atlântica, no reflorestamento de áreas fragmentadas destes biomas. Diante disso, pode-se observar um comportamento semelhante de crescimento para a variedade *S. parahyba* var. *parahyba* presente neste estudo, no entanto, poucos estudos são encontrados na literatura sobre a taxa de crescimento da espécie.

Rodrigues et al. (2016) ao avaliarem o crescimento de *S. parahyba* var. *amazonicum* em diferentes sistemas de cultivo em áreas de reflorestamento, encontraram DAP médio de 15,93 e 16,63 cm aos cinco anos de idade, em dois cultivos consorciados, resultado inferior ao encontrado neste estudo com *S. parahyba* var. *parahyba* (18,19 cm) aos três anos de idade, o que corrobora com estudos realizados por Cordeiro et al. (2015) em Sistema Agroflorestal, em que *S. parahyba* var. *amazonicum* apresentou médias de Ht e DAP de 7,12 m e 9,86 cm e 9,76 m e 13,9 cm aos três e cinco anos de idade, respectivamente, sendo esses resultados inferiores aos obtidos neste trabalho, na mesma idade.

Com estes e outros resultados de pesquisa envolvendo o gênero *Schizolobium*, tem-se uma aplicação prática importante. *S. parahyba* por ser tratar de espécie pioneira, considerada dominante apta à colonização de espaços abertos, apresenta rápido crescimento na fase inicial, sendo capaz de manter-se vigorosa em diferentes sistemas de produção quando executadas práticas silviculturais adequadas e, que seu desenvolvimento é influenciado por diferentes características genéticas da espécie, disponibilidade de recursos (água, nutrientes e luz), sistema de cultivo, idade e índice de sítio (LUCENA et al., 2013; TAVARES et al., 2013).

Em idades iniciais, as árvores codominantes e dominadas priorizam o crescimento em altura, inicialmente na busca por luz, para posteriormente investirem em crescimento em diâmetro, o que pode ser observado na espécie *H. courbaril*. Portanto, são observados menores perdas em incremento corrente anual em relação a outras espécies dominantes, elucidando a posição social que cada espécie ocupa no sítio (LIMA et al., 2011). Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Cordeiro et al. (2015), que indicaram valores decrescentes no incremento em função da idade em plantios puros e mistos de *S. parahyba* var. *amazonicum*.

Os resultados encontrados neste estudo, até a idade de avaliação, podem indicar que o povoamento está encaminhando para uma estagnação do crescimento das espécies

em função da ocupação da área, em que as pioneiras já promovem uma condição de sombreamento que permite o desenvolvimento de espécies climácicas. Portanto, pesquisas sobre a idade e o crescimento em diâmetro e altura de espécies florestais geram inúmeras informações, que podem ser utilizadas na determinação dos ciclos de corte, do regime de desramas e desbastes e dos volumes admissíveis para uma exploração sustentável (BOTOSSO; MATTOS, 2002).

Nesse sentido, alguns estudos têm utilizado modelos lineares de efeito misto como uma ferramenta eficiente de modelagem e prognose do crescimento e produção florestal (CALEGARIO et al., 2004; OTSURBO et al., 2015; VIEIRA et al., 2018). Esses autores concluíram que a abordagem de modelos de efeito misto possibilitou estimativas mais precisas de aspectos relacionados ao crescimento das árvores, o que torna a técnica viável para realizar projeções futuras do manejo florestal.

Os modelos mistos mostram-se bastante eficazes na modelagem do ICA em DAP das espécies florestais nativas, portanto, a aplicação desse método tem um potencial bastante promissor, sobretudo nos sistemas de predição e projeção para fins de planejamento florestal sustentável.

5. CONCLUSÃO

- Os modelos lineares de efeito misto mostraram-se bastante eficazes na modelagem do ICA em DAP das onze espécies florestais nativas estudadas, tornando sua aplicação bastante promissora em estudos relacionados ao planejamento florestal sustentável.
- De modo geral, *S. parahyba* e *G. ulmifolia* apresentaram maiores incrementos do ICA em DAP nos dois primeiros anos, enquanto *A. peregrina* e *J. princeps* apresentaram incrementos semelhantes às anteriores no terceiro ano, demonstrando o potencial de crescimento dessas espécies.
- *H. courbaril* e *A. parvifolium* apresentaram menores incrementos do ICA em DAP nos três primeiros anos, entretanto houve uma menor redução nesta variável em DAP no último ano em relação às demais espécies.

REFERÊNCIAS

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

BARBOSA, A. P. et al. **Silvicultura tropical e a recuperação de áreas degradadas pela agricultura itinerante na Amazônia Central**. Projeto jacaranda Fase II: Pesquisas florestais na Amazônia Central, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA). Manaus, Amazonas, 2003. p.223-239.

BARBOSA, A. C. M. et al. Tree rings and growth trajectories of tree species from seasonally dry tropical forest. **Australian Journal of Botany**, Melbourne, v. 66, n. 5, p. 414-427, 2018.

BATES, D. et al. **lme4: Linear Mixed-Effects Models using 'Eigen' and S4R Foundation for Statistical Computing**, 2021. Disponível em: <<https://github.com/lme4/lme4/>>.

BERTOLINI, I. C.; BRUN, E. J.; DEBASTIANI, A. B. Caracterização silvicultural da canafistula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert). **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 2, p. 67-76, 2015.

BOTOSSO, P. C.; MATTOS, P. P. **Conhecer a idade das árvores: importância e aplicação**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002. 25p.

BRANCALION, P. H. S. et al. Finding the money for tropical forest restoration. **Unasylva**, Roma, v. 63, n. 239, p. 25-34, 2012.

CALEGARIO, N. et al. Desenvolvimento de um modelo linear de efeito misto na estimativa do crescimento e produção de povoamentos clonais de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 1, p. 67-86, 2004.

CAO, L. et al. Integrating Airborne LiDAR and Optical Data to Estimate Forest Aboveground Biomass in Arid and Semi-Arid Regions of China. **Remote Sensing**, Estados Unidos, v. 10, n. 4, p. 532, 2018.

CORDEIRO, I. M. C. C. et al. Avaliação de plantios de paricá (*Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex Ducke) Barneby de diferentes idades e sistemas de cultivo no município de Aurora do Pará-PA (Brasil). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 25, n. 3, p. 679-687, 2015.

CUNHA, T. A.; FINGER, C. A. G.; HASENAUER, H. Tree basal area increment models for Cedrela. Amburana. Copaifera and Swietenia growing in the Amazon rain forests. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 365, p. 174-183, 2016.

DANTAS, D. et al. Multilevel nonlinear mixed-effects model and machine learning for predicting the volume of *Eucalyptus* spp. trees. **Cerne**, Lavras, v. 26, n. 1, p. 48-57, 2020.

EVANS, J.; TURNBALL, J. W. Plantation forestry in the tropics: the role, silviculture and use of planted forests for industrial, social, environmental and agroforestry purposes. 3rd edn. **Oxford University Press**, Oxford, 2004. 488p.

GOUVEIA, J. F. et al. Modelos volumétricos mistos em clones de *Eucalyptus* no polo gesseiro do Araripe, Pernambuco. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 587-598, 2015.

HESS, A. F.; RICKEN, P.; CIARNOSCHI, L. D. Dendrocronologia, incremento e manejo florestal em floresta de araucária-SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1568-1582, 2018.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2021: ano base 2020**. Brasília: IBÁ, 2021. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>>. Acesso em: 31 jan. 2022.

JIN, S. et al. The transferability of Random Forest in canopy height estimation from multi-source remote sensing data. **Remote Sensing**, Estados Unidos, v. 10, n. 8, p. 1183, 2018.

LAMB, D. **Large-scale forest restoration**. Earthcan, Routledge/Taylor and Francis, New York, 2014. 301p.

LEWIS, G. P. Schizolobium. In: **LISTA de espécies da flora do Brasil. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro**, 2015. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>. Acesso em: 31 jan. 2022.

LHOTKA, J. M. Examining growth relationships in Quercus stands: An application of individual-tree models developed from long-term thinning experiments. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 385, p. 65-77, 2017.

LIMA, R. B. A. et al. Sucessão ecológica de um trecho de floresta ombrófila densa de terras baixas, Carauari, Amazonas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 67, p. 161-161, 2011.

LUCENA, V. B. et al. Influência de fungos micorrízicos-arbusculares em paricá (*Schizolobium amazonicum*) cultivado no estado do Pará. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 75, p. 235-241, 2013.

MENDONÇA, G. C. D. et al. Avaliação silvicultural de dez espécies nativas da Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n.1, p. 277-290, 2017.

MENG, S. X. et al. Wind speed and crown class influence the height–diameter relationship of lodgepole pine: nonlinear mixed effects modeling. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 256, n. 4, p. 570-577, 2008.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, Londres, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

MIRANDA, E. N. et al Variable selection for estimating individual tree height using genetic algorithm and random forest. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 504, p. 119828, 2022.

OTSUBO, H. D. C. B. et al. Variação genética para caracteres silviculturais em três espécies arbóreas da região do bolsão Sul-Mato-Grossense. **Cerne**, Lavras, v. 21, n.4, p. 535-544, 2015.

PINHEIRO, J. C.; BATES D. M. **Mixed-effects models in S and S-PLUS**. New York: Springer-Verlag, 2000. 528 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A Language And Environment For Statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2020.

RODRIGUES, P. G. et al. Contribuição dos atributos químicos do solo no desenvolvimento vegetativo do paricá em diferentes sistemas de cultivo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 59-68, 2016.

SANTOS, J. et al. Potencial de crescimento de *Cordia trichotoma* e *Grevillea robusta* em plantio puro e consorciado. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 14, n. 26, p. 523, 2017.

TAVARES, L. D. S. et al. Lodo do curtimento e sua influência na produção de mudas de paricá (*Schizolobium amazonicum*) e nas propriedades químicas do solo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 357-368, 2013.

TIMILSINA, N.; STAUDHAMMER, C. L. Individual tree-based diameter growth model of slash pine in Florida using nonlinear mixed modeling. **Forest Science**, Washington, v. 59, n. 1, p. 27- 37, 2013.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M. F.; SÁ, S. P. P. D. Dendrometria de espécies nativas em plantios homogêneos no estado de Roraima: andiroba (*Carapa guianensis* Aubl), castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), ipê-roxo (*Tabebuia avellanadae* Lorentz ex Griseb) e jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 35, n. 3, p. 353-362, 2005.

TONINI, H.; OLIVEIRA, M. M. C. D.; SCHWENGBER, D. Crescimento de espécies nativas da Amazônia submetidas ao plantio no estado de Roraima. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 151-158, 2008.

VIEIRA, G. C. V. et al. Prognoses of diameter and height of trees of *Eucalyptus* using artificial intelligence. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 619, n. 1, p. 1473-1481, 2018.

ARTIGO 2 – SILVICULTURAL PERFORMANCE OF FOUR NATIVE FOREST SPECIES AS A FUNCTION OF PRUNING INTENSITY

ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM AS NORMAS DA REVISTA FLORESTA E AMBIENTE

Anatoly Queiroz Abreu Torres¹

Rodolfo Soares de Almeida¹

Raul Reis Assunção¹

Artur Ferro de Souza¹

Lucas Vieira dos Santos¹

Lucas Amaral de Melo¹

¹Universidade Federal de Lavras (UFLA), Departamento de Ciências Florestais, Lavras, MG, Brasil.

Abstract

Basic information about growth rate and response to silvicultural treatments on potential native species are bottlenecks for the wide use of these species for forest production. In this context, the objective of this work was to evaluate the silvicultural performance of four native species as a function of pruning intensity. The experimental design was completely randomized with ten replications and one plant per plot, in a 4 x 4 factorial scheme, four forest species, and four pruning intensities. At 30 and 42 months, height (H) and diameter at breast height (DBH) were evaluated, then the current annual increment (CAI) was calculated, as well as the mean annual increment (MAI) at 42 months. *Guazuma ulmifolia* showed higher growth in height and DBH compared to other species at both ages. The pruning

resulted in a reduction of MAI in 0.15 cm. year⁻¹ in DBH for every 25% of pruning intensity.

Keywords: Pruning, *Guazuma ulmifolia*, *Cordia trichotoma*, *Peltophorum dubium*, *Joannesia princeps*.

1. INTRODUCTION AND OBJECTIVES

In scenarios where the use of native species is part of the requirement for forestry implantation, such as the Legal Reserve in Brazil, the exploration of forestry products becomes a promising alternative to make reforestation projects economically viable (Brançalion et al., 2012). Despite this model appearing as an efficient strategy, the lack of knowledge about native species silviculture restrains its usage (Brançalion et al., 2015; Carneiro et al., 2017).

The absence of this detailed information prevails the interest in planting exotic species, especially those of the *Eucalyptus* and *Pinus* genera, due to the available silvicultural knowledge on these genera (Assis et al., 2013; Stuepp et al., 2018) and a consolidated market. This incentive to exotic species cultivation not only underestimates the market potential of native species but also limits their conservation, since many of these species are rare due to irrational exploitation, resulting in its local extinction in several regions (Mendonça et al., 2017).

According to Oliveira et al. (2021), many native species in favorable environmental conditions and if submitted to adequate silvicultural management present satisfactory potential for wood production in forest restoration plantations. Furthermore,

the correct use of silvicultural treatments accelerates growth and reduces the cutting cycle (Sist et al., 2014).

Among the silvicultural treatments, pruning promotes wood free from knots with greater strength, durability, and beauty. The pruning management reduces and concentrates the incidence of knots in the wood and, therefore, results in higher added-value products (Oliveira et al., 2020). Pruning management is relevant, especially in the plantations where the species do not have natural pruning (Oliveira et al., 2012).

However, due to the reduction of the photosynthetically active area of the plant, pruning can compromise its growth in diameter and height (Fontan et al., 2011). Such effect was observed by Cezana et al. (2012) in hybrids of *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, noting the relationship between the increase in pruning intensity and the reduction in plant diameter and height growth. The pruning response may vary in different species and different crown architecture. Therefore, studies to define the influence of pruning intensity, especially in native species, are crucial.

In this context, the present study aimed to evaluate the silvicultural performance of four native species as a function of pruning intensity.

2. MATERIALS AND METHODS

The experimental area, located at Pirilampo Ranch on Ijaci - MG (21° 09' 26.60''S and 44° 56' 07.15''O), has Dark Red Latosol soil, an average altitude of 875 m and, Cwb climate, according to Koppen's classification. The average annual temperature is 19.4 °C, varying between 15.8 °C and 22.1 °C for the months of July and February, respectively, and with total annual precipitation of 1530 mm (Alvares et al., 2013).

The experiment happened in a mixed-species even-aged stand, with a spacing of 3 x 1.5 m, implemented in 2018 to convert a crop field into a productive Legal Reserve (a mandatory native forest parcel). The soil preparation consisted of harrowing, a subsoiling with 40 cm depth, and base fertilization using 150 g of simple superphosphate per planting hole.

The treatments were four tree species (*Guazuma ulmifolia* Lam. (mutamba), *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. (louro pardo), *Peltophorum dubium* (Speng.) (angico amarelo) and *Joannesia princeps* Vell. (cotieira)), and four pruning intensities (0, 25, 50, and 75%).

The pruning intensities were performed at 20 months and repeated at 32 months after planting, based on the proportion of individuals' total height (Table 1). At 18 months, the species had a mean height (H) and diameter at breast height (DBH) of 5.26 m; 2.43 cm for *G. ulmifolia*, 2.98 m; 1.06 cm for *C. trichotoma*, 3.82 m; 1.71 cm for *P. dubium*, and 3.91 m; 1.76 cm for *J. princeps*.

Table 1. Mean height before each pruning operation and height of pruning according to pruning intensities for each tree species at each pruning operation in Ijaci – MG.

Pruning intensities	<i>Guazuma ulmifolia</i>		<i>Cordia trichotoma</i>		<i>Peltophorum dubium</i>		<i>Joannesia princeps</i>	
	18 month s	30 month s	18 month s	30 month s	18 month s	30 months	18 month s	30 month s
0%	0.00 m	0.00 m	0.00 m	0.00 m	0.00 m	0.00 m	0.00 m	0.00 m
25%	1.32 m	1.96 m	0.75 m	1.48 m	0.96 m	1.68 m	0.98 m	1.73 m
50%	2.63 m	3.93 m	1.49 m	2.97 m	1.91 m	3.35 m	1.96 m	3.46 m
75%	3.95 m	5.89 m	2.24 m	4.45 m	2.87 m	5.03 m	2.93 m	5.18 m
Mean height	5.26 m	7.85 m	2.98 m	5.93 m	3.82 m	6.70 m	3.91 m	6.91 m

The experimental design was completely randomized, with ten replications and one plant per plot, in a factorial scheme 4 (tree species) x 4 (pruning intensities). The

assessment of the trees' growth was after pruning at 30 and 42 months old. The height measurement was by a graduated ruler and the diameter at breast height with a measuring tape. The current annual increment (CAI) for H and DBH for each period (Equation 1) and the mean annual increment (MAI) for H and DBH at 42 months (Equation 2) were estimated.

$$\text{CAI} = Y_2 - Y_1 \quad (\text{Equation 1})$$

Where, Y_2 = final H or DBH, and Y_1 = initial H or DBH.

$$\text{MAI} = \frac{Y}{I} \quad (\text{Equation 2})$$

Where, Y = final H or DBH, and I = final age.

All the data were submitted to analysis of variance (ANOVA). To differentiate species was applied the Scott-Knott test ($p < 0.05$). For pruning, were performed regression analysis. All statistical analysis were supported by the SISVAR software (Ferreira, 2019).

3. RESULTS AND DISCUSSION

There was no significant interaction between species and pruning. The species showed a significant difference in all parameters analyzed, except for the current annual increase in height (CAI H) (Table 2). The pruning intensities had a significant effect on the CAI DBH, the DBH at 42 months, and the MAI DBH. The experimental variation coefficient ranged from 11.97% to 41.64%, with most parameters below 27% (Table 2).

Table 2. Summary of the analysis of variance for diameter at breast height (DBH), Height (H), current annual increment (ICA) at 30 and 42 months after planting and, mean annual increment (MAI), for different species and intensity of pruning, in Ijaci – MG.

FV	DF	Mean Square									
		30 months				42 months				MAI	
		DBH	H	CAI	DBH	CAI	H	DBH	H	DBH	H
Specie (S)	3	263*	24.40*	163.95*	1.25	508*	57.06*	43.15*	7.86*	56.50*	6.35*
Pruning (P)	3	6.59	0.73	7.59*	0.38	16.04*	1.01	3.16	0.42	1.78*	0.11
S x P	9	1.54	0.65	1.71	0.38	3.53	1.54	0.90	0.89	0.39	0.17
CV (%)		16.86	11.97	19.21	26.43	16.11	12.35	40.38	41.64	16.12	12.36
Mean		10.06	6.83	8.33	2.85	13.34	8.93	3.28	2.10	4.45	2.98

*: significant at the 5% probability level by the F test;

There was a statistical difference, by the Scott-Knott test ($p < 0.05$), regarding the growth of species in all analyzed parameters (Table 3). The species exhibited a distinct growth rate in DBH, with a clear distinction between their values. The differences between species did not change throughout the evaluations, highlighting, in descending order of DBH, the species *Guazuma ulmifolia*; *Joannesia princeps*; *Peltophorum dubium*, and *Cordia trichotoma* (Table 3).

Table 3. Influence of pruning on the species *Guazuma ulmifolia*, *Joannesia princeps*, *Peltophorum dubium*, and *Cordia trichotoma* for the dendrometric variables DBH, H, CAI DBH, CAI H, and MAI of DBH and H, at 30 and 42 months.

Species	30 months			42 months				MAI	
	DBH (cm)	H (m)	CAI DBH (cm)	DBH (cm)	H (m)	CAI DBH (cm)	CAI H (m)	DBH (cm)	H (m)
<i>Cordia trichotoma</i>	7.20 d	5.93 c	6.15 d	9.17 d	7.38 c	1.97 c	1.45 b	3.06 d	2.46 c
<i>Peltophorum dubium</i>	9.31 c	6.70 b	7.59 c	12.29 c	8.92 b	2.99 b	2.22 a	4.10 c	2.97 b
<i>Joannesia princeps</i>	10.46 b	6.91 b	8.69 b	14.37 b	9.20 b	3.91 a	2.29 a	4.79 b	3.07 b
<i>Guazuma ulmifolia</i>	13.44 a	7.85 a	11.01 a	17.76 a	10.31 a	4.32 a	2.46 a	5.92 a	3.44 a

Means followed by the same letter in the column do not differ significantly by the Scott-Knott test ($p < 0.05$). DBH: diameter at breast height; H: tree height; CAI: current annual increment; MAI: mean annual increment.

The height growth patterns also occurred differently between species and maintained the same order as presented at DBH (Table 3). *Guazuma ulmifolia* stands out with the tallest trees and *Cordia trichotoma* with the smallest growth in height, *Joannesia princeps* and *Peltophorum dubium* had no statistical differences for height growth.

It is interesting to highlight the significant reduction in the CAI in DBH between the assessments at 30 and 42 months (Table 3), with a decrease of 60.76% for *Guazuma ulmifolia*, 55% for *Joannesia princeps*, 60.60% for *Peltophorum dubium*, and 67.96% for *Cordia trichotoma*. The current annual increment in height among species did not vary much (Table 3), with only *Cordia trichotoma* showing statistically lower values than the other species.

The mean annual increment followed the same pattern as the total values in DBH and H (Table 3), highlighting the species *Guazuma ulmifolia* with a mean growth of 5.92 cm.year⁻¹ and 3.44 m.year⁻¹, in DBH and H, respectively. The smallest annual increments were observed in *Cordia trichotoma*, with 3.06 cm and 2.46 m, in DBH and H, respectively. The pruning intensity effect was more expressive in the variables linked to DBH, with statistical differences being found for the CAI in DBH at 30 months, for DBH at 42 months, and the MAI in DBH (Table 2). The regressions showed a negative linear behavior for the variables CAI DBH at 30 months, DBH at 42 months, and MAI in DBH for increasing pruning intensity (Figure 1).

For each 25% increase in the pruning intensity, there was a decrease of 0.3 cm for the CAI DBH at 30 months, 0.47 cm for the DBH at 42 months, and one reduction of 0.15 cm.year⁻¹ in the MAI DBH. The application of 75% pruning intensity resulted in a reduction in the MAI in DBH of 9.60% (0.45 cm.year⁻¹) in comparison to the treatment of 0% pruning intensity (Figure 1).

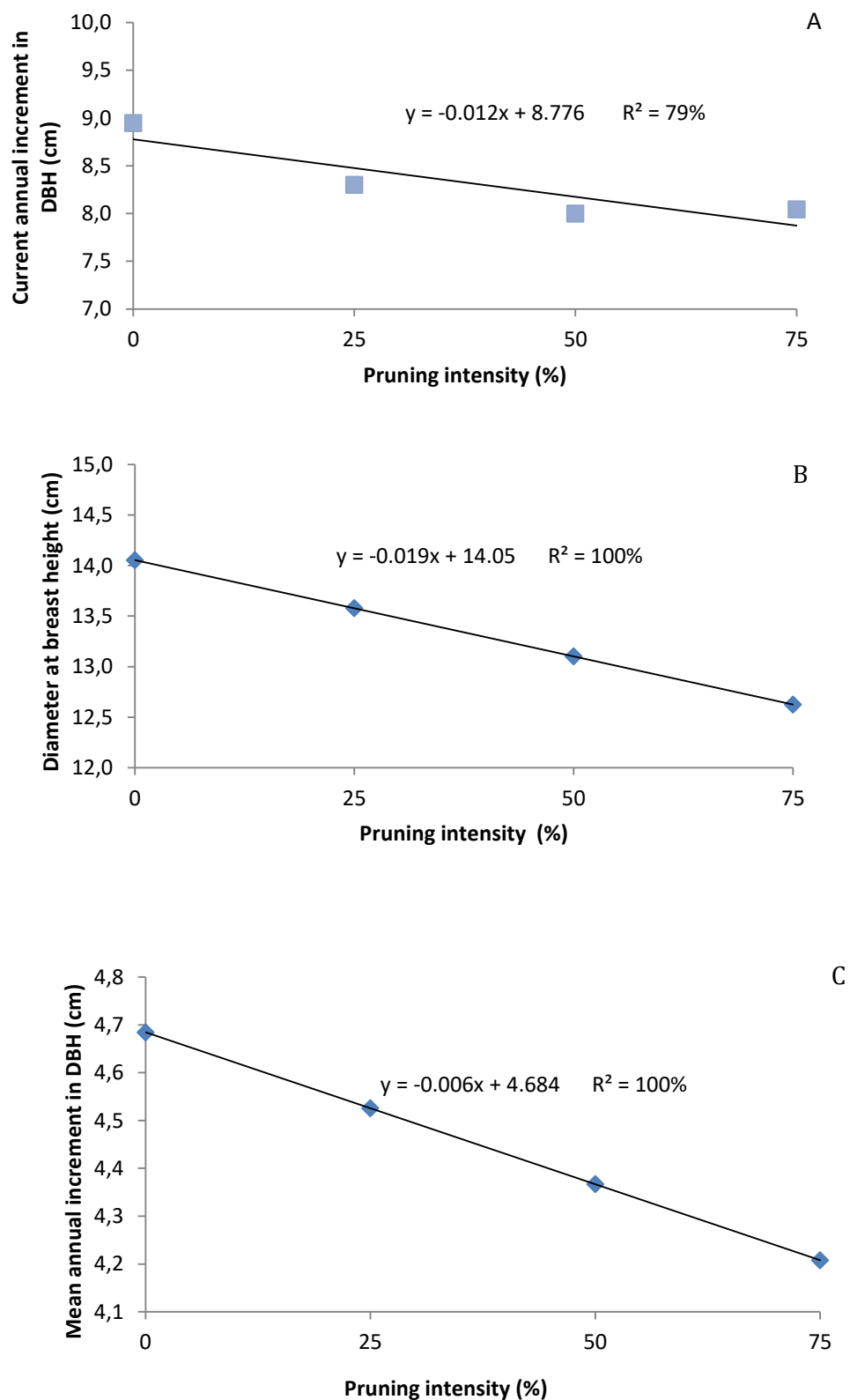


Figure 1. Influence of pruning intensity for the variables: Current annual increment in DBH at 30 months (A), diameter at breast height (DBH) at 42 months (B), and mean annual increment in DBH (C).

The different growth rates presented by the species are related to the successional groups and their correlation with evolutionary biology and ecology. Plants classified as pioneers play the primary role in colonization and formation of forest physiognomy in open areas. Pioneer species are well suited to environments with abundant light and space, with rapid growth as their main characteristics. Luminosity is the principal growth factor for pioneer species (Rigueira et al., 2012). The higher growth rate of *Guazuma ulmifolia* may be associated with the fact that it is classified as a pioneer species, as reported by Corrêa et al. (2014).

There is no consensus on the nomenclature of other successional groups. However, the prevalent idea is that non-pioneer species have slower growth rates. Silva et al. (2016) classify *Peltophorum dubium* and *Joannesia princeps* as initial secondary, a group with intermediate dependence on light for their growth (Callegaro et al., 2015). Both species showed a similar growth rate, not being statistically different in MAI for height. However, *Joannesia princeps* presented a distinguished mean annual increase in diameter, probably due to its greater crown density and, consequently, more production of photoassimilates. *Cordia trichotoma* is classified as a non-pioneer species by Corrêa et al. (2014), while Schneider et al. (2006) identified it as an initial secondary. However, the slower growth rate of the species when compared to the others is evident.

It is possible to notice that the pruning intensity affected, above all, the growth in diameter of the individuals, with a tendency towards smaller values with the increase in the pruning intensity. This phenomenon could be explained by the photosynthetic surface of the plant reduction by the pruning technique, which reduces the supply of carbohydrates and growth regulators produced in the crown (Pires et al., 2002).

However, the effect of pruning is not a consensus. In clones of *Tectona grandis*, Seta et al. (2021) found that pruning up to 66% of crown height did not negatively affect plant growth in diameter and height. In clones of *Populus × canadensis* the pruning affect diameter until the 10th year after plantation, where unpruned and pruned trees match (Danilović et al., 2022). This slow recovery is because the pruned plants invest first in the recovery of the crown and, later, they resume diameter growth (Machado et al., 2014). In *Pinus radiata*, Hevia et al. (2016) observed a reduction in mean diameter increment of 11.6% after one year of 29-37% of live crown removed. This reduction was similar to the found in this work, of 10.14%, for the 75% intensity pruning.

The regression showed a tendency to reduce the values linked to the diameter when increased crown removal intensity (Figure 1). Similar results were found by Bhargava & Rai (2019), in *Dalbergia sissoo*, where the growth values were inversely proportional to the pruning intensity. Pires et al. (2002) observed losses in the growth of *E. grandis* with pruning intensities above 50%. In general, the application of severe pruning can reduce the diameter and height growth (Hevia et al., 2016; Bhargava & Rai, 2019; Danilović et al., 2022) due to the crown reduction and, consequently, declining the photosynthetic area of the plant.

It was possible to note the effects of crown removal on the DBH growth for *G. ulmifolia*, *J. princeps*, *P. dubium*, and *C. trichotoma*. However, the more intense pruning (75%) resulted in a reduction of 0.45 cm.year⁻¹ in DBH (9.60%), making the decision for the most drastic intervention in pruning a management strategy for the production of wood with higher added value.

Thus, the cost and complexity associated with pruning increase with the height to be pruned. and the quality of the final product is a function of the quantity of knot-free

wood (Dobner Júnior, 2022). Therefore, deciding pruning intensity must be guided by the number of pruning operations and the final height to be pruned. Thus, more drastic interventions, such as 75%, would result in fewer pruning operations, but in a reduction in the growth in DBH, 9.60%, in this study. Less drastic interventions, such as 25%, would require additional pruning operations however, smaller growth reductions in DBH, 3.20% in this study.

The species *P. dubium* and *C. trichotoma* are of greater economic interest due to the better quality of the wood (Campos Filho & Sartorelli, 2015) and, therefore, the application of pruning to increase the quality of the final product is justified. The species *G. ulmifolia* and *J. princeps* have more appeal for energy production and can be used in agroforestry plantations (Campos Filho & Sartorelli, 2015). Within these systems, pruning is also intended to manage the entry of light between the lines, thus favoring the growth of intercropped agricultural species (Bohn Reckziegel et al., 2021).

Therefore, pruning must consider aspects such as the valuation of the final product and payment for the quality of the wood to justify its application since the use of the technique for species of lesser economic interest may not be economically viable.

4. CONCLUSIONS

1. There was no influence on the growth characteristics analyzed as a function of the interaction between the four species and the pruning intensity during the experimental period.

2. The species *Guazuma ulmifolia* showed the best growth in height and diameter, followed by the species *Joannesia princeps*, *Peltophorum dubium*, and *Cordia trichotoma*, respectively.
3. There was a linear reduction in diameter growth at breast height to pruning intensity, with a decrease of $0.15 \text{ cm}\cdot\text{year}^{-1}$ for every 25% pruning intensity.

SUBMISSION STATUS

Received: 03 Jan. 2022

Accepted: 12 Apr. 2022

Associate editor: Eduardo Vinicius da Silva <https://orcid.org/0000-0002-1115-0624>

CORRESPONDENCE TO

Anatoly Queiroz Abreu Torres

Av. Norte, Caixa Postal 3037, CEP 37200-900, Lavras, MG, Brasil

e-mail: anatoly_torres@yahoo.com.br

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

Anatoly Queiroz Abreu Torres: Conceptualization (Lead); Data curation (Lead); Formal analysis (Supporting); Investigation (Lead); Methodology (Lead); Project administration (Equal); Supervision (Supporting); Validation (Lead); Writing – original draft (Lead); Writing – review & editing (Supporting).

Rodolfo Soares de Almeida: Data curation (Supporting); Formal analysis (Lead); Investigation (Supporting); Validation (Supporting); Visualization (Equal); Writing – original draft (Supporting); Writing – review & editing (Lead).

Raul Reis Assunção: Data curation (Supporting); Methodology (Supporting).

Artur Ferro de Souza: Data curation (Supporting); Formal analysis (Supporting).

Lucas Vieira dos Santos: Data curation (Supporting); Validation (Supporting).

Lucas Amaral de Melo: Conceptualization (Equal); Formal analysis (Equal); Methodology (Equal); Project administration (Lead); Resources (Lead); Supervision

(Lead); Validation (Lead); Writing – original draft (Supporting); Writing – review & editing (Supporting).

REFERENCES

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* 2013; 22(6):711-728. DOI: [10.1127/0941-2948/2013/0507](https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507)

Assis GBD, Sukanuma MS, Melo ACGD, Durigan G. Uso de espécies nativas e exóticas na restauração de matas ciliares no estado de São Paulo (1957-2008). *Revista Árvore* 2013; 37(4):599-609. DOI: [10.1590/S0100-67622013000400003](https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000400003)

Bhargava R., Rai N. Effect on monetary return in various pruning intensities and agronomical management on *Dalbergia sissoo* biomass production under agrisilviculture system. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* 2019; 8(6): 2444-2449. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.806.291>

Brançalion PHS, Viani RA, Strassburg BBN, Rodrigues RR. Finding the money for tropical forest restoration. *Unasylva* 2012; 63(239): 25-34.

Brançalion PHS, Gandolfi S, Rodrigues RR. *Restauração Florestal*. São Paulo: Oficina de Textos; 2015.

Bertolini ÍC, Debastiani AB, Brun EJ. Caracterização silvicultural da Canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert). *Scientia Agrária Paranaensis* 2015; 4(2):67-76. DOI: <http://dx.doi.org/10.18188/1983-1471/sap.v14n2p67-76>

Bohn Reckziegel R, Sheppard JP, Kahle HP, Larysch E, Spiecker H, Seifert T, Morhart C. Virtual pruning of 3D trees as a tool for managing shading effects in agroforestry systems. *Agroforest System* 2021; 96: 89–104. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10457-021-00697-5>

Callegaro RM, Longhi SJ, Andrzejewski C, Araujo MM. Regeneração natural de espécies arbóreas em diferentes comunidades de um remanescente de floresta ombrófila mista. *Ciência Rural* 2015; 45(10):1795-1801. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131098>

Campos Filho EM, Sartorelli PAR. Guia de árvores com valor econômico. São Paulo: Agroicone; 2015.

Corrêa LS, Cardoso-Leite E, Castello ACD, Coelho S, Kortz AR, Villela, FNJ et al. Estrutura composição florística e caracterização sucessional em remanescente de Floresta Estacional Semidecidual no Sudeste do Brasil. *Revista Árvore* 2014; 38(5):799-809. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622014000500004>

Danilović M, Sarić R, Cirović V, Pudja V. The impact of pruning on tree development in poplar *Populus* × *canadensis* “I-214” plantations. *iForest-Biogeosciences and Forestry* 2022; 15(1):33-37. DOI: <https://doi.org/10.3832/ifor3865-014>

Dobner Júnior M. Pruning *Araucaria angustifolia* for knot-free timber production. *Floresta* 2022; 52(1):054-063. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v52i1.75179>

Ferreira DF. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. *Revista Brasileira de Biometria* 2019: 37(4): 529-535. DOI: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>

Hevia A, Álvarez-González JG, Majada J. Comparison of pruning effects on tree growth, productivity and dominance of two major timber conifer species. *Forest Ecology and Management* 2016: 374: 82-92. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.05.001>

Machado MS, Ferreira LR, Oliveira Neto SN, Ferreira GL, Fontes DR, Machado AFL. Métodos de controle de plantas daninhas e desrama precoce no crescimento do eucalipto em sistema silvipastoril. *Advances in Weed Science* 2014: 32(1):133-140. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582014000100015>

Mendonça GCD, Chichorro JF, Mendonça ARD, Guimarães LADOP. Avaliação silvicultural de dez espécies nativas da Mata Atlântica. *Ciência Florestal* 2017: 27(1):277-290. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509826466>

Oliveira FM, Lopes ES, Malinovski JR, Da Silva RH, Rodrigues CK. Avaliação técnica e de custos de poda manual e semimecanizada em plantios de *Pinus taeda*. *Floresta* 2012: 42(4):691-700. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/1980509826466>

Oliveira PPG, Acosta HAB, De Souza Maria L, De Carvalho MAC. Influência da época e do número de desrama sobre o desenvolvimento inicial de *Tectona grandis* L. F. no sistema silvipastoril. *Investigación Agraria* 2020: 22(1):39-45. DOI: <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2020.junio.39-45>

Oliveira CDC, Durigan G, Putz FE. Thinning temporarily stimulates tree regeneration in a restored tropical forest. *Ecological Engineering* 2021: 171:106390. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106390>

Pires BM, Reis MGF, Reis GG. Crescimento de *Eucalyptus grandis* submetido a diferentes intensidades de desrama artificial na região de Dionísio. MG. *Brasil Florestal* 2002: 21(73):14-22.

Rigueira DMG, Molinari ALM, Mariano DLS, Reis RM, Portugal AB, Santana, NDS et al. Influência da distância da borda e do adensamento foliar sobre a abundância de plantas pioneiras em um fragmento de floresta tropical submontana na Estação Ecológica de Wenceslau Guimarães (Bahia. Brasil). *Acta Botanica Brasilica* 2012: 26(1):197-202. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062012000100019>

Schneider PSP, Scheeren LW, Schneider PR, Finger CAG. Crescimento da *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ExSteud.. na depressão central do Estado do Rio Grande do Sul. *Floresta e Ambiente* 2012: 13(1):26-33. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062012000100019>

Seta GW, Widiyatno Hidayati F, Na'iem M. Impact of thinning and pruning on tree growth, stress wave velocity, and pilodyn penetration response of clonal teak (*Tectona grandis*) plantation. *Forest Science and Technology* 2021: 17(2): 57-66. DOI: [10.1080/21580103.2021.1911865](https://doi.org/10.1080/21580103.2021.1911865)

Sist P, Sablayrolles P, Barthelon S, Sousa-Ota L, Kibler JF, Ruschel, A et al. The contribution of multiple use forest management to small farmers annual incomes in the eastern amazon. *Forests* 2014: 5(7):1508-1531. DOI: <https://doi.org/10.3390/f5071508>

Silva KDA, Martins SV, Miranda A, Demolinari RDA, Lopes AT. Restauração florestal de uma mina de bauxita: avaliação do desenvolvimento das espécies arbóreas plantadas. *Floresta e Ambiente* 2016: 23(3):309-319. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.142515>

Stuepp CA, Wendling I, Xavier A, Zuffellato-Ribas KC. Vegetative propagation and application of clonal forestry in Brazilian native tree species. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília 2018: 53(09):985-1002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2018000900002>