

GUSTAVO MATTOS ABREU

**TAMANHO DA PARCELA EXPERIMENTAL, ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E
MODELAGEM DO CRESCIMENTO DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS
NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA EM RESPOSTA A SUBSTRATOS E
MICRORGANISMOS SIMBIONTES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Haroldo Nogueira de Paiva

Coorientadores: Helio Garcia Leite
Maria Catarina Megumi Kasuya

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

- A162t
2022
- Abreu, Gustavo Mattos, 1990-
Tamanho da parcela experimental, atributos morfológicos e
modelagem do crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas da
Mata Atlântica em resposta a substratos e microrganismos simbiotes /
Gustavo Mattos Abreu. - Viçosa, MG, 2022.
1 tese eletrônica (196 f.): il. (algumas color.).
- Inclui apêndices.
Orientador: Haroldo Nogueira de Paiva.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento
de Engenharia Florestal, 2022.
Inclui bibliografia.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.773>
Modo de acesso: World Wide Web.
1. Árvores - Crescimento. 2. Árvores - Meios de cultivo. 3.
Árvores - Mudas. 4. Micorriza. I. Paiva, Haroldo Nogueira de, 1956-.
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia
Florestal. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. III. Título.

GFDC adapt. CDD 22. ed. 634.9181351

Bibliotecário(a) responsável: Alice Regina Pinto Pires CRB-6/2523

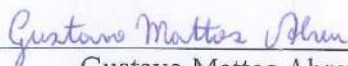
GUSTAVO MATTOS ABREU

**TAMANHO DA PARCELA EXPERIMENTAL, ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS E
MODELAGEM DO CRESCIMENTO DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS
NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA EM RESPOSTA A SUBSTRATOS E
MICRORGANISMOS SIMBIOTES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 12 de dezembro de 2022.

Assentimento:



Gustavo Mattos Abreu
Autor



Haroldo Nogueira de Paiva
Orientador

*Aos meus amados pais Fausto (in memoriam) e Nilda
à minha amada tia Leda
por todo o apoio, esforço, incentivo, dedicação e
amor que me permitiram chegar até aqui.
Dedico!*

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa Senhora da Imaculada Conceição, pela vida e saúde para chegar até aqui e por toda a iluminação e proteção para alcançar esta conquista!

Aos meus pais, Fausto (*in memorian*) e Nilda, por todos os ensinamentos, dedicação, paciência, e o mais importante, amor! Palavras não descrevem o que sinto por vocês.

Ao meu irmão Phillipe, pelo companheirismo, incentivo e amizade.

À minha tia Leda (Ledoca), que assim como uma mãe, sempre esteve ao meu lado e incentivou todos os meus passos.

À minha namorada Bruna Guirardi, por todo o amor e apoio em todos os momentos dessa caminhada.

Aos professores Haroldo Nogueira de Paiva, Helio Garcia Leite e Maria Catarina Megumi Kasuya, por toda a paciência, incentivo, conselhos e dedicação, estando dispostos a ajudar e colaborar sempre. Sou muito grato pela orientação e por tudo.

Às professoras Eliane C. S. de Freitas, Elzimar de O. Gonçalves e Marliane de C. S. da Silva pelas contribuições e considerações que enriqueceram o presente trabalho.

A todos os amigos de Viçosa pelos momentos de alegria, amizade, conforto e descontração. Vocês estão em meu coração família viçosense!

A todos os envolvidos na realização desse trabalho, em especial Bruna Guirardi, Cássio Santos, Glauciane Rodrigues, Isabelle Prado, Ivaldo Tavares, Karen Menezes, Lucas Sérgio, Marliane de Cássia e Paulo Prates, assim como aos colaboradores da UFV, em especial Alexandre, Camila e Dilson por toda a disposição e boa vontade em ajudar.

Aos proprietários do Viveiro Ouro Verde, Silvio Leão e Marlucia Bicalho, e ao proprietário do Viveiro Antuérpia, José Geraldo, assim como todos seus colaboradores pela ajuda essencial para a realização desse trabalho. Sou muito grato a todos vocês!

Ao grande amigo Violeiro Capiáu José Camargo (*in memorian*) por todas as conversas e pela amizade genuína. Você estará sempre em meu coração meu grande amigo.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da Bolsa de estudos – Código de Financiamento 001.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF), dos quais me orgulho em fazer parte. Obrigado por todo o auxílio e conhecimento transmitido.

E finalmente, agradeço a todos que me ajudaram direta ou indiretamente durante o desenvolvimento desse trabalho. Um MUITO OBRIGADO a todos!

NO RASTRO DA LUA CHEIA

No quintal lá de casa
Passava um pequeno rio
Que descia lá da serra
Ligeiro, escorregadio
A água era cristalina
Que dava pra ver o chão
Ia cortando a floresta
Na direção do sertão
Lembrança ainda me resta
Guardada no coração
E tudo era azul celeste
Brasileiro cor de anil
Nem bem começava o ano
Já era final de abril
E o vento pastoreando
Aquelas nuvens no céu
Fazia o mundo girar
Veloz como um carrossel
E levantava a poeira
E me arrancava o chapéu
Ah, o tempo faz
Tempo desfaz
E vai além sempre
A vida vem lá de longe
É como se fosse um rio
Pra rio pequeno, canoa
Pros grandes rios, navios
E bem lá no fim de tudo
Começo de outro lugar
Será como Deus quiser
Como o destino mandar
No rastro da lua cheia
Se chega em qualquer lugar

(Almir Sater)

RESUMO

ABREU, Gustavo Mattos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2022. **Tamanho da parcela experimental, atributos morfológicos e modelagem do crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica em resposta a substratos e microrganismos simbiotes.** Orientador: Haroldo Nogueira de Paiva. Coorientadores: Helio Garcia Leite e Maria Catarina Megumi Kasuya.

O uso de microrganismos simbiotes promotores do crescimento vegetal, como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), durante a produção de mudas de espécies arbóreas nativas no Brasil é algo que tem chamado a atenção de produtores pelo fato desses microrganismos promoverem maior crescimento e tolerância a estresses ambientais às plantas. A formulação dos substratos de produção das mudas, assim como suas características físicas, químicas e biológicas, é um aspecto que pode alterar a resposta das plantas aos FMA. No primeiro capítulo, foram avaliados os efeitos do uso de dois substratos (Antuérpia e Ouro Verde) e a inoculação micorrízica desses substratos (inoculado e não inoculado com FMA) no crescimento em altura da parte aérea (H) e diâmetro do coleto (DC) de mudas de espécies arbóreas nativas do bioma Mata Atlântica. Foram produzidas mudas de 11 espécies, as quais foram posteriormente agrupadas de acordo com o ritmo de crescimento (rápido e lento). Nesse capítulo, notou-se que, independentemente do ritmo de crescimento das plantas, mudas com maior crescimento são produzidas no substrato Antuérpia não inoculado com FMA. No capítulo 2, realizou-se a modelagem do crescimento em H e DC e produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) de mudas de duas espécies de ritmo rápido de crescimento (*Schinus terebinthifolia* e *Psidium guineense*) e duas espécies de ritmo lento de crescimento (*Colubrina glandulosa* e *Pterogyne nitens*) e a avaliação de qual dos atributos de fácil mensuração (H e DC) possui maior capacidade preditiva da produção de massa das mudas. Para a análise dos modelos de crescimento e produção, os atributos morfológicos foram avaliados periodicamente. Foram testados os modelos de Gompertz, Logístico e Power. Adicionalmente, avaliou-se a identidade das equações ajustadas. Os modelos Power e Logístico foram mais adequados para a modelagem dos atributos morfológicos de *S. terebinthifolia*, enquanto o modelo Logístico foi mais apropriado para *P. guineense*. Os modelos Gompertz e Logístico, respectivamente, para *C. glandulosa* e *P. nitens*, foram melhores para modelar o crescimento e produção de massa das mudas. O teste de identidade dos modelos mostrou que em 91,7% dos testes as equações ajustadas foram diferentes para os

pares de tratamentos, indicando-se utilizar equações isoladas para cada espécie, atributo morfológico e tratamento avaliados. O atributo DC possui maior capacidade preditiva da produção de massa das mudas. No capítulo 3 avaliou-se a precisão experimental em função do número de plantas que formou a parcela experimental (n) e definiu-se o tamanho ótimo de parcela para os atributos H e DC de mudas das quatro espécies estudadas no capítulo 2, as quais foram separadas pelo ritmo de crescimento. Realizou-se a análise de variância dos atributos mensurados, sendo o tamanho ideal da parcela definido como o número mínimo de plantas que permitisse obter a mesma conclusão quando se utilizou a maior intensidade amostral avaliada ($n = 50$ plantas). O aumento do n eleva a precisão experimental. O tamanho ótimo de parcela (n) para os atributos morfológicos H e DC variam de acordo com o agrupamento das espécies em função do ritmo de crescimento.

Palavras-chave: Substratos orgânicos. Fungos micorrízicos arbusculares. Precisão experimental. Crescimento e produção de mudas.

ABSTRACT

ABREU, Gustavo Mattos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2022. **Experimental plot size, morphological attributes and growth modeling of seedlings of tree species native to the Atlantic Forest in response to substrates and symbiotic microorganisms.** Adviser: Haroldo Nogueira de Paiva. Co-advisers: Helio Garcia Leite and Maria Catarina Megumi Kasuya.

The use of symbiotic microorganisms that promote plant growth, such as arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), during the production of seedlings of native tree species in Brazil is something that has drawn the attention of producers because these microorganisms promote greater growth and tolerance to environmental stress to the plants. The formulation of seedling production substrates, as well as their physical, chemical and biological characteristics, is an aspect that can change the response of plants to AMF. In the first chapter, the effects of using two substrates (Antuérpia and Ouro Verde) and the mycorrhizal inoculation of these substrates (inoculated and non-inoculated with AMF) on shoot height growth (H) and stem diameter (SD) of seedlings of tree species native to the Atlantic Forest biome were evaluated. Seedlings of 11 species were produced, which were later grouped according to growth rate (fast and slow). In this chapter, it was noted that, regardless of the growth rate of the plants, seedlings with greater growth are produced in the Antuérpia substrate not inoculated with AMF. In chapter 2, the modeling of growth in H and SD and dry mass production of shoots (DMS) and roots (DMR) of seedlings of two fast-growing species (*Schinus terebinthifolia* and *Psidium guineense*) and two species with slow growth rate (*Colubrina glandulosa* and *Pterogyne nitens*) and the evaluation of which of the easily measured attributes (H and SD) has the greatest predictive capacity of seedling mass production. For the analysis of the growth and production models, the morphological attributes were evaluated periodically. The Gompertz, Logistic and Power models were tested. Additionally, the identity of the adjusted equations was evaluated. The Power and Logistic models were more suitable for modeling the morphological attributes of *S. terebinthifolia*, while the Logistic model was more appropriate for *P. guineense*. The Gompertz and Logistic models, respectively, for *C. glandulosa* and *P. nitens*, were better for modeling seedling growth and mass production. The model identity test showed that in 91.7% of the tests the adjusted equations were different for the pairs of treatments, indicating the use of isolated equations for each species, morphological attribute and treatment evaluated. The SD attribute

has a greater predictive capacity for seedling mass production. In Chapter 3, the experimental precision was evaluated as a function of the number of plants that formed the experimental plot (n) and the optimal plot size was defined for the H and SD attributes of seedlings of the four species studied in Chapter 2, which were separated by growth rate. The analysis of variance of the measured attributes was carried out, with the ideal size of the plot defined as the minimum number of plants that allowed obtaining the same conclusion when the highest sample intensity evaluated was used ($n = 50$ plants). Increasing n increases experimental precision. The optimal plot size (n) for the morphological attributes H and SD vary according to the species grouping as a function of the growth rate.

Keywords: Organic substrates. Arbuscular mycorrhizal fungi. Experimental accuracy. Seedling growth and production.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1. Resíduos orgânicos na formulação de substratos de produção de mudas	16
2.2. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e produção de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica	22
2.3. Produção de Inoculantes de FMA	27
2.4. Modelagem do crescimento de mudas	30
2.5. Tamanho da amostra em experimentos de viveiros florestais	32
REFERÊNCIAS	35

CAPÍTULO 1 – PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA EM RESPOSTA A SUBSTRATOS E MICRORGANISMOS SIMBIONTES

RESUMO	47
1. INTRODUÇÃO	49
2. MATERIAIS E MÉTODOS	51
2.1. Caracterização da área de estudo e desenho experimental	51
2.2. Obtenção dos substratos de cultivo	52
2.3. Obtenção do inoculante de FMA	53
2.4. Produção das mudas e condução do experimento	54
2.5. Avaliação de atributos morfológicos e definição dos ritmos de crescimento das plantas	54
2.6. Análises estatísticas	55
3. RESULTADOS	56
3.1. Espécies de ritmo rápido de crescimento	56
3.2. Espécies de ritmo lento de crescimento	60
4. DISCUSSÃO	63
5. CONCLUSÕES	69
REFERÊNCIAS	69

CAPÍTULO 2 – MODELAGEM DO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE MASSA POR MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA EM RESPOSTA A SUBSTRATO DE CULTIVO E INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA)

RESUMO	76
--------------	----

1. INTRODUÇÃO	78
2. MATERIAIS E MÉTODOS	80
2.1. Caracterização da área de estudo, desenho experimental e seleção das espécies avaliadas	80
2.2. Avaliação de atributos morfológicos e definição dos ritmos de crescimento das plantas	81
2.3. Análise de regressão, teste de identidade dos modelos e análise de correlação de Pearson	82
3. RESULTADOS	85
4. DISCUSSÃO	95
5. CONCLUSÕES	99
REFERÊNCIAS	100

CAPÍTULO 3 – TAMANHO DE PARCELA PARA A AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA

RESUMO	103
1. INTRODUÇÃO	105
2. MATERIAIS E MÉTODOS	106
2.1. Caracterização da área de estudo, desenho experimental e seleção das espécies avaliadas	106
2.2. Avaliação dos atributos morfológicos, análises estatísticas e definição do tamanho ideal de parcela	108
3. RESULTADOS	110
4. DISCUSSÃO	116
5. CONCLUSÕES	122
REFERÊNCIAS	122
CONCLUSÕES GERAIS	126

APÊNDICES

APÊNDICE A – ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS DAS MUDAS DE 11 ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA AOS 157 DIAS APÓS O TRANSPLANTIO EM RESPOSTA A SUBSTRATOS E INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA)	129
---	-----

APÊNDICE B - MODELOS DE GOMPERTZ, LOGÍSTICO E POWER AJUSTADOS PARA AS VARIÁVEIS ALTURA DA PARTE AÉREA (H), DIÂMETRO DO COLETO (DC), MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA) E MASSA SECA DE RAÍZES (MSR) DE MUDAS DE AROEIRA-PIMENTEIRA (*Schinus terebinthifolia*), ARAÇÁ-DO-CAMPO

(<i>Psidium guineense</i>), SAGUARAJI (<i>Colubrina glandulosa</i>) E AMENDOIM-BRAVO (<i>Pterogyne nitens</i>) EM RESPOSTA A SUBSTRATOS E INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA)	137
---	-----

APÊNDICE C – CURVAS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO PARA AS VARIÁVEIS ALTURA DA PARTE AÉREA (H), DIÂMETRO DO COLETO (DC), MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA) E MASSA SECA DE RAÍZES (MSR) DE MUDAS DE AROEIRA-PIMENTEIRA (<i>Schinus terebinthifolia</i>), ARAÇÁ-DO-CAMPO (<i>Psidium guineense</i>), SAGUARAJI (<i>Colubrina glandulosa</i>) E AMENDOIM-BRAVO (<i>Pterogyne nitens</i>) EM RESPOSTA A SUBSTRATOS E INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA)	154
---	-----

APÊNDICE D – TESTE DE IDENTIDADE DE MODELOS PARA AS VARIÁVEIS ALTURA DA PARTE AÉREA (H), DIÂMETRO DO COLETO (DC), MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA) E MASSA SECA DE RAÍZES (MSR) DE MUDAS DE AROEIRA-PIMENTEIRA (<i>Schinus terebinthifolia</i>), ARAÇÁ-DO-CAMPO (<i>Psidium guineense</i>), SAGUARAJI (<i>Colubrina glandulosa</i>) E AMENDOIM-BRAVO (<i>Pterogyne nitens</i>) EM RESPOSTA A SUBSTRATOS E INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA)	171
---	-----

APÊNDICE E – ESTATÍSTICAS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE PLANTAS POR PARCELA EXPERIMENTAL PARA OS ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS ALTURA DA PARTE AÉREA E DIÂMETRO DO COLETO DE MUDAS DE AROEIRA-PIMENTEIRA (<i>Schinus terebinthifolia</i>), ARAÇÁ-DO-CAMPO (<i>Psidium guineense</i>), SAGUARAJI (<i>Colubrina glandulosa</i>) E AMENDOIM-BRAVO (<i>Pterogyne nitens</i>) EM RESPOSTA A SUBSTRATO DE CULTIVO E INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA)	188
---	-----

INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil possui entre 30 e 70 milhões de hectares de pastagens em processo de degradação e, ou, degradadas, sendo que grande parte dessas áreas se encontram no bioma Mata Atlântica. A capacidade produtiva desses locais pode ser recuperada por meio da restauração e reflorestamento, em especial com o uso de espécies nativas da flora do bioma. No entanto, a produção de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica encontra uma série de gargalos em relação aos aspectos silviculturais dessas espécies, como a falta de informações sobre formulações de substratos, uso de microrganismos simbiotes, manejo de fertilização, melhoramento genético, entre outros aspectos silviculturais. Dessa forma, pesquisas que resultem em soluções para esses problemas são essenciais para o desenvolvimento da silvicultura dessas espécies (Rolim et al., 2020).

Substratos utilizados para a produção de mudas de espécies arbóreas em viveiros comerciais de espécies arbóreas, na maior parte dos casos, são isentos de microrganismos. Durante o processo de produção desses substratos, a desinfestação dos materiais utilizados em sua formulação é algo necessário para se garantir que não ocorra o transporte de propágulos de microrganismos patogênicos e pragas para o viveiro florestal (Goetten et al., 2016). No entanto, essa atividade também elimina microrganismos benéficos as plantas, como rizobactérias promotoras do crescimento vegetal (PGPR) e os fungos micorrízicos arbusculares (FMA).

No Brasil, a aplicação de microrganismos benéficos às plantas em sistemas produtivos é algo consolidado em algumas culturas, a exemplo da inoculação com bactérias fixadoras de nitrogênio (BFN) em cultivos de soja. Essa atividade é uma das grandes responsáveis pela elevada produtividade e aumento da sustentabilidade na produção agrícola da cultura com maior área plantada no país (Venâncio et al., 2020). Contudo, na produção de mudas de espécies arbóreas nativas em viveiros florestais essa prática é pouco observada, sendo comum para algumas espécies exóticas, a exemplo da inoculação do substrato com fungos ectomicorrízicos em mudas do gênero *Pinus* (Gallotti, 2002).

O uso de microrganismos simbiotes promotores do crescimento vegetal, como os FMA, durante a produção de mudas de espécies arbóreas nativas no Brasil é algo que tem chamado a atenção de produtores, devido aos benefícios relatados na literatura, a exemplo dos trabalhos realizados por Abreu et al. (2022), Prates Júnior et al. (2021), Pouyu-Rojas et al. (2006), Carneiro et al. (2004) e Flores-Aylas et al. (2003). No entanto, cabe destacar que os benefícios gerados pelos FMA são dependentes de fatores intrínsecos do hospedeiro, como

aspectos genéticos e o ritmo de crescimento das plantas (Lacerda et al., 2011; Zangaro et al., 2005; Zangaro et al., 2002; Janos, 1993).

Os FMA são microrganismos simbioses obrigatórios que se associam com as plantas, auxiliando na absorção de água e nutrientes, redução da incidência e aumento de resistência a doenças e pragas, produção de hormônios vegetais importantes para o crescimento e desenvolvimento das plantas, entre outros aspectos. Esses benefícios acarretam na produção de mudas de melhor qualidade morfológica e fisiológica, resultando em redução do ciclo de produção, além de favorecer que estas tenham maior resistência às condições adversas enfrentadas após o plantio, como déficit hídrico e baixa disponibilidade de nutrientes (Moreira e Siqueira, 2006). Os atributos morfológicos das mudas, como o crescimento em altura, diâmetro e a produção de massa, influenciam no desempenho das plantas após a implantação no campo (Gomes e Paiva, 2012), o que justifica a avaliação dessas variáveis durante a produção e no momento da expedição das mudas.

O conhecimento dos efeitos que uma dada variável exerce sobre outra(s), mesmo que não haja relação causal entre elas, pode ser relacionada por meio de expressões matemáticas, a exemplo dos modelos não-lineares, os quais são mais adequados para medições ao longo do tempo (Souza, 1998). Essa compreensão é de grande valor para produzir inferências sobre um dado, quando se conhece o valor de um outro atributo sob condições pré-determinadas (Hoffmann, 2016). Essas expressões matemáticas permitem a obtenção indireta, por meio de estimativas, de atributos de interesse, como curvas de crescimento e produção vegetal.

As curvas de crescimento são descritas por curvas sigmóides que representam a dimensão de variáveis biométricas de acordo com o tempo de vida de um organismo, como massa e altura. Na modelagem do crescimento, esse conhecimento sobre a interpretação física dos parâmetros subsidia a construção de modelos padrão para as observações em estudo (Seber e Wild, 2003).

Na área florestal, os modelos empíricos foram muito utilizados na descrição e prognose do crescimento de plantas. Com o avanço desse conhecimento, modelos biológicos foram criados e aprimorados. Isso ocorreu devido ao seu potencial explicativo dos processos biológicos envolvidos nas expressões matemáticas, o que configura seu realismo biológico (Sanqueta et al., 2016). Entre os modelos biológicos, pode-se citar alguns frequentemente utilizados na área florestal, como os de Chapman-Richards, Gompertz e Logístico.

Esses modelos mostram pontos críticos na curva de crescimento dos organismos, os quais podem ser importantes para a aplicação prática. Um exemplo é a definição dos pontos de inflexão e de aceleração mínima, dado que a definição do ponto de máximo crescimento é

importante em diversos campos de estudo (Mischán et al., 2011). Do ponto de vista da produção de mudas, esse ponto pode identificar o momento em que as plantas de uma determinada espécie terão maior taxa de aceleração de crescimento, e consequentemente, maior demanda por recursos de crescimento, como água e nutrientes. Esse conhecimento pode subsidiar ajustes no manejo da irrigação e fertilização em viveiros florestais, onde os recursos poderão ser aportados em maior quantidade na época de maior demanda das plantas. No entanto, apesar o potencial de uso desses modelos na área florestal, pouco se observa sobre o assunto em referência à produção de mudas em viveiros florestais, o que justifica a realização desses estudos.

Em experimentos com espécies vegetais, a medição de todas as plantas de uma unidade experimental é a maneira mais adequada para se obter a média de uma população de plantas. Contudo, em algumas situações, essa prática é inviável, devido ao tempo e recursos necessários para a realização de censo da população de plantas. Assim, amostragens de uma parcela da população que seja representativa do grupo como um todo é uma alternativa para o pesquisador. Para isso, a definição de um tamanho da amostra apropriado durante o planejamento da pesquisa é um ponto crucial para se obter resultados confiáveis (Schoffel et al., 2020).

O correto dimensionamento da intensidade amostral é essencial para se garantir que as inferências realizadas possuam boa precisão sobre os tratamentos avaliados em experimentos de crescimento de plantas (Cargnelutti Filho et al., 2014). Em experimentos realizados em viveiros florestais, a correta avaliação dos atributos morfológicos das mudas é de essencial importância para os viveiristas e consumidores. Essas informações são importantes devido as características morfológicas possuírem relação com as taxas de crescimento e sobrevivência das mudas após o plantio (Gomes e Paiva, 2012).

Dessa forma, o presente trabalho está dividido em três capítulos. O primeiro capítulo abordará o efeito de substratos e inoculação com FMA em atributos morfológicos de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica de diferentes ritmos de crescimento. O segundo capítulo refere-se à modelagem do crescimento e a produção de biomassa de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica de diferentes ritmos de crescimento. Por fim, o terceiro capítulo irá abordar o tamanho de amostra para a avaliação da altura da parte aérea e o diâmetro do coleto de mudas produzidas em viveiros florestais.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Resíduos orgânicos na formulação de substratos de produção de mudas

A escolha do substrato de cultivo das mudas interfere tanto na germinação das sementes, quanto no crescimento das plantas (Dutra et al., 2013). Freitas et al. (2011) e Silva et al. (2010) afirmam que o substrato deve possuir características que satisfaçam o crescimento da espécie de interesse, em especial os atributos físico-químicos, como teor de nutrientes, porosidade adequada, facilidade de drenagem e aeração, baixo nível de salinidade, isenção de propágulos de plantas indesejadas, pragas e doenças. Andrade et al. (2013) apontam que o substrato deve possuir proporção adequada entre as fases sólida e líquida, permitindo atividade fisiológica radicular satisfatória e evitando a ocorrência de doenças.

O uso de substrato adequado ao crescimento das plantas favorece o viveirista devido a redução do custo de produção, dado que a muda é produzida mais rapidamente (Freitas et al., 2011). Além disso, devem ser analisados aspectos econômicos para a obtenção dos substratos, como baixo custo e elevada disponibilidade de material (Dutra et al., 2012b) e facilidade de operação em qualquer período do ano (Silva et al., 2010).

O uso de materiais considerados resíduos de outros processos é considerado benéfico, dado que esses produtos são de custo baixo e servem como fonte de nutrientes para as plantas. Seu uso reduz o risco de descarte incorreto desses materiais no ambiente (Silva et al., 2010). Segundo Caldeira et al. (2012) a reciclagem desses resíduos urbanos e sua posterior utilização no setor agrícola e florestal é uma estratégia eficiente para resolver transtornos gerados pela produção de lixo. Ao serem descartados de modo inadequado, os resíduos agroindustriais podem se tornar potenciais poluidores ambientais (Chaves et al., 2003). Desse modo, a destinação desses para a produção de substratos de mudas pode se tornar uma alternativa para evitar problemas ambientais, além de agregar valor a esses produtos.

Cunha et al. (2005) indicaram que não se deve esquecer que, em alguns casos, os produtores de mudas são formados por pessoas de baixa renda, os quais formulam os substratos utilizados com materiais disponíveis na propriedade ou em seu entorno. Entre esses materiais, podem ser citadas misturas a partir de terra, areia e resíduos diversos, podendo-se alterar a proporção desses materiais, até certo limite. O aumento da quantidade de solo na mistura torna o substrato mais barato, contudo torna-o mais pesado, dificultando o manuseio e transporte. Assim, a obtenção de materiais baratos, leves, de alta disponibilidade local e que tenham características adequadas ao crescimento das plantas é recomendada.

O uso de resíduos disponíveis na região do produtor para a composição desses substratos é comum (Dutra et al., 2012b). Entre esses resíduos, destacam-se os de origem vegetal, como o bagaço de cana e a casca de arroz, e os de origem animal, como a cama de frango e esterco de animais. O uso desses produtos condiciona o substrato de maneira satisfatória, promovendo elevada porosidade e baixa densidade. Essas características são de grande importância ao se utilizar recipientes com volume entre 50 e 500 mL e altura entre 5 e 15 cm, caso da maior parte dos sacos plásticos e tubetes de plástico rígido utilizados para a produção de mudas em viveiros florestais (Vallone et al., 2010).

Produzindo mudas de *Acacia* sp., Cunha et al. (2006) notaram que a ausência de material orgânico no substrato de produção das mudas gerou plantas com menor crescimento, em especial no sistema radicular. Os autores indicam que a importância do uso desse material vai além da nutrição, dado que o uso de componentes orgânicos promove melhoria física no substrato, o que é essencial para o desenvolvimento vegetal e à agregação de raízes ao substrato. Dias et al. (2008) apontam que os adubos orgânicos de fato melhoram a estrutura do solo, o que beneficia a aeração e capacidade de retenção de água, permitindo melhor desenvolvimento do sistema radicular.

Deve-se salientar que o sucesso ou fracasso da escolha de um dado material para compor um substrato depende de aspectos específicos, como recipiente utilizado e espécie vegetal. Freitas et al. (2006), ao estudarem formulações de substratos para produção de mudas de *Eucalyptus* sp., as quais foram produzidas em dois tipos de recipientes, observaram resultados contrastantes em relação ao uso do bagaço de cana-de-açúcar.

Os autores constataram que, em mudas produzidas em tubete com capacidade de 50 cm³, o substrato composto por bagaço de cana + torta de filtro (3:2, v:v) não promoveu benefício na produção, sendo inferior ao formado por casca de eucalipto decomposta + casca de arroz carbonizada (7:3, v:v). Por outro lado, em sistemas de blocos prensados, o substrato contendo bagaço de cana mostrou-se satisfatório, produzindo mudas com crescimento acelerado. Lima et al. (2006) observaram menor crescimento de mudas de *Ricinus communis* em substrato contendo bagaço de cana. Os autores atribuíram o resultado à possível relação C/N elevada do substrato em decorrência do uso de bagaço de cana-de-açúcar, induzindo imobilização do N.

Dutra et al. (2012a) observaram que o uso do bagaço de cana foi adequado para a produção de mudas de *Spondias tuberosa* pelo método de alporquia, devido a facilidade de obtenção do produto e baixo custo, além do mesmo possuir propriedades físicas e químicas adequadas para promover o enraizamento dos alporques. Os autores não encontraram

diferenças estatísticas no enraizamento de alporques, número, comprimento e massa de raízes entre os substratos utilizados (comercial, vermiculita e bagaço de cana).

Costa et al. (2012) avaliaram a produção de mudas de *Tamarindus indica* em resposta a ambientes protegidos e substratos formulados por diferentes proporções de solo e composto comercial Organosuper®, o qual possui resíduos de frigoríficos, bagaço de cana, e outros resíduos vegetais. Os autores encontraram efeito benéfico da aplicação de composto orgânico no substrato, a depender do ambiente no qual as mudas foram produzidas.

Os autores observaram ainda que o aumento do aporte de material orgânico beneficiou a germinação de sementes, dado o potencial do composto em promover maior retenção de água e intumescimento das sementes, o que foi positivo para aumentar a velocidade de germinação. Alves et al. (2016), Carnevali et al. (2015) e Scaloni et al. (2011) também observaram efeito positivo da aplicação do citado composto comercial na produção de mudas de, respectivamente, *Coffea canephora*, *Campomanesia xanthocarpa* e *Caesalpinia ferrea*. Ajalla et al. (2014) indicaram que o Organosuper® promoveu desbalanço nutricional, devido a alteração do pH do substrato e, consequentemente, redução de crescimento de mudas de *Campomanesia adamantium*.

Santos et al. (2011b) estudaram o crescimento e produção de mudas de *Hymenaea stigonocarpa* utilizando o mesmo composto orgânico usado por Costa et al. (2012) e encontraram resultados distintos. Os autores observaram que a aplicação do composto reduziu o crescimento das plantas em todos os ambientes avaliados. O fato de o composto aumentar o pH do substrato e alterar a disponibilidade de nutrientes, foi, segundo os autores, o motivo pelo qual não se recomenda sua aplicação para a produção de mudas de jatobá. Nos substratos onde houve aplicação de composto, houve elevação acentuada dos teores de macro e micronutrientes, o que pode ter provocado desbalanço nutricional nas mudas.

Produzindo mudas de *Schizolobium amazonicum* e testando três resíduos orgânicos (composto orgânico, resíduo agroindustrial da extração da cera de carnaúba e moinha de carvão vegetal), Araujo et al. (2017) encontraram bons resultados com o uso de substrato com altas proporções (80%) de composto orgânico, o qual possuía restos de poda de árvores. Utilizando composto semelhante, Lustosa Filho et al. (2015) observaram que a aplicação desse material contribuiu com maior acúmulo de N, P e Ca na parte aérea das mudas de *Hymenaea stigonocarpa*. A inserção de material orgânico ao solo melhora as propriedades microbiológicas do solo, entre eles a atividade de fungos micorrízicos, os quais também são estimulados pela adição de material orgânico (Sheldrake et al., 2017).

Com todos os benefícios gerados na utilização do bagaço de cana, nota-se que o mesmo possui elevado potencial para uso em viveiros florestais. Contudo, o material tem-se mostrado com baixa oferta, devido ao seu uso na própria usina de beneficiamento. O bagaço possui potencial para geração de energia elétrica por meio de sua queima. Assim, as indústrias observaram o poder desse mercado e ampliaram investimentos nessa atividade, tornando algumas delas autossuficientes em energia elétrica, o que retira de circulação grande parte do material (Caneppele et al., 2020).

Outra matéria-prima utilizada na formulação de substratos com produtos renováveis e alternativos é a cama de frango. Bonamigo et al. (2016) indicam a cama de frango na produção de mudas devido a mesma proporcionar melhorias na aeração, estrutura, retenção de água, teor de matéria orgânica e quantidade de nutrientes no substrato, o que proporciona maior crescimento das mudas. A cama de frango é composta por dejetos, penas e pela cobertura do piso do galpão de criação das aves. Após sua estabilização biológica, o material pode ser usado para a produção de mudas. Araújo et al. (2016) encontraram resultados satisfatórios com o aumento das proporções de cama de frango no substrato de produção de mudas de *Enterolobium contortisiliquum*. Segundo os autores, o material beneficiou o crescimento das plantas, em virtude do aumento da oferta de nutrientes.

Bonamigo et al. (2016) observaram maior crescimento em altura e diâmetro do coleto, produção de massa seca total, área foliar, clorofila total e Índice de Qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *Tocoyena formosa* produzidas utilizando-se substrato composto por solo + areia + cama de frango (2:1:1, v:v:v), em comparação às plantas produzidas com solo + areia (1:1, v:v). Um dos motivos para a obtenção desses resultados pode ser o fornecimento de nutrientes, dado que os autores observaram maior teor de nutrientes no substrato, em especial P e Ca, onde se adicionou a cama de frango. Além disso, os autores observaram menor relação da altura da parte aérea / massa seca de parte aérea, o que é um indicativo de mudas de melhor capacidade de sobrevivência após o plantio.

Faria et al. (2016), estudando a produção de mudas de *Mimosa setosa*, indicaram que a aplicação de cama de frango, correspondente a 35% do volume do substrato, promoveu o melhor crescimento das mudas, em comparação aos demais tratamentos com resíduos orgânicos (esterco bovino e esterco de codorna). Segundo os autores, tais resultados ocorreram, possivelmente, devido ao benefício às propriedades físicas, no caso a alta porosidade e baixa densidade, e químicas, representadas pelos altos teores de N e K do substrato. Trazzi et al. (2013) encontraram resultados similares produzindo mudas de *Tectona grandis* em condições semelhantes de substrato.

Faria et al. (2016) ainda apontam um fato interessante relacionado às diferenças observadas no crescimento de mudas de *Mimosa setosa* em resposta à aplicação de esterco de codorna e cama de frango. Segundo eles, há duas grandes diferenças entre a composição desses materiais, sendo elas o teor de sais, em especial o sódio (Na), e a proporção entre nitrogênio nítrico e amoniacal ($\text{N-NO}_3^- / \text{N-NH}_4^+$). A cama de frango possuía baixo teor de Na, o que é benéfico para as plantas, reduzindo a chance de desbalanços nutricionais promovidos pelo excesso do sal, como redução da absorção de K e Mg.

Em relação ao N, ambos produtos possuem quantidades similares de N-total, havendo alteração apenas da proporção da forma de N, onde a cama de frango teve maior concentração de N-NO_3^- . Deve-se frisar que a preferência pelo N na forma nítrica ou amoniacal é dependente da espécie vegetal (Marques et al., 2006), sendo que a maior parte dos vegetais absorvem preferencialmente o N-NO_3^- (Britto e Kronzucker, 2002), o que pode interferir na escolha da origem do esterco.

Por mais que a cama de frango possua vantagens em seu uso, resultados não satisfatórios também são observados ao se utilizar esse resíduo na produção de mudas. Carnevali et al. (2015) observaram que o uso do produto na proporção de 10% de volume do substrato, em comparação ao uso de composto orgânico, não promoveu bons resultados para a produção de mudas de *Campomanesia xanthocarpa*. Os autores indicaram que esse fato pode ter ocorrido em virtude do composto orgânico possuir maior teor de N e menor relação C/N em comparação à cama de frango, o que aumenta a disponibilidade de N para as plantas.

A correta compostagem desse material é crucial para a obtenção de resultados satisfatórios de seu uso na produção de mudas. Bortolini et al. (2017) encontraram efeitos adversos no uso da cama de frango na formulação do substrato produzindo mudas de *Cedrela fissilis* e *Anadenanthera macrocarpa*. Aos sete dias após o replantio das mudas em substrato comercial + cama de aviário (1:1, v:v), os autores observaram morte de todas as mudas, o que ocorreu novamente após o replantio. No tratamento contendo o mesmo substrato, contudo em menor proporção de cama de aviário (3:1, v:v), ocorreram resultados similares, onde todas as mudas de *A. macrocarpa* morreram aos 15 dias após o replantio, ao passo que não houve mortalidade em mudas de *C. fissilis*. Os autores acreditam que tal fato possa ter ocorrido devido o material não estar totalmente estabilizado.

Como visto, existem diferenças substanciais entre os diversos tipos de materiais provenientes de dejetos animais. Desse modo, o entendimento da dinâmica de liberação dos nutrientes presentes nesses materiais, assim como o tempo médio de decomposição, são informações relevantes para o uso do mesmo na produção de mudas. Como exemplo, dejetos

de rápida mineralização podem ser benéficos para plantas de rápido crescimento, dado que o período de maior oferta dos nutrientes se relacione com o de maior demanda da planta. Desse modo, o ritmo de crescimento da espécie, assim como a maior demanda dessa por um dado nutriente, podem ser determinantes para a escolha do material.

A cama de frango possui decomposição mais rápida, em comparação ao esterco de bovinos, dado que o esterco das aves detém maior teor de C, N e K, menores relações C/N e lignina/N e menores teores de lignina, celulose e hemicelulose (Silva et al., 2014). Além disso, os autores constataram que a taxa de liberação de N na cama de frango é rápida inicialmente, seguida de um período mais lento e gradual. O esterco de bovinos teve comportamento diferente, onde até os 90 dias após a aplicação (DAA), ao invés de mineralização, houve imobilização do N, seguida de uma baixa e lenta liberação do nutriente. Desse modo, após 270 DAA dos produtos, os citados autores constataram que houve a liberação de 5 e 15% do N total presente, respectivamente, no esterco bovino e na cama de frango. Em relação ao P, aos 270 DAA, cerca de 80 e 68% do P haviam sido liberados, respectivamente, no esterco bovino e na cama de frango.

Outro produto utilizado como componente de substratos é a moinha de carvão vegetal. O material possui boa disponibilidade em regiões produtoras de carvão vegetal, o que pode auxiliar na obtenção desse produto por viveiristas, devido ao baixo custo desse resíduo da operação de carbonização da madeira. Ávila et al. (2020) encontraram maior incremento em altura, massa seca de raízes e total de mudas de *Galphimia brasiliensis* em função da aplicação de moinha de carvão, desde que esse material não ultrapassasse, aproximadamente, 15% do volume do substrato. A partir dessa quantidade, houve prejuízo ao crescimento e produção de massa das plantas. Por outro lado, Araujo et al. (2017) não encontraram resultados positivos do uso do material na produção de mudas de *Schizolobium amazonicum*.

Avaliando a qualidade de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* em função da composição do substrato, Gonçalves et al. (2013) observaram que grande parte dos substratos utilizados foram satisfatórios em promover o crescimento das mudas, havendo melhores resultados nas formulações vermiculita + composto orgânico (1:1, v:v) e vermiculita + moinha de carvão vegetal + composto orgânico (1:1:1, v:v:v). Além disso, o substrato com moinha de carvão beneficiou a associação entre as plantas e bactérias diazotróficas, havendo maior nodulação nesse tratamento. Esse resultado discorda da afirmação de Mafia et al. (2007), os quais inferiram que o substrato não interfere nas respostas de microbiolização com rizobactérias.

Em relação aos FMA, a composição do substrato é relevante para proporcionar melhor interação entre as plantas e microrganismos. Camara et al. (2017) encontraram diferentes valores de taxa de colonização radicular em mudas de *Colubrina glandulosa* em função da formulação do substrato aos 115 dias após o transplântio. Contudo, o substrato que promoveu maior colonização micorrízica não foi o mesmo que proporcionou maior crescimento das plantas. Desse modo, os autores declararam que apenas a inoculação com FMA não foi suficiente para promover a produção de mudas com características superiores. No entanto, esses resultados podem ter ocorrido em função do curto tempo de produção das mudas, onde a associação micorrízica poderia ainda estar se estabelecendo. Os autores notaram que a maior taxa de colonização das raízes ocorreu no substrato com maior proporção de areia, a qual era de 20%. Os autores observaram que a presença de areia no substrato foi um aspecto favorável ao FMA, dado que esse material aumenta a porosidade do substrato, tornando sua aeração melhor.

Os trabalhos discutidos demonstram que existem divergências de resultados obtidos em diferentes condições experimentais e espécies estudadas, o que é comum, dado que, ao se trabalhar com aspectos biológicos, como plantas e microrganismos, nem sempre os resultados obtidos podem ser pré-definidos. A área florestal, em especial a de produção de mudas de espécies arbóreas nativas, ainda é carente de informações relacionadas às práticas que proporcionam aumento significativo de qualidade. Brito et al. (2017) afirmam que grande parte das espécies ainda não foram completamente estudadas, o que torna necessário o subsídio de informações que facilitem o manejo e custo de produção, garantindo a oferta de mudas em quantidade e qualidade para atender a demanda do mercado.

2.2. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) e produção de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica

O uso de microrganismos simbioses que favorecem o crescimento das mudas durante a produção em viveiro é algo que tem chamado a atenção de produtores, devido aos benefícios que podem ser obtidos, os quais vão além da nutrição das plantas. Dentre esses microrganismos, destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), os quais são microrganismos simbioses obrigatórios, ou seja, necessitam de um organismo hospedeiro associado, com o qual realiza trocas bidirecionais de recursos de crescimento, conseguindo assim completar o seu ciclo de vida (Siqueira et al., 1985).

A prática da micorrização de mudas durante a produção das mesmas em viveiro apresenta uma série de vantagens, como maior proteção face a doenças e pragas (El-Sharkawy

et al., 2018), obtenção de mudas de melhor qualidade morfológica (Soares et al., 2017) e fisiológica (Shi et al., 2016), menor necessidade de aplicação de nutrientes, maior promoção do crescimento das plantas (Lima et al., 2015), aumento da resistência a estresse de mudas propagadas via estaquia (Dias et al., 2012), resistência a altos níveis de salinidade (Wu et al., 2010), produção de hormônios vegetais (Kiriachek et al., 2009; Yao et al., 2005), entre outras vantagens que reduzem o tempo de produção das mudas.

Sabe-se que a maior causa da aplicação de FMA na produção vegetal se dá pela capacidade dos mesmos em aumentar a aquisição de nutrientes cujo transporte até as raízes se dá por difusão, como o P, assim como os que são imóveis no solo, caso do P, Zn e Cu (Owen et al., 2015), o que estimula o crescimento das plantas. O P desempenha papel fundamental para o crescimento e desenvolvimento vegetal, onde sua deficiência pode alterar muitos processos importantes para as plantas. Esse nutriente está envolvido no metabolismo de açúcares e na transferência de energia nos vegetais, assim como é constituinte do DNA e RNA (Attarzadeh et al., 2019).

As reservas de fosfato de rocha, matéria-prima para a produção de fertilizantes fosfatados inorgânicos, são um recurso não renovável cada vez mais escasso no planeta (Cordell e White, 2011). Outro aspecto agravante é que grande parte dos fertilizantes fosfatados utilizados no Brasil são advindos de outros países, o que resulta em aumento do custo de produção (Withers et al., 2018). Além disso, a adubação fosfatada em solos tropicais, os quais possuem elevado grau de intemperismo, apresenta baixa eficiência, onde apenas uma pequena parcela do P aplicado é absorvido pelas raízes, ficando a maior parte desse mineral acumulada no solo como P indisponível (Campos et al., 2018; Santos et al., 2011a). Dessa forma, é exigida a aplicação de doses elevadas desses fertilizantes para que se alcance os níveis de produção desejados.

A busca por estratégias que visem garantir a menor necessidade do uso de fertilizantes pode ser algo estratégico a longo prazo para os produtores. A redução do uso de insumos pode reduzir o custo de produção, além de promover menor risco ambiental, dado que o uso inadequado de fertilizantes é um dos maiores causadores da eutrofização de corpos d'água (Dari et al., 2018; Huang et al., 2017). Essa questão é de notável interesse para o setor florestal, dado que muitos empreendimentos são instalados em solos com elevado grau de intemperismo, os quais, em sua grande maioria, apresentam deficiência de minerais, em especial de P, como é o caso do bioma Cerrado. Nesses solos, o P possui baixa solubilidade, o que, aliado à predominância de argilominerais do tipo 1:1 e óxidos e hidróxidos de Fe e Al, reduz a disponibilidade do mineral para as plantas (Novais et al., 2007; Novais e Smyth,

1999). Adicionalmente, o P-disponível quase sempre é limitado na rizosfera (Richardson et al., 2009), o que pode agravar o problema.

Diante desse cenário, os FMA ocupam posição de destaque como uma alternativa para a produção vegetal com menor uso de recursos externos. Esses microrganismos são capazes de interferir na dinâmica do P no solo, dado que as hifas do fungo, em função de sua maior extensão e volume de solo ocupado, conseguem adquirir P em locais fora do alcance do sistema radicular das plantas (Ferrol et al., 2019). Essa circunstância aumenta a eficiência de aquisição de P pelas plantas (Chu et al., 2020). A nutrição vegetal é um dos aspectos mais valiosos para se obter mudas de qualidade, devido sua importância nos atributos fisiológicos e morfológicos das mudas (Shi et al., 2016).

A rustificação das plantas é um dos principais aspectos requeridos por compradores ao adquirir mudas de espécies arbóreas (Soares et al., 2017). Ao reduzir a oferta de água das plantas durante o período de rustificação no viveiro, prática comum para aclimatar as mudas a condições de déficit hídrico, os autores notaram maior vigor em mudas produzidas em substrato não inoculado com FMA. Essa etapa é uma das mais influentes para que se garanta que as mudas produzidas possuam resistência às condições de campo (D'Avila et al., 2011). Assim, mudas mais vigorosas possuem maior capacidade de sobrevivência em campo, o que reduz a mortalidade e necessidade de replantios.

Por mais que a inoculação com FMA possua pontos vantajosos para a produção de mudas, deve-se destacar que esses microrganismos têm capacidade diferenciada em colonizar e promover benefícios às espécies vegetais (Sawyer et al., 2003). Os FMA demonstram baixa especificidade hospedeira, o que significa que uma mesma espécie de FMA possui capacidade de se associar com uma grande variedade de espécies vegetais de diferentes ritmos e hábitos de crescimento (Souza et al., 2017), o que é situação comum em viveiros florestais que produzem mudas de espécies arbóreas nativas.

Em situações em que o inóculo é aplicado a uma grande variedade de plantas de grupos sucessionais distintos, o que também pode ocorrer nesses viveiros florestais, é comum a ocorrência de diferentes respostas aos microrganismos. Os FMA interagem de modo diferenciado em função dos hospedeiros, assim como o grupo ecológico ao qual eles pertencem (Moreira e Siqueira, 2006). Dessa forma, o benefício gerado pela simbiose irá depender da interação entre as partes, aliada às condições ambientais, devido a existência de microrganismos mais adaptados a determinadas condições de solo, como pH e disponibilidade de nutrientes (Tahat e Sijam, 2012).

Trabalhos relatando a produção de mudas de diversas espécies arbóreas nativas do Brasil associadas com FMA são encontrados na literatura. Entre eles, pode-se observar resultados positivos, neutros e negativos da prática. Desse modo, ressalta-se que entre os fatores que podem determinar o efeito da associação planta x FMA destacam-se o teor de nutrientes no solo, em especial o P, assim como a espécie vegetal e o microrganismo envolvidos na associação (Santos et al., 2016).

Soares et al. (2017) encontraram resposta negativa da inoculação com *Glomus clarum* e *Gigaspora margarita* em mudas de *Anadenanthera colubrina*, observando redução no crescimento, produção de massa e qualidade das mudas produzidas em substrato inoculado. De modo contrário, mudas de *Calophyllum brasiliense* tiveram incremento das citadas variáveis em função da inoculação com FMA. Faria et al. (2013) notaram diferença da associação micorrízica no crescimento, taxa de colonização de raízes e esporulação de FMA em nível de progênies de *Hymenaea stagnocarpa*, indicando alta especificidade em resposta aos FMA.

O trabalho realizado por Pouyu-Rojas et al. (2006) traz um apanhado de informações relativas às interações existentes entre espécies vegetais e FMA. Os autores avaliaram o benefício no crescimento de mudas de 16 espécies arbóreas nativas do sudeste brasileiro promovido pela inoculação com FMA, sendo oito espécies de FMA e dois isolados (floresta e agrofloresta). Entre os resultados, destaca-se a taxa de colonização micorrízica das raízes (CMR), onde as espécies de FMA promoveram alta variabilidade de CMR nos hospedeiros.

Um dos extremos observados por Pouyu-Rojas et al. (2006), em mudas de *Tabebuia serratifolia*, o FMA *Scutellospora pellucida* colonizou 78% das raízes das mudas, enquanto *Scutellospora gregaria* colonizou apenas 3%. A CMR influenciou a produção de massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de *T. serratifolia*, onde *S. pellucida* promoveu incremento superior da citada variável, em comparação ao controle, enquanto nas plantas associadas com *S. gregaria*, a MSPA foi semelhante ao controle. O exposto demonstra que a compatibilidade da simbiose é extremamente dependente das espécies envolvidas, dado que FMA do mesmo gênero colonizaram as raízes e beneficiaram o hospedeiro de maneira tão distinta.

A porcentagem de colonização nem sempre é uma característica segura para se definir o efeito que o endófito causa no crescimento da planta hospedeira. Certos fungos podem possuir grande capacidade de colonizar o hospedeiro, mas a produção de hifas externas, estrutura que permite a maior absorção de nutrientes e água, varia muito entre as espécies de FMA (Abbott e Robson, 1985). Desse modo, o ambiente e o genótipo da planta e do fungo são determinantes na eficiência da colonização pelo FMA, a qual pode gerar

condições favoráveis ou desfavoráveis ao vegetal, a depender do balanço energético da interação (Santos et al., 2011a). O caráter parasítico da associação é algo que pode ocorrer em situações em que o crescimento de mudas produzidas em substrato não inoculado seja maior do que as inoculadas. Assim, a relação planta x FMA pode se tornar um parasitismo, ao invés de uma simbiose (Schiavo et al., 2010).

Pouyu-Rojas et al. (2006) indicaram ainda que o grau de colonização micorrízica foi influenciado pelo grupo ecológico ao qual as espécies vegetais pertencem. Os autores notaram decréscimo da necessidade da simbiose com o avanço no grau de sucessão das plantas, dado que maiores taxas de CMR foram obtidos em pioneiras ou secundárias iniciais, enquanto houve redução da CMR a índices baixos ou nulos em espécies clímax. Assim, os autores concluíram que existe seletividade diferenciada entre plantas e FMA, havendo diferenças substanciais na eficiência da simbiose em função do hospedeiro.

Trabalhos pioneiros sobre os FMA indicam que os microrganismos endofíticos se associam mais rapidamente com algumas espécies de plantas em relação a outras, o que pode ser uma característica ligada a fatores evolutivos dos vegetais, em especial a arquitetura do sistema radicular (Hayman, 1983; Jehne, 1980). Karanika et al. (2008) observaram que de fato isso ocorre, dado que espécies gramíneas possuem menor grau de colonização radicular quando comparadas a outros grupos de plantas, a exemplo das leguminosas. Segundo o citado autor, isso ocorre devido o sistema radicular dessas espécies ser muito ramificado e à presença abundante de pelos radiculares, ocasionando reduzida dependência do FMA para absorção de água e nutrientes.

Plantas que possuem sistema radicular pouco ramificado respondem a micorrização, mesmo quando o nível de fósforo é elevado no solo (Silva et al., 2018). Esse fato pode explicar o motivo pelo qual espécies vegetais distintas demonstram diferentes níveis de benefício em função da associação com os FMA, sendo que essas informações ainda são escassas para espécies arbóreas nativas (Dalanhol et al., 2016).

Ao se realizar a inoculação com um dado FMA selecionado, é necessário compreender que esse microrganismo escolhido pelo seu desempenho satisfatório em condições experimentais, seja em laboratório ou casa de vegetação, pode gerar efeito contrastante quando aplicado a campo. Isso pode ocorrer devido uma infinidade de causas, como adaptação às condições ambientais locais e interações com a população microbiana nativa, as quais, na maior parte das vezes, são competitivas (Machineski et al., 2011; Soares et al., 2006).

O uso de maior diversidade de FMA, em comparação à inoculação com uma única espécie de fungo, pode gerar maior benefício ao vegetal. No entanto, isso nem sempre é observado. Souza et al. (2010) apontam que, em alguns casos, a introdução de fungos alóctones via inoculação pode causar maior benefício ao vegetal do que o uso de FMA nativos. Por outro lado, Johnson et al. (2010) indicam que FMA adaptados ao meio podem gerar maior benefício nutricional às plantas, em especial na aquisição de nutrientes que apresentam baixa disponibilidade.

Salienta-se que a alta diversidade de FMA em comunidades nativas não é o suficiente para se determinar que haverá maior benefício simbiótico, dado que alguns fungos introduzidos no ambiente via inoculação podem ser mais eficientes que os nativos (Souza et al., 2010). Assim a inoculação com maior diversidade de espécies de FMA pode ser algo promissor, considerando-se que a inoculação com um mix de fungos pode tornar-se complementar, onde cada espécie possa gerar o maior benefício possível ao vegetal (Smith et al., 2011).

Essas observações permitem inferir que, em alguns casos, a aplicação de mais de uma espécie de FMA possa resultar em efeitos negativos ou positivos às plantas. Desse modo, nota-se que não existem resultados pré-determinados ao se trabalhar com microrganismos simbioss, não podendo-se afirmar com antecedência ou generalizar se a aplicação de maior ou menor número de espécies de fungo irá beneficiar o crescimento vegetal. Dessa forma, cabe aos técnicos investigar e avaliar as especificidades caso a caso e decidir qual a melhor opção para uma determinada espécie vegetal ou grupo de espécies, assim como em diferentes condições ambientais em que as plantas se encontram.

2.3. Produção de Inoculantes de FMA

A existência de inoculantes comerciais contendo FMA é uma realidade em alguns países. A produção desses inóculos visa promover benefícios no crescimento, nutrição e resistência das plantas, seja em ambientes protegidos, como é o caso dos viveiros florestais, ou em condições de campo. A inoculação em larga escala em viveiros é dependente da disponibilidade de inoculantes de FMA, os quais podem ser adquiridos de maneira comercial ou produzidos pelos próprios viveiristas (Goetten et al., 2016).

No entanto, existem alguns empecilhos para a produção de inoculantes de FMA em larga escala. Um dos maiores desafios é a natureza biotrófica obrigatória desses fungos, os quais são dependentes das plantas hospedeiras para sobreviver (Selvakumar et al., 2018). Adicionalmente, a produção de inóculos em larga escala envolve altos custos relacionados à

tecnologia de produção, como a obtenção de culturas puras (isolados) e substratos específicos para a multiplicação dos FMA, os quais são arcados pelos consumidores, como viveiristas e agricultores (Douds Jr. et al., 2006).

Uma alternativa para se desvencilhar desse problema é a fabricação de inóculo na propriedade do usuário final do produto, método conhecido como “*on-farm*” (na fazenda). Nesse sistema, o produtor rural prepara o inóculo em sua propriedade, utilizando espécies de FMA nativos do local e, ou, introduzidos de outros ambientes. Essa forma de obtenção de inóculo apresenta grande potencial de uso, evitando alguns custos e obstáculos envolvidos na produção de inoculantes em larga escala, além da tecnologia ser facilmente transferida para produtores rurais (Douds Jr. et al., 2012; Douds Jr. et al., 2008).

A produção de inóculo de FMA pelo método “*on-farm*”, em comparação ao uso de inóculos de espécies de fungos isolados, oferece muitas vantagens para o produtor de mudas. Entre os pontos positivos, destacam-se o menor custo de obtenção, a captura de maior diversidade de microrganismos benéficos às plantas e a capacidade de produzir inóculo contendo isolados de FMA adaptados ao local de plantio (Douds Jr. et al., 2010). Essa fonte de inóculo pode ser mais efetiva em promover o crescimento de plantas (Oliveira et al., 2005), devido ser adaptada ao ecótipo onde será utilizado, além de possuir menor chance de efeitos ecológicos negativos, como a introdução de espécies invasoras e, ou, contaminantes (Schwartz et al., 2006).

Além do método ser prático, a utilização de maior diversidade de FMA indígenas pode ser mais eficaz do que o uso de espécies isoladas introduzidas, resultando em maior crescimento das plantas. Além disso, o uso de maior número de grupos taxonômicos de FMA favorece a ocorrência de maior diversidade funcional entre fungos, fornecendo benefícios diversos, como ocupação espacial do solo e produção de glomalina (Douds Jr. et al., 2010).

Em condições em que o inóculo será utilizado em um maior número de espécies de plantas hospedeiras, o ideal é que exista elevada diversificação de espécies de FMA, o que potencializa a ocorrência da simbiose. Por outro lado, a existência de alguma(s) espécie(s) de FMA que produz(em) grande quantidade de esporos pode causar a redução ou inibição da esporulação de outros grupos de FMA mais eficientes para um dado grupo de plantas (Douds et al., 2006). Dessa forma, a variabilidade na resposta de crescimento das plantas também pode ocorrer, a depender da espécie vegetal hospedeira (Douds Jr. et al., 2010).

Diversos produtos podem ser utilizados na composição do substrato dos inoculantes, em especial os resíduos da produção agropecuária, como bagaço de cana-de-açúcar, folhas de palmeira e esterco, os quais podem ser facilmente encontrados em propriedades rurais

(Schlemper e Strümer, 2014; Douds et al., 2006). O uso desses materiais de baixo custo e fácil acesso aos produtores é essencial para viabilizar a aplicação dessa biotecnologia na agricultura e em programas de recuperação ambiental (Coelho et al., 2014).

Quando a produção de inóculo pelo método *on-farm* é realizado de forma adequada, a técnica permite a obtenção de grande quantidade de propágulos de FMA. A exemplo, pode-se citar os valores obtidos por Schlemper e Strümer (2014), os quais observaram de 233 a 350 propágulos infecciosos por cm³ de inóculo, valor considerado elevado. A presença de materiais orgânicos no substrato de produção do inóculo, o que é comum no método *on-farm*, provoca aumento da produção de propágulos de FMA (Gaur e Adholeya, 2005; Silva et al., 2005). Consequentemente, o incremento do número de propágulos gera inoculante com maior capacidade de infectar as raízes de plantas hospedeiras, elevando as chances da simbiose.

Apesar dos aspectos positivos relacionados ao uso de microrganismos simbioses na produção de mudas de espécies arbóreas, nota-se que a inoculação não é uma prática frequente nos viveiros florestais. Um dos problemas relacionados à baixa adesão a essa tecnologia pelos viveiristas é a dificuldade de aquisição de inoculantes no Brasil (Goetten et al., 2016). Adicionalmente, há baixa difusão de informações sobre a inoculação de mudas com microrganismos simbioses para os produtores, os quais, em grande parte dos casos, não possuem conhecimento sobre esse recurso.

Poucos resultados sobre o efeito dos inoculantes produzidos pelo método *on-farm* na produção de mudas de espécies arbóreas são encontrados na literatura. Os achados de Goetten et al. (2016) indicam que a resposta das plantas a esse método de produção de inoculantes pode ser positiva. Os citados autores encontraram que a aplicação de FMA produzido nesse método influenciou significativamente a altura da parte aérea e o diâmetro do coleto de mudas de *Luehea divaricata*, *Centrolobium robustum* e *Cedrella fissilis*. No entanto, os autores não observaram efeito da inoculação nos mesmos atributos morfológicos para *Schinus terebinthifolius*, *Garcinia gardneriana* e *Lafoensia pacari*, atribuindo o resultado a alguma característica intrínseca dessas espécies que possa ter reduzido ou eliminado a dependência micorrízica.

Esses resultados reforçam que a resposta à inoculação é dependente da espécie vegetal, o que sugere que mais estudos sejam realizados para averiguar os efeitos da prática. Ao se considerar que a produção de mudas, na maior parte dos casos, é realizada com substratos que não possuem microrganismos benéficos ao crescimento de plantas, a obtenção de inoculantes para os produtores pode ser uma estratégia para obter mudas com menor custo de produção, especialmente em virtude do menor consumo de fertilizantes. Aliado a isso, a

comercialização de mudas com esse suplemento tecnológico pode servir como estratégia de marketing para o viveirista, principalmente pelo fato de que mudas de espécies arbóreas micorrizadas possuem maior taxa de sobrevivência após o plantio (Carneiro et al., 2004).

2.4. Modelagem do crescimento de mudas

O conhecimento dos efeitos que uma dada variável exerce sobre outra(s), mesmo que não haja relação causal entre elas, pode ser relacionada por meio de modelos de regressão. Essa compreensão é de grande valor para produzir inferências sobre um dado, quando se conhece o valor de um outro atributo sob condições pré-determinadas (Hoffmann, 2016). A análise de regressão é o estudo da dependência de uma variável (variável dependente), em relação a uma ou mais variáveis (variáveis explanatórias), com o intuito de estimar e, ou, prever o valor médio da população da primeira em termos dos valores conhecidos ou fixados, em amostragens repetidas, das segundas (Gujarati e Porter, 2011). Esse entendimento permite a obtenção indireta, por meio de estimativas, de atributos de interesse, como o crescimento e produção vegetal.

Existe uma grande quantidade de modelos que se ajustam de maneira adequada a diferentes dados e situações, os quais podem ser classificados como modelos lineares ou não-lineares (Floriano et al., 2006), sendo os não-lineares mais adequados para medições ao longo do tempo (Souza, 1998). Esses modelos são utilizados para descrever o crescimento de indivíduos ao longo do tempo, por meio da construção de curvas de crescimento, possuindo a vantagem de apresentar parâmetros com interpretação biológica, o que auxilia na tomada de decisões do operador (Lúcio et al., 2016).

O termo curva de crescimento é caracterizado por curvas sigmoidais representando o tempo de vida de medidas de dimensão de variáveis biométricas, como massa e altura. Na modelagem do crescimento, as informações reunidas sobre a interpretação física dos parâmetros subsidiam a construção de modelos padrão para as observações em estudo (Seber e Wild, 2003). Em situações em que mais de um modelo se ajusta aos dados observados, a escolha do melhor modelo que exprime a curva de crescimento deve ser realizada pelo avaliador (Floriano et al., 2006). Geralmente, dois critérios de seleção são considerados para a escolha do modelo, sendo eles o ajustamento da função aos dados e o afastamento dos dados em relação ao modelo.

Algumas estatísticas são de grande importância para a escolha da equação, entre eles o coeficiente de correlação entre os valores observados e preditos (r_{yy}), o qual estima o ajustamento dos dados, e o quadrado médio dos resíduos (QMres), o qual estima o

afastamento (Floriano et al., 2006). No entanto, a seleção de modelos baseado apenas em sua capacidade preditiva pode levar a conclusões equivocadas, caso os parâmetros não possuam interpretação biológica (Sari et al., 2019). De forma complementar, a escolha também é influenciada pela análise gráfica dos resíduos (Bussab, 1986), assim como pela área de pesquisa, o problema em questão e o tipo de crescimento que se deseja modelar (Draper e Smith, 1981).

Na ciência animal, a análise de dados de crescimento utilizando modelos não-lineares foram desenvolvidos de maneira empírica (modelos empíricos) para relacionar o peso e idade de animais. As equações geradas mostram-se eficientes para expor a curva de crescimento, associando dados experimentais coletados ao longo do tempo, de modo a condensar muitas variáveis, formando parâmetros de significado fisiológico e biológico. Essa constatação é de grande importância para a interpretação dos fenômenos relacionados ao crescimento e produção (DeNise e Brinks, 1985; Brown et al., 1976).

Na área florestal, os modelos empíricos também foram muito utilizados, a fim de descrever e prognosticar o crescimento de plantas. No entanto, com o decorrer do tempo, os modelos biológicos foram aprimorados, gerando crescente utilização desses na área florestal. Isso ocorreu devido ao seu potencial explicativo dos processos biológicos envolvidos nas expressões matemáticas, o que configura seu realismo biológico (Sanqueta et al., 2016).

A principal diferença entre essas classes de modelos é que os empíricos são apenas uma expressão matemática da relação entre variáveis, enquanto os modelos biológicos trazem consigo uma hipótese sobre a biologia do processo de crescimento (Zanin, 2013). Entre os modelos biológicos, pode-se citar alguns frequentemente utilizados na área florestal, como os de Chapman-Richards, Gompertz e Logístico. Os parâmetros biologicamente interpretáveis desses modelos quantificam a velocidade de crescimento de um organismo, determinando o momento em que o crescimento tende a se estabilizar. Assim, é possível realizar comparações e inferências sobre a produção ao longo do tempo, diferenciando-se genótipos em relação à precocidade e produtividade (Sari et al., 2019).

Além dos parâmetros de interpretação biológica, esses modelos mostram pontos críticos na curva de crescimento dos organismos que podem ser importantes para a aplicação prática. Um exemplo é a definição dos pontos de inflexão e de aceleração mínima, dado que a definição do ponto de máximo crescimento é importante em diversos campos de estudo (Mischak et al., 2011). Do ponto de vista da produção de mudas, o ponto de máxima aceleração do crescimento pode identificar o momento em que as plantas de uma determinada

espécie terão maior demanda por recursos, como água e nutrientes. Esse conhecimento pode subsidiar ajustes no manejo da irrigação e fertilização em viveiros florestais.

O conhecimento do crescimento vegetal ao longo do tempo e em função de variáveis diversas, sejam elas ambientais e, ou, edáficas, é de grande importância para o manejo das plantas. Avaliar o ciclo de crescimento das plantas por meio da análise de atributos de fácil mensuração e não destrutivos, como a altura da parte aérea e o diâmetro do coleto, são de grande interesse para a produção vegetal. Por meio desses atributos morfológicos torna-se possível realizar investigações sobre o efeito de fenômenos ecológicos e, ou, práticas de manejo no crescimento das espécies vegetais (Cardoso et al., 2006).

Diversos trabalhos relacionados à modelagem do crescimento inicial e produção de espécies agrícolas de ciclo curto são observados na literatura, a exemplo dos realizados por Puiatti et al. (2013) e Mohanty e Painuli (2004). No entanto, por mais que modelos não-lineares de crescimento e produção sejam aplicados em diversas áreas na ciência florestal, caso da prognose do crescimento e produção de povoamentos florestais, pouco se observa sobre o assunto na produção de mudas em viveiros florestais.

O trabalho desenvolvido por Silva et al (2015) é um dos poucos encontrados, o que denota grande lacuna de trabalhos científicos relacionados ao tema. A realização desses trabalhos pode servir como subsídios para novas pesquisas, assim como para produtores de mudas em viveiros florestais, dado que essas equações preditivas podem apresentar razoável precisão em intervalos de tempo definidos (Gupta et al., 2012), o que é o caso da produção de mudas.

2.5. Tamanho da amostra em experimentos de viveiros florestais

Na experimentação, a medição de todos os indivíduos de uma população é a melhor forma para se obter um parâmetro. Contudo, isso pode tornar-se inviável de acordo com as características do experimento, como número de plantas e dimensão das mesmas, assim como os recursos disponíveis para a realização da pesquisa. Dessa forma, a amostragem de uma parcela da população representativa de um dado grupo é uma alternativa para o pesquisador. Para isso, a definição do tamanho de amostra adequado para a pesquisa é importante para que os resultados obtidos sejam confiáveis (Schoffel et al., 2020).

O tamanho da amostra é definido como o número de unidades experimentais a serem avaliadas para responder questões levantadas em um estudo, devendo essa definição ser realizada na fase de planejamento da pesquisa. O principal objetivo de se conhecer o tamanho da amostra é determinar o número de indivíduos necessários para detectar o efeito de um dos

fatores avaliados na pesquisa (tratamento). Existem alguns métodos estatísticos disponíveis na literatura para se definir o tamanho ideal da amostra para que o pesquisador obtenha a confiança desejada nos resultados. A escolha do método mais adequado para o cálculo do tamanho da amostra é dependente do tipo de pesquisa e as características (atributos) a serem estudadas (Noordzij et al., 2011).

Em condições em que o tamanho da amostra for reduzido, corre-se o risco de não detectar o efeito dos tratamentos, o que limita ou compromete as conclusões do estudo, impedindo que os resultados sejam extrapolados para outras populações (Altman, 1991). Por outro lado, elevada intensidade amostral pode resultar em maior alocação de recursos financeiros e tempo despendidos pelo pesquisador (Noordzij et al., 2011). Sempre que as observações adicionais não resultarem em incrementos significativos de informações, os custos de obtenção dos dados podem não justificar a coleta (Eckermann et al., 2010). Normalmente, obter o valor da informação é algo difícil, o que leva pesquisadores a justificarem de maneira empírica a quantidade de dados coletados em uma pesquisa (Lakens, 2022).

Como a limitação de recursos é comum em diversas áreas de pesquisa, torna-se valioso realizar a ponderação entre o custo de obtenção dos dados adicionais e a informação que esses fornecem. Essa ponderação gera o que é chamado de custo da informação (Eckermann et al., 2010). O tamanho da amostra deve ser maior em condições em que os dados apresentem alta variabilidade e, ou, quando o pesquisador deseja obter menor erro de estimação (Bussab e Morettin, 2012), dado que a intensidade amostral possui relação direta com a precisão da pesquisa e inversa com a variância média da amostra (Zar, 2010).

Essa constatação foi observada por Zanon et al. (1997), avaliando o tamanho da amostra para a variável altura (H) em mudas de *Eucalyptus saligna*. Na ocasião, os autores concluíram que para alcançar diferença mínima significativa (d) de 10% da média da população seriam necessárias 26 mudas, ao passo que aceitando-se $d = 20\%$ seriam necessárias apenas 8 plantas. Isso demonstra que quanto maior a precisão desejada pelo pesquisador, maior deverá ser o número de unidades que compõem a amostra.

Em experimentos realizados em viveiros florestais, torna-se imprescindível avaliar de modo adequado e com a precisão desejada a qualidade morfológica das mudas produzidas durante a fase de crescimento das plantas, por meio de atributos como a altura (H), diâmetro do coleto (DC) e a relação entre esses (H/DC). Essa preocupação é devida as características morfológicas possuírem relação com as taxas de crescimento e sobrevivência das mudas após o plantio (Gomes e Paiva, 2012). O correto dimensionamento da intensidade amostral é

essencial para se garantir que as inferências realizadas possuam boa precisão sobre os tratamentos avaliados em experimentos de crescimento de plantas (Cargnelutti Filho et al., 2014). No entanto, deve-se evidenciar que existem diferenças entre espécies vegetais no tocante à intensidade amostral necessária para se obter resultados a um dado nível de confiança.

Atributos que apresentem alta variabilidade possuem baixa precisão experimental, o que exige um maior número de amostras para se obter um mesmo nível de confiança e erro assumidos em atributos de maior uniformidade (Ferreira, 2009). Como exemplo, pode-se citar o observado por Silveira et al. (2009) ao pesquisar o tamanho da amostra para avaliar o crescimento em H e DC de mudas de *Pinus taeda*. Os citados autores notaram que a maior variabilidade da H das mudas exigiu maior número de unidades amostrais para alcançar semiamplitude de 10% da média da população, sendo necessárias 25 e 12 plantas para as estimativas das variáveis H e DC, respectivamente.

A conclusão do trabalho de Silveira et al. (2009) pode estar relacionado ao fato que o diâmetro das plantas é influenciado, especialmente, pelas condições ambientais, as quais possuem baixa variação em experimentos realizados em ambientes protegidos, como viveiros florestais e casas de vegetação. Por outro lado, a altura é influenciada por aspectos genéticos, os quais são intrinsecamente de maior variabilidade (Kramer e Kozlowski, 1972), especialmente quando as mudas são produzidas por sementes, o que foi o caso do trabalho de Silveira et al. (2009).

Além disso, a época de avaliação pode interferir no número de plantas que formam a parcela experimental. Cargnelutti Filho et al. (2012) notaram que o tamanho de amostra para avaliar as variáveis H, DC e relação H/DC de mudas de canjerana (*Cabralea canjerana*) sofreu alteração de acordo com a idade de avaliação das plantas. Inicialmente, a H das plantas teve baixa variabilidade dentro da parcela, exigindo menor intensidade amostral, e com o passar do tempo, essa variabilidade foi aumentando. Por outro lado, os autores notaram comportamento contrário para o DC das mudas. Por fim, os autores concluíram que 18 plantas por unidade experimental foram suficientes para estimar esses atributos com erro de estimação igual a 10% da média estimada e intervalo de confiança de 95%.

Normalmente, os atributos morfológicos das plantas possuem menor variabilidade quando comparados a outros atributos, como reprodutivos e composição química, exigindo que a avaliação desses últimos englobe maior número de amostras. Burin et al. (2014), avaliando o crescimento de tremoço branco (*Lupinus albus*), encontraram maior coeficiente de variação nos atributos reprodutivos das plantas, os quais foram cerca de 2,4 vezes maiores,

quando comparados aos atributos morfológicos. Comportamento similar foi observado por Schmildt et al. (2017) ao definir o número de amostras para avaliar as características de frutos de maracujá (*Passiflora foetida*). Os autores notaram que para se estimar os atributos morfológicos dos frutos, assumindo-se erro de estimação de 5%, seriam necessários apenas 5 frutos, enquanto para alguns atributos químicos, ao mesmo nível de erro, seriam necessários 150 frutos.

Outros experimentos com espécies agrícolas cultivadas no Brasil foram realizados para definir o tamanho de parcela em diversas culturas, como couve-flor (Bittencourt et al., 2022), mandioca (Schoffel et al., 2020), alecrim (Schoffel et al., 2019), feijão de porco (Cargnelutti Filho et al., 2018a), feijão guandu anão (Cargnelutti Filho et al., 2018b) e milho (Kleinpaul et al., 2017). No entanto, poucos trabalhos são observados quando se trata da produção de mudas de espécies arbóreas nativas. A realização dessas pesquisas possui grande valor para pesquisadores, dado que essa informação pode otimizar substancialmente o planejamento de recursos empregados em experimentos científicos.

REFERÊNCIAS

- ABBOTT, L. K.; ROBSON, A. D. Formation of external hyphae in soil by four species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytologist**, v. 99, n. 2, p. 245-255, 1985.
- ABREU, G. M.; PAIVA, H. N.; PAULA, S. D.; GUIRARDI, B. D.; KASUYA, M. C. M.; ARAÚJO, G. M. Soil of the parent plant and AMF mix improve Cerrado's seedlings growth in forest nurseries. **iForest**, v. 15, p. 197-205, 2022.
- AJALLA, A. C. A.; VIEIRA, M. C.; VOLPE, E.; ZÁRATE, N. A. H. Crescimento de mudas de *Campomanesia adamantium* (Cambess.) O. Berg (guavira), submetidas a três níveis de sombreamento e substratos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 2, p. 449-458, 2014.
- ALTMAN, D. G. **Practical statistics for medical research**. London: Chapman & Hall, 1991. 608 p.
- ALVES, E. R.; SCHMIDT, R.; MOREIRA, R.; DIAS, J. R. M.; MAIA, E. Biometria e trocas gasosas em mudas clonais de cafeeiro submetidas a diferentes substratos. **Coffee Science**, v. 11, n. 4, p. 435 – 443, 2016.
- ANDRADE, A. P.; BRITO, C. C.; SILVA JÚNIOR, J.; COCOZZA, F. D. M.; SILVA, M. A. V. Estabelecimento inicial de plântulas de *Myracrodruon urundeuva* alemão em diferentes substratos. **Revista Árvore**, v.37, n.4, p.737-745, 2013.
- ARAUJO, E. F.; AGUIAR, A. S.; ARAUCO, A. M. S.; GONÇALVES, E. O.; ALMEIDA, K. N. S. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Nativa**, v. 5, n. 1, p. 16-23, 2017.

ARAÚJO, E. F.; ARAUCO, A. M. S.; LACERDA, J. J. J.; RATKE, R. F.; MEDEIROS, J. C. Crescimento e balanço nutricional de mudas de *Enterolobium contortsiliquum* com aplicação de substratos orgânicos e água residuária. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 86, p. 169-177, 2016.

ATTARZADEH, M.; BALOUCHI, H.; RAJAIE, M.; DEHNAVI, M. M.; SALEHI, A. Growth and nutrient content of *Echinacea purpurea* as affected by the combination of phosphorus with arbuscular mycorrhizal fungus and *Pseudomonas florescent* bacterium under different irrigation regimes. **Journal of Environmental Management**, v. 231, p. 182-188, 2019.

ÁVILA, J.; SILVA, A. A.; CHAGAS, E. S.; TOLEDO, V. R.; LIMA, A. P. L.; LIMA, S. F.; OLIVEIRA, I. C. Moinha de carvão e bioestimulante na formação de mudas de *galphimia brasiliensis*. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, e664997612, 2020.

BITTENCOURT, K. C.; SOUZA, R. R.; PAZETTO, S. B.; TOEBE, M.; TOEBE, I. C. D. What is the best way to define sample size for cauliflower seedlings?. **Ciência Rural**, v. 52, n. 12, e20210747, 2022.

BONAMIGO, T.; SCALON, S. P. Q.; PEREIRA, Z. V. Substratos e níveis de luminosidade no crescimento inicial de mudas de *Tocoyena formosa* (Cham. & Schltdl.) K. Schum. (Rubiaceae). **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 501-511, 2016.

BORTOLINI, J.; TESSARO, D.; GONÇALVES, M. S.; ORO, S. R. Lodo de esgoto e cama de aviário como componente de substratos para a produção de mudas de *Cedrela fissilis* e *Anadenanthera macrocarpa* (Benth). Brenan. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 4, p. 121-12, 2017.

BRITTO, D. T.; KRONZUCKER H. J. NH₄ + toxicity in higher plants: A critical review. **Journal of Plant Physiology**, v. 159, p. 567–584, 2002.

BROWN, J. E.; FITZHUGH JR., H. A.; CARTWRIGHT, T. C. A comparison of nonlinear models for describing weight-age relationships in cattle. **Journal of Animal Science**, v. 42, n. 4, p. 810-818, 1976.

BURIN, C.; CARGNELUTTI FILHO, A.; TOEBE, M.; ALVES, B. M.; FICK, A. L. Dimensionamento amostral para a estimação da média e da mediana de caracteres de tremçoço branco (*Lupinus albus* L.). **Comunicata Scientiae**, v. 5, n. 2, p. 205-212, 2014.

BUSSAB, W. O. **Análise de variância e de regressão**. São Paulo: Atual, 1986. 147p.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística básica**. 7. ed. São Paulo: Saraiva, 2012. 540 p.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LÜBE, S. G.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; ALVES, A. F. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 77-84, 2012.

CAMARA, R.; FONSECA JÚNIOR, A. M.; SOUSA, A. C. O.; PEREIRA, M. G. G.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. Q. Influência do substrato e inoculação micorrízica na produção de mudas de Colubrina glandulosa Perkins. **Floresta**, v. 47, n. 4, p. 449-458, 2017.

CAMPOS, P.; BORIE, F.; CORNEJO, P.; LÓPEZ-RÁEZ, J. A.; LÓPEZ-GARCÍA, Á.; SEGUEL, A. Phosphorus acquisition efficiency related to root traits: is mycorrhizal symbiosis a key factor to wheat and barley cropping?. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, e752, 2018.

CANEPELE, F. L.; GODINHO, E. Z.; DALTIM, R. S.; GASPAROTTO, H. V.; ZUIN, L. F. S. Cogeração de energia em usina sucroalcooleira almejando sustentabilidade. **Expressa Extensão**, v. 25, n. 3, p. 91-106, 2020.

CARDOSO, G. D.; ALVES, P. L. C. A.; BELTRÃO, N. E. M.; BARRETO, A. F. Uso da análise de crescimento não destrutiva como ferramenta para avaliação de cultivares. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 2, p. 79-84, 2006.

CARGNELUTTI FILHO, A.; ALVES, B. M.; TOEBE, M.; BRIN, C.; WARTHA, C. A. Sample size to estimate the mean of traits in jack bean. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1, e5505, 2018a.

CARGNELUTTI FILHO, A.; ALVES, B. M.; FOLMANN, D. N.; BEM, C. M.; KLEINPAUL, J. A.; PESSINI, F. V. SIMÕES, F. M. Tamanho de amostra para a estimação da média de caracteres de sementes de feijão guandu anão. **Revista Agrarian**, v. 11, n. 41, p. 294-298, 2018b.

CARGNELUTTI FILHO, A.; ARAUJO, M. M.; GASPARIN, E.; AVILA, A. L. Dimensionamento amostral para avaliação de altura e diâmetro de mudas de *Cabralea canjerana*. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p. 1204-1211, 2012.

CARGNELUTTI FILHO, A.; POLETO, T.; MUNIZ, M. F. B.; BAGGIOTTO, C.; POLETO, I.; FRONZA, D. Dimensionamento amostral para avaliação de altura e diâmetro de mudas de nogueira-pecã. **Ciência Rural**, v. 44, n. 12, p. 2151-2156, 2014.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Fósforo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no estabelecimento de mudas de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 3, p. 119-125, 2004.

CARNEVALI, T. O.; VIEIRA, M. C.; LUCIANO, A. T.; GONÇALVES, W. V.; RODRIGUES, W. B.; RAMOS, M. B. M. Initial growth of *Campomanesia xanthocarpa* O. Berg under different substrate compositions. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v.17, n.2, p.316-323, 2015.

CHAVES, L. L. B.; CARNEIRO, J. G. A.; BARROSO, D. G.; LELES, P. S. S. Efeitos da inoculação com rizóbio e da adubação nitrogenada na produção de mudas de *Sesbania* em substrato constituído de resíduos agroindustriais. **Revista Árvore**, v. 27, n. 4, p. 443-449, 2003.

CHU, Q.; ZHANG, L.; ZHOU, J.; YUAN, L.; CHEN, F.; ZHANG, F.; FENG, G.; RENGEL, Z. Soil plant-available phosphorus levels and maize genotypes determine the phosphorus acquisition efficiency and contribution of mycorrhizal pathway. **Plant and Soil**, v. 449, p. 357-371, 2020.

COELHO, I. R.; PEDONE-BONFIM, M. V. L.; SILVA, F. S. B.; MAIA, L. C. Optimization of the production of mycorrhizal inoculum on substrate with organic fertilizer. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 45, n. 4, p. 1173-1178, 2014.

CORDELL, D.; WHITE, S. Peak phosphorus: clarifying the key issues of a vigorous debate about long-term phosphorus security. **Sustainability**, v. 3, p. 2027-2049, 2011.

COSTA, E.; FERREIRA, A. F. A.; SILVA, P. N. L.; NARDELLI, E. M. V. Diferentes composições de substratos e ambientes protegidos na formação de mudas de pé-franco de tamarindeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 4, p. 1189-1198, 2012.

CUNHA, A. M.; CUNHA, G. M.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, G. M.; AMARAL, J. F. T. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 207-214, 2006.

CUNHA, A. O.; ANDRADE, L. A.; BRUNO, R. L. A.; SILVA, J. A. L.; SOUZA, V. C. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. Ex D.C.) Standl. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 507-516, 2005.

DARI, B.; NAIR, V. D.; SHARPLEY, A. N.; KLEINMAN, P.; FRANKLIN, D.; HARRIS, W. G. Consistency of the threshold phosphorus saturation ratio across a wide geographic range of acid soils. **Agrosystems, Geosciences & Environment**, v. 1, p. 1-8, 2018.

D'AVILA, F. S.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; BARROS, N. F.; LEITE, F. P. Efeito do potássio na fase de rustificação de mudas clonais de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 35, n. 1, p. 13-19, 2011.

DENISE, R. K.; BRINKS, J. S. Genetic and environmental aspects of the growth curve parameters in beef cows. **Journal of Animal Science**, v. 61, n. 6, p. 1431-1440, 1985.

DIAS, M. A.; LOPES, J. C.; CORRÊA, N. B.; DIAS, D. C. F. S. Germinação de sementes e desenvolvimento de plantas de pimenta malagueta em função do substrato e da lâmina de água. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, p. 115-121, 2008.

DOUDS JR, D. D.; NAGAHASHI, G.; HEPPELRY, P. R. On-farm production of inoculum of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi and assessment of diluents of compost for inoculum production. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 7, p. 2326-2330, 2010.

DOUDS JR., D. D.; LEE, J.; ROGERS, L.; LOHMAN, M. E.; PINZON, N.; GANSER, S. Utilization of inoculum of AM fungi produced on-farm for the production of *Capsicum annuum*: a summary of seven years of field trials on a conventional vegetable farm. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 28, n. 2, p. 129-145, 2012.

DOUDS JR., D. D.; NAGAHASHI, G.; REIDER, C.; HEPPELRY, P. R. Choosing a mixture ratio for the on-farm production of AM fungus inoculum in mixtures of compost and vermiculite. **Compost Science & Utilization**, v. 16, n. 1, p. 52-60, 2008.

DOUDS JR., D. D.; NAGAHASHI, G.; PFEFFER, P. E.; REIDER, C.; KAYSER, W. M. On-farm production of AM fungus inoculum in mixtures of compost and vermiculite. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 6, p. 809-818, 2006.

DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1981. 709p.

DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D.; SARMENTO, M. F. Q.; OLIVEIRA, J. C. Substratos alternativos e métodos de quebra de dormência para produção de mudas de canafístula. **Revista Ceres**, v. 60, n. 1, 72-78, 2013.

DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D.; SARMENTO, M. F. Q.; OLIVEIRA, J. C. Ácido indolbutírico e substratos na alporquia de umbuzeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 424-429, 2012a.

DUTRA, T. R.; MASSAD, M. D.; SARMENTO, M. F. Q.; OLIVEIRA, J. C. Emergência e crescimento inicial da canafístula em diferentes substratos e métodos de superação de dormência. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 2, p. 65-71, 2012b.

ECKERMAN, S.; KARNON, J.; WILLAN, A. R. The value of value of information. **Pharmacoeconomics**, v. 28, p. 699-709, 2010.

EL-SHARKAWY, H. H. A.; RASHAD, Y. M.; IBRAHIM, S. A. Biocontrol of stem rust disease of wheat using arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma* spp. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 103, p. 84-91, 2018.

FARIA, J. C. T.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; ROCHA, R. L. F. Alternative substrates in the seedling production of *Mimosa setosa* Benth. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 4, p. 1075-1086, 2016.

FARIA, T. M.; SCABORA, M. H.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Micorrização e crescimento de progênes de *Hymenaea stagnocarpa* Mart. ex. Hayne em subsolo de área degradada. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 233-243, 2013.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2009. 664 p.

FERROL, N.; AZCÓN-AGUILAR, C.; PÉREZ-TIENDA, J. Review: Arbuscular mycorrhizas as key players in sustainable plant phosphorus acquisition: An overview on the mechanisms involved. **Plant Science**, v. 280, p. 441-447, 2019.

FLORES-AYLAS, W. W.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Efeito de *Glomus etunicatum* e fósforo no crescimento inicial de espécies arbóreas em semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 257-266, 2003.

FLORIANO, E. P.; MÜLLER, I.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Ajuste e seleção de modelos tradicionais para série temporal de dados de altura de árvores. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, p. 177-199, 2006.

FREITAS, S. J.; CARVALHO, A. J. C.; BERILLI, S. S.; SANTOS, P. C.; MARINHO, C. S. Substratos e Osmocote® na nutrição e desenvolvimento de mudas micropropagadas de abacaxizeiro cv. Vitória. **Revista Brasileira de Fruticultura**, p. 672-679, 2011.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A.; PENCHEL, R. M.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A. Mudanças de eucalipto produzidas a partir de miniestacas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 519-528, 2006.

GALLOTTI, G. J. M. Importância da micorrização em viveiros de *Pinus* spp. **Agropecuária Catarinense**, v. 15, n. 3, p. 60-61, 2002.

GAUR, A.; ADHOLEYA, A. Diverse response of five ornamental plant species to mixed indigenous and single isolate arbuscular-mycorrhizal inocula in marginal soil amended with organic matter. **Journal of Plant Nutrition**, v. 28, n. 4, p. 707-723, 2005.

GOETTEN, L. C.; MORETTO, G.; STÜRMER, S. L. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi inoculum produced on farm and phosphorus on growth and nutrition native Woody plant species from Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 30, n. 1, p. 9-16, 2016.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. Viçosa: Editora UFV, 2012. 116p.

GONÇALVES, F. G.; ALEXANDRE, R. S.; SILVA, A. G. D.; LEMES, E. D. Q.; ROCHA, A. P. D.; RIBEIRO, M. P. D. A. Emergência e qualidade de mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) em diferentes substratos. **Revista Árvore**, v. 37, n. 6, p. 1125-1133, 2013.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 924p.

GUPTA, M. K.; CHANDRA, P.; SAMUEL, D. V. K.; SINGH, B.; SINGH, A.; GARG, M. K. Modeling of tomato seedling growth in greenhouse. **Agricultural Research**, v. 1, p. 362-369, 2012.

HAYMAN, D. S. The physiology of vesicular–arbuscular endomycorrhizal symbiosis. Canadian. **Journal of Botany**, v. 61, n.3, p. 944-963, 1983.

HOFFMANN, R. **Análise de regressão: Uma introdução à econometria**, 5. ed., Piracicaba: Hucitec, 2016. 393 p.

HUANG, J.; XU, C. C.; RIDOUTT, B. G.; WANG, X. C.; REN, P. A. Nitrogen and phosphorus losses and eutrophication potential associated with fertilizer application to cropland in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 159, p. 171-179, 2017.

JANOS, D. P. Vesicular-arbuscular mycorrhizae of epiphytes. **Mycorrhiza**, v. 4, p. 1-4, 1993.

JEHNE, W. Endomycorrhizas and the productivity of tropical pastures: the potential for improvement and its practical realization. **Tropical Grasslands**, v. 14, n.3, p. 202-209, 1980.

JOHNSON, N. C.; WILSON, G. W. T.; BOWKER, M. A.; WILSON, J. A.; MILLER, R. M. Resource limitation is a driver of local adaptation in mycorrhizal symbioses. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n.5, p. 2093-2098, 2010.

KARANIKA, E. D.; VOULGARIA, O. K.; MAMOLOSA, A. P.; ALIFRAGISB, D. A.; VERESOGLOUA, D. S. Arbuscular mycorrhizal fungi in Northern Greece and influence of soil resources on their colonization. **Pedobiologia**, v. 51, n. 6, p. 409-418, 2008.

KIRIACHEK, S. G.; AZEVEDO, L. C. B.; PERES, L. E. P.; LAMBAIS, M. R. Regulação do desenvolvimento de micorrizas arbusculares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1-16, 2009.

KLEINPAUL, A.; CARGNELUTTI FILHO, A.; ALVES, B. M.; BURIN, C.; NEU, I. M. M.; SILVEIRA, D. L.; SIMÕES, F. M. Tamanho de amostra para estimação da média de

caracteres de milho em épocas de avaliação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 16, n. 2, p. 251-262, 2017.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1972. 745 p.

LACERDA, K. A. P.; SILVA, M. M. S.; CARNEIRO, M. A. C.; REIS, E. F.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada no crescimento inicial de seis espécies arbóreas do cerrado. **Cerne**, v. 17, n. 3, p. 377-386, 2011.

LAKENS, D. Sample size justification. **Collabra: Psychology**, v. 8, n. 1, e33267, 2022.

LIMA, K. B.; RITER NETTO, A. F.; MARTINS, M. A.; FREITAS, M. S. M. Crescimento, acúmulo de nutrientes e fenôis totais de mudas de cedro-australiano (*Toona ciliata*) inoculadas com fungos micorrízicos. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 4, p. 853-862, 2015.

LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; SILVA, M. I. L.; JERÔNIMO, J. F.; VALE, L. S.; BELTRÃO, N. E. M. Substratos para produção de mudas de mamoneira compostos por misturas de cinco fontes de matéria orgânica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 30, n. 3, p. 474-479, 2006.

LÚCIO, A. D. C.; SARI, B. G.; RODRIGUES, M.; BEVILAQUA, L. M.; VOSS, H. M. G.; COPETTI, D.; FAÉ, M. Modelos não-lineares para a estimativa da produção de tomate do tipo cereja. **Ciência Rural**, v. 46, n. 2, p. 233-241, 2016.

LUSTOSA FILHO, J. F.; NÓBREGA, J. C. A.; NÓBREGA, R. S. A.; DIAS, B. O.; AMARAL, F. H. C.; AMORIM, S. P. N. Influence of organic substrates on growth and nutrient contents of jatobá (*Hymenaea stigonocarpa*). **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 26, p. 2544-2552, 2015.

MACHINESKI O.; BALOTA E. L.; SOUZA J. R. P. Resposta da mamoneira a fungos micorrízicos arbusculares e a níveis de fósforo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, p. 1855-1862, 2011.

MAFIA, R. G.; ALFENAS, A. C.; FERREIRA, E. M.; TEIXEIRA, D. D. A.; ZAUZA, E. A. V. Indução do enraizamento e crescimento do eucalipto por rizobactérias: efeito da adição de fonte alimentar e da composição do substrato de enraizamento. **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 589-597, 2007.

MARQUES, V. B.; PAIVA, H. N.; GOMES, J. M.; NEVES, J. C. L. Efeito de fontes e doses de nitrogênio no crescimento de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n 71, p. 77-85, 2006.

MISCHAN, M. M.; PINHO, S. Z.; CARVALHO, L. R. Determination of a point sufficiently close to the asymptote in nonlinear growth functions. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 1, p. 109-114, 2011.

MOHANTY, M.; PAINULI, D. K. Modeling rice seedling emergence and growth under tillage and residue management in a rice-wheat system on a Vertisol in Central India. **Soil and Tillage Research**, v. 76, n. 2, p. 167-174, 2004.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 626 p

NOORDZIJ, M.; DEKKER, F. W.; ZOCCALI, C.; JAGER, K. J. Sample size calculations. **Nephron Clinical Practice**, v. 118, n. 4, p. 319-323, 2011.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999. 399p.

OLIVEIRA, R. S.; VOSÁTKA, M.; DODD, J. C.; CASTRO, P. M. L. Studies on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and the efficacy of two native isolates in a highly alkaline anthropogenic sediment. **Mycorrhiza**, v. 16, p. 23-31, 2005.

OWEN, D.; WILLIAMS, A. P.; GRIFFITH, G. W.; WITHERS, P. J. A. Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. **Applied Soil Ecology**, v. 86, p. 41-54, 2015.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 413-424, 2006.

PRATES JÚNIOR, P.; MOREIRA, B. C.; SILVA, M. C. S.; DIOGO, N. V.; LUZ, J. M. R.; JORDÃO, T. C.; PAIVA, H. N.; KASUYA, M. C. M. Mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilization show contrasts on native species of the Brazilian Atlantic Forest and Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, e0210013, 2021.

PUIATTI, G. A.; CECON, P. R.; NASCIMENTO, M.; PUIATTI, M.; FINGER, F. L.; SILVA, A. R.; NASCIMENTO, A. C. C. Análise de agrupamento em seleção de modelos de regressão não lineares para descrever o acúmulo de matéria seca em plantas de alho. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 31, n. 3, p. 337-351, 2013.

RICHARDSON, A. E.; BAREA, J. M.; MCNEILL, A. M.; PRIGENT-COMBARET, C. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. **Plant and Soil**, v. 321, p. 305-339, 2009.

ROLIM, S. G.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; PIOTTO, A.; BATISTA, A.; FREITAS, M. L. M.; BRIENZA JUNIOR, S.; ZAKIA, M. J. B.; CALMON, M. **Prioridades e lacunas de pesquisa e desenvolvimento em silvicultura de espécies nativas no Brasil**. São Paulo: WRI Brasil, 2020. Disponível em: https://www.wribrasil.org.br/sites/default/files/af_wri_workingpaper_researchgapsinsilviculture_portugues_web.pdf. Acesso em: 14 dez. 2022.

SANQUETTA, C. R.; DURIGAN, A.; SANQUETTA, M. N. I.; CORTE, A. P. D.; MAAS, G. C. B. Modelos biológicos de crescimento em diâmetro para aroeira. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 23, p. 812-821, 2016.

SANTOS, D. H.; SILVA, M. A.; TIRITAN, C. S.; FOLONI, J. S. S.; ECHER, F. R. Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.443–449, 2011a.

SANTOS, L. C. R.; COSTA, E.; LEAL, P. A. M.; NARDELLI, E. M. V.; SOUZA, G. S. A. de. Ambientes protegidos e substratos com doses de composto orgânico comercial e solo na formação de mudas de jatobazeiro em Aquidauana-MS. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 249-259, 2011b.

SANTOS, R. S.; SCORIZA, R. N.; SILVA, E. M. R.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Selection of mycorrhizal fungi for the initial growth of *Albizia polycephala*. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 11, n. 2, p. 98-103, 2016.

SARI, B. G.; LÚCIO, A. D. C.; SANTANA, C. S.; SAVIAN, T. V. Describing tomato plant production using growth models. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 146-154, 2019.

SAWYER, N. A.; CHAMBERS, S. M.; CAIRNEY, J. W. G. Utilisation of inorganic and organic phosphorus sources by isolates of *Amanita muscaria* and *Amanita* species native to temperate eastern Australia. **Australia Journal of Botany**, v. 51, p. 151-158, 2003.

SCALON, S. D. P. Q.; TEODÓSIO, T. K. C.; NOVELINO, J. O.; KISSMANN, C.; MOTA, L. H. D. S. Germinação e crescimento de *Caesalpinia ferrea* mart. Ex tul. em diferentes substratos. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 633-639, 2011.

SCHIAVO, J. A.; SILVA, C. A.; ROSSET, J. S.; SECRETTI, M. L.; SOUZA, R. A. C.; CAPPI, N. Composto orgânico e inoculação micorrízica na produção de mudas de pinhão manso. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 3, p. 322-329, 2010.

SCHLEMPER, T. R.; STÜRMER, S. L. On farm production of arbuscular mycorrhizal fungi inoculum using lignocellulosic agrowastes. **Mycorrhiza**, v. 24, p. 571-580, 2014.

SCHMILDT, E. R.; ALEXANDRE, R. S.; SIQUEIRA, A. L.; MAYRINCK, L. G.; SCHMILDT, O. Dimensionamento amostral para analisar caracteres físicos e químicos de frutos de maracujá-fedorento. **Revista Ceres**, v. 64, n. 2, p. 115-121, 2017.

SCHOFFEL, A.; KOEFENDER, J.; CAMERA, J. N.; GOLLE, D. P.; HORN, R. C. Tamanho de amostra em mudas de *Rosmarinus officinalis* L. (alecrim) cultivadas em diferentes substratos. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v. 24, n. 2, p. 1-16, 2019.

SCHOFFEL, A.; LOPES, S. J.; KOEFENDER, J.; LÚCIO, A. D.; CAMERA, J. N.; GOLLE, D. P. Sample size for estimation of averages of agronomic traits in cassava seedlings. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 8, n. 5, p. 73-82, 2020.

SCHWARTZ, M. W.; HOEKSEMA, J. D.; GEHRING, C. A.; JOHNSON, N. C.; KLIRONOMOS, J. N.; ABBOTT, L. K.; PRINGLE, A. The promise and the potential consequences of the global transport of mycorrhizal fungal inoculum. **Ecology Letters**, v. 9, n. 5, p. 501-515, 2006.

SEBER, G. A.; WILD, C. J. **Nonlinear regression**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2003. 768 p.

SELVAKUMAR, G.; SHAGOL, C. C.; KANG, Y.; CHUNG, B. N.; HAN, S. G.; SA, T. M. Arbuscular mycorrhizal fungi spore propagation using single spore as starter inoculum and a plant host. **Journal of Applied Microbiology**, v. 124, n. 6, p. 1556-1565, 2018.

SHELDRAKE, M.; ROSENSTOCK, N. P.; REVILLINI, D.; OLSSON, P. A.; MANGAN, S.; SAYER, E. J.; WALLANDER, H.; TURNER, B. L.; TANNER, E. V. J. Arbuscular mycorrhizal fungal community composition is altered by long-term litter removal but not litter addition in a lowland tropical forest. **New Phytologist**, v. 214, p.455-467, 2017.

SHI, S. M.; CHEN, K.; GAO, Y.; LIU, B.; YANG, X. H.; HUANG, X. Z.; HE, X. H. Arbuscular mycorrhizal fungus species dependency governs better plant physiological characteristics and leaf quality of mulberry (*Morus alba* L.) seedlings. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, p. 1-11, 2016.

SILVA, E. N.; TAVARES, A. T.; SILVA, C. P.; FERREIRA, T. A.; CARLINE, J. V. G.; NASCIMENTO, I. R. Fungos micorrízicos arbusculares e doses de fósforo no desenvolvimento de mudas de guanandi. **Nativa**, v. 6, n. 3, p. 246-251, 2018.

SILVA, F. S. B.; YANO-MELO, A. M.; BRANDÃO J. A. C.; MAIA L. C. Sporulation of arbuscular mycorrhizal fungi using Tris-HCl buffer in addition to nutrient solutions. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 36, p. 327-332, 2005.

SILVA, J. I.; VIEIRA, H. D.; VIANA, A. P.; BARROSO, D. G. Desenvolvimento de mudas de *Coffea canephora* Pierre ex A. froehner em diferentes combinações de substrato e recipiente. **Coffee Science**, v. 5, n. 1, p. 38-48, 2010.

SILVA, J. W. L.; SILVA, T. G. F.; BARBOSA, M. L. Espécies *Caesalpinia pyramidalis* Tul. e *Prosopis juliflora* Sw (DC.) sob diferentes regimes hídricos: crescimento e ajuste de modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 6, p. 1692-1710, 2015.

SILVA, V. B. D.; SILVA, A. P. D.; DIAS, B. D. O.; ARAUJO, J. L.; SANTOS, D.; FRANCO, R. P. Decomposition and mineralization of N, P and K of cattle manure and poultry litter isolated or mixed. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 5, p. 1537-1546, 2014.

SILVEIRA, B. D.; LÚCIO, A. D.; LOPES, S. J.; OLIVEIRA, F. Randomness and sample size in *Pinus taeda* L. seedlings. **Revista Ceres**, v. 56, n. 6, p. 730-735, 2009.

SIQUEIRA, J. O.; SYLVIA, D. M.; GIBSON, J.; HUBBEL, D. H. Spores, germination, and germ tubes of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 31, n. 11, p. 965-972, 1985.

SMITH, S. E.; JAKOBSEN, I.; GRONLUND, M.; SMITH, F. A. Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. **Plant Physiology**, v. 156, p. 1050-1057, 2011.

SOARES, A. L. D. L.; PEREIRA, J. P. A. R.; FERREIRA, P. A. A.; VALE, H. M. M. D.; LIMA, A. S.; ANDRADE, M. J. B. D.; MOREIRA, F. M. D. S. Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em perdões (MG): I-caupi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 5, p. 795-802, 2006.

SOARES, M. T. S.; GAIAD, S.; RESENDE, A. S.; MENEZES, G. I.; FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M. Qualidade de mudas de espécies arbóreas procedentes do Bioma

Pantanal e inoculadas com fungos micorrízicos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 37, n. 91, p. 311-322, 2017.

SOUZA, F.A.; SCHLEMPER, T. R.; STÜRMER, S. L. A importância da tecnologia de inoculação de fungos micorrízicos para a sustentabilidade na olericultura. In: LOPES, C. A.; PEDROSO, M. T. M. (ed.). **Sustentabilidade e horticultura no Brasil**: da retórica à prática. Brasília: Embrapa, p. 223-252. 2017

SOUZA, G. S. **Introdução aos modelos de regressão linear e não-linear**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 1998. 489p.

SOUZA, R. G.; GOTO, B. T.; SILVA, D. K. A.; SILVA, F. S. B.; SAMPAIO, E. V. S. B.; MAIA, L. C. The role of arbuscular mycorrhizal fungi and cattle manure in the establishment of *Tocoyena selloana* Schum. in mined dune areas. **European Journal of Soil Biology**, v. 46, n. 3-4, p. 237-242, 2010.

TAHAT, M. M.; SIJAM, K. Mycorrhizal fungi and abiotic environmental conditions relationship. **Research Journal of Environmental Sciences**, 2012.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; PASSOS, R. R.; GONÇALVES, E. O. Substratos de origem orgânica para produção de mudas de teca (*Tectona grandis* Linn. F.). **Ciência Florestal**, v. 23, n. 3, p. 401-409, 2013.

VALLONE, H. S.; GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S.; CUNHA, R. L.; DIAS, F. P. Diferentes recipientes e substratos na produção de mudas de cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 1, p. 55-60, 2010.

VENANCIO, W. S.; BUSO, P. H. M.; & DIAZ-ZORITA, M. Changes in soybean productivity under different durations of pretreated seed inoculated with *Bradyrhizobium elkanii*. **Asian Journal of Microbiology, Biotechnology & Environmental Sciences**, v. 22, n. 2, p. 273-282, 2020.

WITHERS, P. J.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; CARVALHO, T. S.; GUILHERME, L. R. G.; BENITES, V. M.; GATIBONI, L. C.; SOUSA, D. M. G.; NUNES, R. S.; ROSELEM, C. A.; ANDREOTE, F. D.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; COUTINHO, E. L. M.; PAVINATO, P. S. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, v. 8, 2537, 2018.

WU, Q. S.; ZOU, Y. N.; HE, X. H. Contributions of arbuscular mycorrhizal fungi to growth, photosynthesis, root morphology and ionic balance of citrus seedlings under salt stress. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 32, p. 297-304, 2010.

YAO, Q.; ZHU, H. H.; CHEN, J. Z. Growth responses and endogenous IAA and iPAs changes of litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) seedlings induced by arbuscular mycorrhizal fungal inoculation. **Scientia Horticulturae**, v. 105, n. 1, p. 145-151, 2005.

ZANGARO, W.; NISHIDATE, F. R.; CAMARGO, F. R. S.; ROMAGNOLI, G. G.; VANDRESSEN, J. Relationships among arbuscular mycorrhizas, root morphology and seedling growth of tropical native woody species in southern Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 21, n. 5, p. 529-540, 2005.

ZANGARO, W.; NISIZAKI, S. M. A.; DOMINGOS, J. C. B.; NAKANO, E. M. Micorriza arbuscular em espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi, Paraná. **Cerne**, v. 8, n. 1, p. 77-87, 2002.

ZANIN, N. T. **Modelagem da produção mensal de indivíduos de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* com inclusão de variáveis meteorológicas**. 2013. 97 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

ZANON, M. L. B.; STORCK, L.; FINGER, C. A. G.; HOPPE, J. M. Tamanho de amostra para experimentos de *Eucalyptus saligna* Smith em viveiro. **Ciência Florestal**, v. 7, p. 133-138, 1997.

ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. 5. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2010. 944 p.

CAPÍTULO 1 – PRODUÇÃO DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA EM RESPOSTA A SUBSTRATOS E MICRORGANISMOS SIMBIONTES

RESUMO

Grande parte dos substratos comerciais utilizados para a produção de mudas em viveiros florestais são isentos de microrganismos benéficos para o crescimento das plantas. Entre esses microrganismos, destacam-se os fungos micorrízicos arbusculares (FMA), os quais promovem benefícios no crescimento, nutrição e resistência a fatores bióticos e abióticos estressantes. Os efeitos da associação planta x FMA são dependentes de fatores diversos, entre eles a espécie vegetal avaliada e seu ritmo de crescimento. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de substratos e inoculação com FMA no crescimento em altura, diâmetro do coleto e a relação entre esses atributos morfológicos de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica de diferentes ritmos de crescimento. O experimento foi realizado entre setembro de 2019 a fevereiro de 2020 (157 dias), em um viveiro comercial de produção de mudas de espécies arbóreas nativas, localizado no município de Belo Oriente (MG). Foram selecionadas onze espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica para a produção das mudas. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos, organizados em arranjo fatorial 2 x 2, sendo os fatores o substrato de cultivo das mudas (substrato Ouro Verde e substrato Antuérpia) e a inoculação micorrízica (inoculado e não inoculado), com 4 repetições, totalizando 16 unidades experimentais por espécie avaliada. As mudas foram produzidas em tubete de plástico rígido com capacidade de 280 cm³. Decorridos 157 dias após o transplântio das mudas, realizou-se as medições da altura da parte aérea (H) e diâmetro do coleto (DC) das plantas. A separação dos grupos de diferentes ritmos de crescimento foi feita de acordo com a H média das plantas. Espécies com H média > H média da população (H média da população = 23,2 cm) foram enquadradas como de ritmo de crescimento rápido, enquanto espécies com H média < H média da população foram consideradas como de ritmo de crescimento lento. O crescimento em H e DC das espécies de rápido crescimento foram influenciados pela interação entre o substrato e a inoculação, o que não foi notado para a relação H/DC. A inoculação não incrementou a H das mudas no substrato Ouro Verde. No substrato Antuérpia, a inoculação promoveu incremento no DC das plantas. Para as espécies de lento crescimento, houve interação significativa entre os fatores testados apenas no DC. Nessas plantas, o substrato Antuérpia mostrou-se mais adequado para as mudas, enquanto a inoculação com FMA não incrementou a H e o DC das mudas e aumentou a relação H/DC. O substrato Antuérpia mostrou-se melhor para a produção de

mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, enquanto a inoculação com FMA não promoveu incremento no crescimento das plantas na fase de viveiro. Assim, mudas com maior crescimento são obtidas utilizando-se o substrato Antuérpia não inoculado com FMA.

Palavras-chave: Viveiros florestais. Substratos orgânicos. Fungos micorrízicos arbusculares. Inoculante “*on-farm*”. Interação planta-microrganismo.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma extensa área de terras degradadas. Atualmente, existe entre 30 e 70 milhões de hectares de pastagens em processo de degradação e, ou, degradadas. Dentre essas áreas degradadas, grande atenção deve ser dada as que se situam no Bioma Mata Atlântica, o qual é altamente degradado e fragmentado, devido ao desmatamento desordenado provocado por atividades antrópicas, como a agropecuária e a urbanização (Rolim et al., 2020). De maneira geral, as atividades de recuperação de áreas degradadas realizadas no bioma são majoritariamente desenvolvidas por meio do plantio de mudas de espécies arbóreas nativas (Guerra et al., 2020). Assim, espera-se que nos próximos anos ocorra grande demanda por mudas de espécies arbóreas nativas, visando atender a recuperação desses ambientes.

Outro ponto importante sobre a restauração desses ambientes diz respeito a alguns atributos dessas áreas. Normalmente, esses locais possuem baixa qualidade ambiental e restrições para o crescimento das mudas. Algumas características comumente observadas no solo dessas áreas são baixos teor de matéria orgânica, disponibilidade de nutrientes, capacidade de retenção de água e oferta de propágulos de microrganismos benéficos ao crescimento de plantas (Silveira et al., 2006). Os aspectos físicos e químicos do solo, em geral, são considerados durante a implantação desses povoamentos florestais, sendo comum a ocorrência de práticas silviculturais, como a fertilização, calagem e correção de impedimentos físicos do solo ao crescimento das plantas, por meio do preparo do solo. No entanto, os aspectos biológicos do solo, em muitos casos, são deixados em segundo plano, o que pode comprometer o sucesso do empreendimento.

Grande parte dos substratos utilizados para a produção de mudas em viveiros comerciais de espécies arbóreas possuem baixa ocorrência de microrganismos benéficos às plantas (Goetten et al., 2016). Assim, faz-se necessário que ocorra a inoculação desses substratos com microrganismos de interesse para o produtor, a exemplo dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA).

No entanto, a fabricação desses inoculantes em larga escala é uma tarefa difícil, em especial devido à natureza biotrófica obrigatória dos FMA, os quais são dependentes da planta hospedeira para se manterem vivos (Selvakumar et al., 2018). Uma possibilidade para o produtor seria produzir o inoculante de FMA na propriedade rural, método conhecido como “*on-farm*”. A produção desses inoculantes envolve o uso de materiais de baixo custo e fácil aquisição na propriedade, como restos de culturas e dejetos de animais (Douds Jr. et al., 2012). A adição de materiais orgânicos, além de reduzir o custo de produção do substrato, pode estimular o crescimento das plantas, visto as melhorias nos atributos físicos, químicos e

biológicos do substrato (Glab et al., 2018). A prática possui baixo custo, podendo ainda ser facilitada pela grande quantidade de informações disponíveis na literatura sobre a produção e manejo desses inoculantes.

O uso de estratégias que promovam a inserção de microrganismos benéficos ao ambiente a ser recuperado pode ser um ponto interessante a ser explorado nesses projetos. Dessa forma, algumas práticas podem ser utilizadas por viveiristas para garantir a inserção desses microrganismos nos ambientes a serem restaurados, como a produção de mudas de espécies arbóreas nativas produzidas em substrato inoculado. Diversas vantagens podem ser obtidas por esses produtores com o uso desses microrganismos no processo de produção das mudas, como menor necessidade de fertilizantes e melhoria no status nutricional das plantas (Moreira e Siqueira, 2006), além de maior resistência ao ataque de doenças, pragas e ao déficit hídrico (Wu et al., 2017), entre outros pontos positivos.

No entanto, vale destacar que a maior parte dos trabalhos que avaliam as respostas de crescimento de mudas em função desses microrganismos, normalmente, avaliam esses efeitos em condições de solo isento de outros microrganismos (substrato desinfestado), o que não é a condição comum em ambientes naturais (Machineski et al., 2011). Assim, avaliar o desempenho desses microrganismos em condições de viveiros comerciais é interessante para, de fato, testar o potencial de uso desses inoculantes para a produção de mudas de espécies arbóreas.

Normalmente, viveiros florestais que produzem mudas de espécies arbóreas nativas exibem maior diversidade de espécies, quando comparados aos viveiros florestais que comercializam mudas clonais. Viveiros de mudas clonais, em alguns casos, produzem plantas de um único gênero botânico, exemplo de alguns viveiros de mudas clonais de *Eucalyptus* sp., o que facilita o manejo das operações, como fertilização, escolha de substrato e tempo de produção das mudas. Normalmente, o crescimento das plantas é influenciado por esses fatores, os quais podem intervir nos atributos morfológicos das mudas de modo isolado e, ou, interativo. Adicionalmente, a resposta é dependente da espécie vegetal avaliada e de seu ritmo de crescimento.

Compreender essa resposta das mudas em função da composição dos substratos e inoculação com microrganismos simbiotes pode ser relevante para o planejamento e manejo dos viveiros de produção de mudas de espécies arbóreas nativas. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito de substratos e inoculação com FMA no crescimento em altura, diâmetro do coleto e a relação entre esses atributos morfológicos de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica de diferentes ritmos de crescimento.

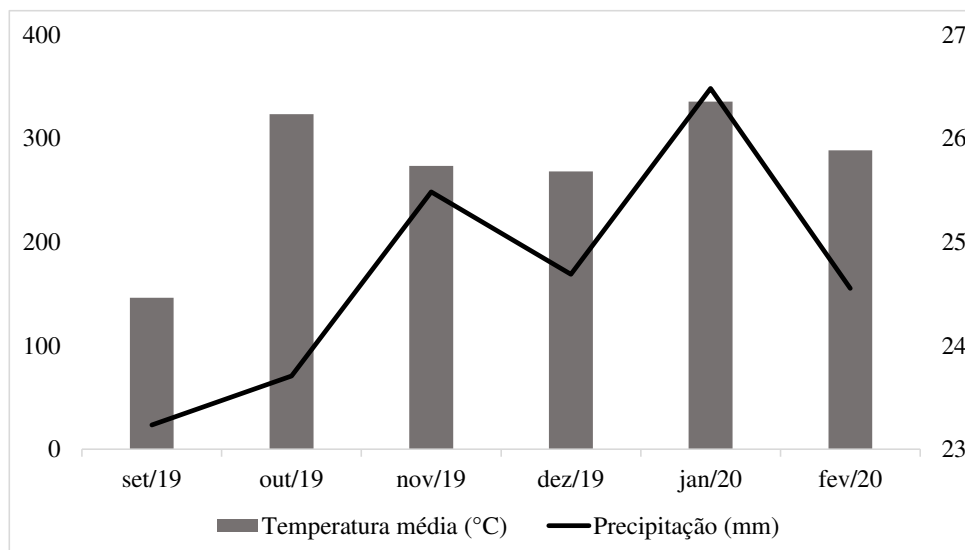
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo e desenho experimental

O experimento foi realizado entre setembro de 2019 a fevereiro de 2020 (157 dias), em um viveiro comercial de produção de mudas de espécies nativas, localizado no município de Belo Oriente (MG). A região fica localizado entre as coordenadas geográficas 19° 10' S e longitude de 42° 20' W, com altitude média de 300 m, variando de 220 a 425 m. O clima é caracterizado como Aw pela classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1.208 mm, variando de 700 a 1.500 mm anuais, e umidade relativa média de 65,2%. A temperatura média anual é de 25,2 °C, com média mensal variando de 22 °C a 27 °C, média das mínimas de 18 °C e média das máximas de 32 °C (Pereira Filho et al., 2020; Silva et al., 2011).

Os dados de precipitação pluviométrica mensal e a temperatura média na região de Belo Oriente durante o período de condução do experimento (Figura 1) foram obtidos em estação automática pertencente à empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A.

Figura 1 – Temperatura média e precipitação pluviométrica mensal na região de Belo Oriente entre setembro de 2019 e fevereiro de 2020



Fonte: Autoria própria.

Foram selecionadas onze espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica (Tabela 1), as quais estão presentes na lista de espécies recomendadas pela Fundação Renova para uso na revegetação das áreas da Bacia do Rio Doce afetadas pelo rompimento da barragem de Fundão em Mariana, Minas Gerais.

Tabela 1 - Espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica selecionadas para a produção das mudas

Espécie	Nome comum	Família
<i>Cecropia hololeuca</i> Miq.	Embaúba-prateada	Urticaceae
<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	Pau-viola	Verbenaceae
<i>Colubrina glandulosa</i> Perkins	Saguaraji	Rhamnaceae
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Mutamba	Malvaceae
<i>Joannesia principis</i> Vell. LC.	Boleira	Euphorbiaceae
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng) Taub.	Canafístula	Fabaceae
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	Vinhático	Fabaceae
<i>Psidium guineense</i> Sw.	Araçá-do-campo	Myrtaceae
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	Amendoim-bravo	Fabaceae
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.	Aroeira-pimenteira	Anacardiaceae
<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	Leiteiro	Apocynaceae

Fonte: Autoria própria.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos, organizados em arranjo fatorial 2 x 2, sendo os fatores o substrato de cultivo das mudas (substrato Ouro Verde e substrato Antuérpia) e a inoculação micorrízica (inoculado e não inoculado), com quatro repetições, totalizando 16 unidades experimentais por espécie avaliada. O número de plantas que integraram a unidade experimental foi variável entre as espécies. Para amendoim-bravo, araçá-do-campo, aroeira-pimenteira e saguaraji, a unidade experimental foi constituída por 50 plantas. Para a espécie embaúba-prateada, a unidade experimental foi constituída por 20 plantas, enquanto para as demais espécies (boleira, canafístula, leiteiro, mutamba, pau-viola e vinhático) a unidade experimental foi constituída por 25 plantas.

Os diferentes números de plantas que integraram a unidade experimental ocorreu devido ao maior número de mudas produzidas das espécies amendoim-bravo, araçá-do-campo, aroeira-pimenteira e saguaraji, as quais foram utilizadas para as avaliações dos capítulos 2 e 3 da presente tese, enquanto para a espécie embaúba-prateada a unidade experimental foi composta por 20 plantas em virtude da mortalidade de mudas durante a condução do experimento.

2.2. Obtenção dos substratos de cultivo

Os substratos avaliados no presente estudo foram formulados pela mistura de materiais orgânicos e minerais. O substrato Ouro Verde foi formulado a partir de composto orgânico (casca de eucalipto decomposta + solo) + vermiculita + casca de arroz carbonizada

(2:1:1, v:v:v). O substrato Ouro Verde foi produzido no viveiro florestal Ouro Verde, situado em Belo Oriente-MG. O substrato Antuérpia foi formulado a partir de composto orgânico (bagaço de cana decomposta + cama de frango + moinha de carvão) + Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (4:1, v:v). O substrato Antuérpia foi produzido no viveiro florestal Antuérpia, situado em Viçosa-MG. A caracterização físico-química dos substratos (Tabela 2) foi realizada conforme instrução normativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2007).

Tabela 2 - Caracterização físico-química dos substratos utilizados para a produção das mudas

Sbstratos	pH (H ₂ O)	N	P	K	Mg	CO	C/N	CRA	DS	CE
		----- mg dm ⁻³ -----			cmol _c dm ⁻³	g kg ⁻¹		kg kg ⁻¹	g cm ⁻³	mS cm ⁻¹
Ouro Verde	8,50	4,2	2,8	3,2	0,02	3,43	8,16	0,46	0,69	2,88
Antuérpia	6,04	7,3	4,7	12,8	0,11	6,55	8,97	0,99	0,45	0,66

pH em água - Relação 1:2,5 (v:v); N: método Kjeldahl (extração do substrato KCl seguida de digestão ácida); P e K: extrator Mehlich 1; Mg²⁺: extraído com KCl 0,1 N; CO: carbono orgânico pelo método Walkley-Black; C/N: razão carbono / nitrogênio; CRA: capacidade de retenção de água sob tensão de 10 kPa; DS: densidade do substrato; CE: condutividade elétrica do substrato, obtida pelo extrato de pasta saturada.

Fonte: Autoria própria.

2.3. Obtenção do inoculante de FMA

O inóculo utilizado no presente trabalho foi produzido em Viçosa-MG pelo método “on-farm”. O inoculante foi produzido de maneira similar ao realizado por Moreira et al. (2019). O substrato para a produção do inóculo foi composto por bagaço de cana + vermiculita + solo de mata nativa + esterco de caprino (3:3:3:1, v:v:v:v). O solo de mata nativa foi obtido em área de floresta nativa no município de Barra Longa-MG. A área foi atingida pelo derramamento de rejeito ocasionado pelo rompimento da barragem de Fundão em Mariana-MG. O substrato foi alocado em vasos com capacidade de 20 dm³. Foi realizada a semeadura de, aproximadamente, 12 sementes de *Sorghum bicolor* L. em cada vaso.

Os vasos foram mantidos ao ar livre em uma propriedade rural em Viçosa-MG e as plantas foram cultivadas pelo período de 120 dias. A irrigação foi realizada com frequência suficiente para evitar que as plantas sofressem déficit hídrico. A identificação das espécies foi baseada na análise da estrutura da parede dos esporos e informações taxonômicas conforme descrito por Stürmer (2018) no Laboratório de Botânica da Fundação Universidade Regional de Blumenau, em Blumenau, Santa Catarina, Brasil. A avaliação do inóculo em laboratório

revelou a presença de esporos de FMA viáveis, sendo observada a esporulação das espécies de FMA *Acaulospora scrobiculata*, *Claroideoglomus etunicatum* (= *Glomus etunicatum*), *Paraglomus albidum* e *Paraglomus brasilianum*.

2.4. Produção das mudas e condução do experimento

As mudas foram cultivadas em tubetes de plástico rígido com capacidade para 280 cm³. Anteriormente ao enchimento dos tubetes, os substratos receberam fertilizante NPK 2:16:6, acrescido de outros macronutrientes (10% Ca + 1% Mg + 7% S) e micronutrientes (0,2% Zn + 0,1% B + 0,06 % Mn +0,01% Mo). A dose aplicada foi 4 kg m⁻³ (kg de fertilizante/m³ de substrato). As sementes das espécies arbóreas foram germinadas em areia lavada e as plântulas com tamanho adequado para a repicagem, sendo o tamanho variável para cada espécie, foram transplantadas para os tubetes preenchidos com os substratos. No ato do transplântio, as mudas dos tratamentos inoculados receberam 15 mL de inóculo de FMA, contendo cerca de 3 esporos mL⁻¹ de inóculo, o qual foi misturado ao substrato.

Após o transplântio, as plântulas foram alocadas em casa de vegetação com irrigação por nebulização pelo período de 15 dias, visando reduzir o estresse causado pelo transplântio. Decorrido o prazo, as mudas foram conduzidas ao pátio de crescimento a pleno sol. O sistema de irrigação do viveiro é do tipo de microaspersão, o qual era acionado entre 8 e 16 h, realizando a irrigação das mudas por 7 minutos a cada hora. Durante o período de crescimento das mudas a pleno sol, foram realizadas fertilizações de cobertura com N (via sulfato de amônio) e K (via cloreto de potássio), ambas na concentração de 5%. As aplicações de foram realizadas em intervalos de 21 dias.

As fertilizações eram realizadas por sistema de barras manuais, aplicando-se 100 L de solução em, aproximadamente, 10.000 mudas. As aplicações eram realizadas no período da manhã e, após a aplicação dos fertilizantes, realizava-se uma irrigação por sistema de barras, visando retirar o excesso da solução da parte aérea das plantas.

2.5. Avaliação de atributos morfológicos e definição dos ritmos de crescimento das plantas

Decorridos 157 após o transplântio das mudas, realizou-se as medições da altura da parte aérea (H) e diâmetro do coleto (DC) das plantas. A H foi medida do nível acima do substrato até a gema apical, utilizando-se régua, enquanto o DC foi mensurado por meio de paquímetro digital (graduado em mm). A separação dos grupos de acordo com o ritmo de crescimento (rápido e lento ritmo de crescimento) foi feita de acordo com a H média das

plantas. Espécies com H média > H média da população (H média da população = 23,2 cm) foram enquadradas como de ritmo rápido de crescimento, ao passo que as espécies com H média < H média da população foram consideradas como de ritmo lento de crescimento. O agrupamento das espécies de acordo com o ritmo de crescimento está disposto na tabela 3.

Tabela 3 - Agrupamento das mudas das 11 espécies arbóreas de acordo com o ritmo de crescimento e altura (H) média das plantas aos 157 dias após o transplântio

Espécie	Nome comum	Família	H média (cm)
Rápido crescimento			
<i>Psidium guineense</i> Sw.	Araçá-do-campo	Myrtaceae	23,9
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi.	Aroeira-pimenteira	Anacardiaceae	25,0
<i>Joannesia principis</i> Vell. LC.	Boleira	Euphorbiaceae	45,1
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	Mutamba	Malvaceae	26,1
<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	Pau-viola	Verbenaceae	27,3
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	Vinhático	Fabaceae	40,0
Lento crescimento			
<i>Pterogyne nitens</i> Tul.	Amendoim-bravo	Fabaceae	8,6
<i>Peltophorum dubium</i> (Spreng) Taub.	Canafístula	Fabaceae	19,8
<i>Cecropia hololeuca</i> Miq.	Embaúba-prateada	Urticaceae	15,0
<i>Tabernaemontana hystrix</i> Steud.	Leiteiro	Apocynaceae	11,0
<i>Colubrina glandulosa</i> Perkins	Saguaraji	Rhamnaceae	13,1

Fonte: Autoria própria.

2.6. Análises estatísticas

Foram determinados os efeitos isolados de substrato e inoculação, bem como as interações existentes entre os fatores para as espécies de maneira individual e para os grupos de plantas segregados pelo ritmo de crescimento. Os dados foram submetidos à análise de variância e verificado o efeito significativo dos tratamentos sobre os atributos morfológicos das plantas por meio do teste F (ANOVA). As análises foram realizadas com o auxílio do software estatístico SISVAR (Ferreira, 2000).

Considerando-se um modelo estatístico de experimento em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial com dois fatores (substrato e inoculação com FMA), utilizou-se o seguinte:

$$Y_{kij} = m + S_k + I_i + (SI)_{ki} + e_{kij}, \text{ onde:}$$

Y_{kij} = valor observado do atributo morfológico (H e DC), no substrato k ($k = 1, 2$) e inoculação i ($i = 1, 2$), na repetição j ($j = 1, 2, 3, 4$), k = substrato Antuérpia e substrato Ouro verde; i = inoculado e não inoculado com FMA;

m = média geral do atributo morfológico, considerando todas as observações;

S_k = efeito do substrato k ;

I_i = efeito da inoculação i ;

$(SI)_{ki}$ = efeito da interação $S \times I$;

e_{kij} = erro associado à observação Y_{kij} , ou seja, efeito dos fatores não controlados sobre a observação Y_{kij} . $e_{kij} \sim NID(\theta, \sigma^2)$.

Os efeitos principais, efeitos da interação $S \times I$ e os desdobramentos das interações foram avaliados pela estatística F da ANOVA. O esquema completo das anovas foi:

Fonte de variação	Graus de liberdade
Tratamento	(3)
S	1
I	1
S x I	1
S/I ₁	1
S/I ₂	1
I/S ₁	1
I/S ₂	1
Resíduo	J
Total	16 - 1

3. RESULTADOS

3.1. Espécies de ritmo rápido de crescimento

O crescimento em altura (H) e o diâmetro do coleto (DC) das espécies de ritmo rápido de crescimento foram fortemente influenciados pela interação ($S \times I$) entre o substrato (S) e a inoculação (I) aos 157 dias após a semeadura (Tabela 4). De modo contrário, a relação H/DC não foi influenciada pela interação entre os fatores avaliados. De maneira isolada, os fatores “S” e “I” influenciaram a H e a relação H/DC das mudas ($p < 0,01$), ao passo que o

DC foi afetado apenas pela inoculação ($p < 0,0001$), não havendo resposta em função do substrato de cultivo das mudas ($p = 0,0758$).

Tabela 4 - Resumo da análise de variância das características morfológicas de mudas do grupo de espécies de ritmo rápido de crescimento aos 157 dias após a semeadura em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Rápido crescimento										
FV	----- H (cm) -----				----- DC (mm) -----			----- H / DC -----		
	GL	QM	F	p-valor	QM	F	p-valor	QM	F	p-valor
Substrato (S)	1	35,40	23,65	0,0004	0,06	3,77	0,0758	0,67	16,66	0,0015
Inoculação (I)	1	114,49	76,48	0,0000	1,03	62,23	0,0000	1,32	32,78	0,0001
S x I	1	37,82	25,26	0,0003	0,49	29,60	0,0001	0,16	3,97	0,0697
S x I ₁	1	0,02	0,01	0,9099	0,10	6,12	0,0293	-	-	-
S x I ₂	1	73,21	48,90	0,0000	0,45	27,26	0,0002	-	-	-
I x S ₁	1	10,35	6,91	0,0220	0,05	3,00	0,1090	-	-	-
I x S ₂	1	141,96	94,83	0,0000	1,47	88,84	0,0000	-	-	-
Resíduo	12	1,50	-	-	0,02	-	-	0,04	-	-
CV (%)	-	----- 4,14 -----				----- 2,05 -----			----- 4,03 -----	

FV = Fonte de variação; S₁ = Substrato Antuérpia; S₂ = Substrato Ouro Verde; I₁ = Não inoculado com FMA; I₂ = Inoculado com FMA; CV (%) = Coeficiente de variação; GL = Grau de liberdade; QM = Quadrado médio; F = Valor do F da ANOVA; H = Altura da parte aérea; DC = Diâmetro do coleto; H / DC = Relação H / DC.

Fonte: Autoria própria.

A altura (H) das mudas de espécies de ritmo rápido de crescimento produzidas no substrato Ouro Verde foi menor quando houve inoculação com microrganismos simbiotes. No substrato Ouro Verde não inoculado, a H média das plantas foi igual a 32,2 cm, enquanto no mesmo substrato, com inoculação, a H média das mudas foi 23,9 cm, o que representa menor incremento de 26% na H das plantas em função da inoculação. De forma similar, no substrato Antuérpia a inoculação com microrganismos simbiotes não promoveu incremento na H das plantas, onde as mudas produzidas em substrato inoculado foram inferiores em 7% no crescimento em H, em comparação ao mesmo substrato não inoculado (Tabela 5). Houve diferença na H das mudas em função do substrato utilizado apenas no tratamento onde houve a inoculação. O uso do substrato Antuérpia possibilitou a produção de mudas com H 25% superior às produzidas no substrato Ouro Verde, enquanto nos substratos sem inoculação não foram observadas diferenças.

O diâmetro do coleto (DC) das mudas de espécies de ritmo rápido de crescimento teve comportamento similar ao observado para a H. A inoculação com microrganismos simbiotes no substrato Ouro Verde proporcionou redução significativa do DC, o qual foi

13% menor em comparação ao mesmo substrato não inoculado. No substrato Antuérpia, não se observou diferença significativa no DC em relação à inoculação. No entanto, houve ligeira tendência de menor crescimento em DC nas mudas produzidas em substrato inoculado, as quais tiveram redução de 3% no DC, em comparação às mudas produzidas em substrato não inoculado.

Pode-se notar a influência da interação entre os fatores substrato e inoculação (S x I) no DC das plantas. Quando foi realizada a inoculação com microrganismos simbiotes, o DC das plantas produzidas no substrato Antuérpia foi superior ao observado no substrato Ouro Verde, perfazendo uma diferença de 8%. Por outro lado, quando não foi realizada a inoculação, o DC das plantas do substrato Ouro Verde teve tendência de maior tamanho, em comparação ao Antuérpia, sendo a diferença entre os tratamentos igual a 4%.

A relação entre a H e o DC das plantas (H/DC) não apresentou interação significativa entre os fatores “S” e “I”. Mudas produzidas no substrato Antuérpia foram superiores às do substrato Ouro Verde (aumento de 9% na H/DC), ao passo que a ausência de inoculação proporcionou aumento da citada relação em 12%, em comparação às plantas produzidas em substrato inoculado.

Tabela 5 – Aspectos morfológicos de mudas do grupo de espécies de ritmo rápido de crescimento aos 157 dias após a semeadura em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Rápido crescimento									
H (cm)				DC (mm)			H / DC		
Substrato									
Inoculação	O. Verde	Antuérpia	Média	O. Verde	Antuérpia	Média	O. Verde	Antuérpia	Média
+ FMA	23,9 (±0,6)	29,9 (±0,6)	26,9 (±3,3)	5,80 (±0,11)	6,27 (±0,11)	6,03 (±0,27)	4,40 (±0,07)	5,01 (±0,09)	4,70 (±0,33)
	b B	a B		b B	a A				
- FMA	32,2 (±2,0)	32,2 (±1,1)	32,2 (±1,5)	6,66 (±0,18)	6,43 (±0,10)	6,54 (±0,18)	5,17 (±0,30)	5,38 (±0,24)	5,28 (±0,28)
	a A	a A		a A	b A				
Média	28,1 (±4,7)	31,0 (±1,5)	29,6 (±3,7)	6,23 (±0,48)	6,35 (±0,13)	6,29 (±0,35)	4,78 (±0,46) b	5,19 (±0,26) a	4,99 (±0,42)

H = Altura da parte aérea; DC = Diâmetro do coleto; H / DC = Relação H / DC; + FMA = Substrato inoculado com FMA; - FMA = Substrato não inoculado com FMA. Valores entre parênteses representam o desvio padrão. Médias seguidas por letras minúsculas, na linha, compara substratos e médias seguidas por letra maiúscula, na coluna, compara inoculação. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria própria.

3.2. Espécies de ritmo lento de crescimento

O crescimento em altura (H) das mudas de ritmo lento de crescimento foi influenciado, de modo isolado, pelos fatores substrato (S) e inoculação (I) aos 157 dias após a semeadura. No entanto, a interação entre os fatores (S x I) não foi significativa ($F = 2,97$; $p = 0,1107$). Resultado oposto foi observado para o diâmetro do coleto (DC) das plantas, onde o fator “S”, isoladamente, não influenciou esse atributo morfológico das mudas, sendo notório o efeito do fator “I”. No entanto, observou-se interação dos fatores (S x I) no DC das plantas ($F = 8,80$; $p = 0,0118$). De modo similar ao observado para a H das mudas, a relação H/DC foi influenciada pelos fatores apenas de forma isolada ($p < 0,0001$), enquanto a interação (S x I) foi não significativa (Tabela 6).

Tabela 6 - Resumo da análise de variância das características morfológicas de mudas do grupo de espécies de ritmo lento de crescimento aos 157 dias após a semeadura em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Lento crescimento										
FV	----- H (cm) -----				----- DC (mm) -----			----- H / DC -----		
	GL	QM	F	p-valor	QM	F	p-valor	QM	F	p-valor
Substrato (S)	1	11,39	102,20	0,0000	0,0002	0,05	0,8277	0,53	145,42	0,0000
Inoculação (I)	1	50,77	455,47	0,0000	1,08	237,93	0,0000	0,61	166,09	0,0000
S x I	1	0,33	2,97	0,1107	0,04	8,80	0,0118	0,011	2,98	0,1151
S x I ₁	1	-	-	-	0,02	5,08	0,0436	-	-	-
S x I ₂	1	-	-	-	0,02	3,76	0,0762	-	-	-
I x S ₁	1	-	-	-	0,35	77,61	0,0000	-	-	-
I x S ₂	1	-	-	-	0,77	169,12	0,0000	-	-	-
Resíduo	12	0,11	-	-	0,0046	-	-	0,004	-	-
CV (%)	-	-----	2,63	-----	-----	1,52	-----	-----	2,09	-----

FV = Fonte de variação; S₁ = Substrato Antuérpia; S₂ = Substrato Ouro Verde; I₁ = Não inoculado com FMA; I₂ = Inoculado com FMA; CV (%) = Coeficiente de variação; GL = Grau de liberdade; QM = Quadrado médio; F = Valor do F da ANOVA; H = Altura da parte aérea; DC = Diâmetro do coleto; H / DC = Relação H / DC.

Fonte: Autoria própria.

A altura (H) das mudas de espécies de ritmo lento de crescimento produzidas no substrato Ouro Verde foi menor do que as do substrato Antuérpia, as quais obtiveram 14% de incremento na citada variável em comparação às plantas cultivadas no substrato Ouro Verde. Diferença maior foi observada em relação à inoculação dos substratos, dado que mudas produzidas em substrato não inoculado tiveram aumento de 33% na H, quando comparadas às mudas produzidas em substrato inoculado (Tabela 7). Dessa forma, as mudas de maior H foram produzidas no substrato Antuérpia sem inoculação (H = 15,5 cm), enquanto as menores

plantas foram encontradas no substrato Ouro Verde inoculado ($H = 10,2$ cm), o que representa 52% de diferença na H das plantas nos citados tratamentos.

Tabela 7 – Aspectos morfológicos de mudas do grupo de espécies de ritmo lento de crescimento aos 157 dias após a semeadura em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Lento crescimento									
H (cm)				DC (mm)			H / DC		
Substrato									
Inoculação	O. Verde	Antuérpia	Média	O. Verde	Antuérpia	Média	O. Verde	Antuérpia	Média
+ FMA	10,2 (±0,3)	11,6 (±0,1)	10,9 (±0,8)	4,14 (±0,04)	4,23 (±0,08)	4,19 (±0,08)	2,53 (±0,08)	2,85 (±0,03)	2,69 (±0,18)
			B	a B	a B				B
- FMA	13,5 (±0,6)	15,5 (±0,2)	14,5 (±1,1)	4,76 (±0,07)	4,65 (±0,08)	4,71 (±0,09)	2,87 (±0,09)	3,29 (±0,02)	3,08 (±0,23)
			A	a A	b A				A
Média	11,8 (±1,8)	13,5 (±2,1)	12,7 (±2,1)	4,45 (±0,33)	4,44 (±0,23)	4,45 (±0,28)	2,70 (±0,20)	3,07 (±0,24)	2,88 (±0,28)
	b	a					b	a	

H = Altura da parte aérea; DC = Diâmetro do coleto; H / DC = Relação H / DC; + FMA = Substrato inoculado com FMA; - FMA = Substrato não inoculado com FMA. Valores entre parênteses representam o desvio padrão. Médias seguidas por letras minúsculas, na linha, compara substratos e médias seguidas por letra maiúscula, na coluna, compara inoculação. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria própria.

O diâmetro do coleto (DC) das mudas de espécies de ritmo lento de crescimento teve comportamento diferente do observado na H, dado que o maior valor de DC foi obtido no substrato Ouro Verde não inoculado (DC = 4,76 mm). A inoculação no substrato Ouro Verde reduziu o DC das plantas em 13%, em comparação ao mesmo substrato não inoculado. De maneira similar, no substrato Antuérpia, a inoculação reduziu em 9% o DC das plantas. De modo geral, houve tendência de menor crescimento em DC nas mudas produzidas em substrato inoculado, as quais tiveram redução de 11% no DC, em comparação às mudas produzidas em substrato não inoculado.

Assim como para as espécies de ritmo rápido de crescimento, a relação H/DC das mudas de ritmo lento de crescimento não foi influenciada significativamente pela interação entre os fatores (S x I). Os maiores valores da citada relação foram observados no substrato Antuérpia e em mudas produzidas em substrato não inoculado. Plantas cultivadas no substrato Antuérpia tiveram aumento de 14% na citada relação, em comparação ao substrato Ouro Verde, enquanto a ausência de inoculação proporcionou aumento de 15% na H/DC, em comparação às plantas produzidas em substrato inoculado.

4. DISCUSSÃO

A interação (S x I) entre substrato (S) e inoculação (I) com fungos micorrízicos na produção de mudas de espécies arbóreas nativas do Brasil é observado na literatura. Dalanhol et al. (2016) encontraram interação significativa entre S x I na produção de mudas de *Eugenia uniflora* para a variável H aos 180 dias de idade das plantas. Resultado semelhante foi encontrado por Tavares et al. (2016) na produção de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia*. Em relação a outras espécies lenhosas exóticas, existem resultados semelhantes ao observado por Dalanhol et al. (2016) e Tavares et al. (2016).

Tristão et al. (2006) observaram elevada interação entre esses fatores ao avaliar o crescimento de mudas de *Coffea arabica*, em especial na produção de massa fresca de raízes das plantas. Os autores notaram que a inoculação do substrato de produção das mudas foi o fator mais influente, gerando incrementos de massa de raízes na ordem de 267%. Interação entre esses fatores também foi encontrada por Souza et al. (2003) ao avaliarem o crescimento em altura (H) de mudas da cultivar Citrange Troyer (*Poncirus trifoliata* x *Citrus sinensis*), indicando que a resposta aos FMA é dependente das características do substrato de cultivo das mudas. A interação entre os fatores S x I ocorre em função da composição do substrato ideal variar de acordo com a espécie vegetal e de FMA. Entre as características importantes do

substrato, tem-se os aspectos físicos e químicos, os quais interferem no desempenho dos microrganismos (Zemke et al., 2003).

Na análise química dos substratos utilizados no presente trabalho, pode-se notar que o substrato Ouro Verde teve menor quantidade de P em comparação ao substrato Antuérpia. Em ambos os substratos e ritmos de crescimento (rápido e lento), foi possível observar que, de maneira geral, mudas produzidas em substrato sem inoculação tiveram maiores valores de H e DC. Esse resultado pode ser indicativo de que a quantidade de P aplicada ao substrato por meio da fertilização de base foi a suficiente para promover o crescimento das plantas, sem a necessidade de estabelecer relação simbiótica com os FMA.

A disponibilidade de P é um dos principais fatores que interferem na simbiose planta x FMA, podendo gerar diferentes respostas nas taxas de colonização de raízes e, ou, no crescimento das plantas (Kobae et al., 2016; Ramos e Martins, 2010; Moreira e Siqueira, 2006; Antunes e Cardoso, 1991). Devido esse nutriente regular marcadamente a associação entre planta x FMA, altos teores de P induzem as plantas a limitar a quantidade de carbono alocado ao fungo simbiote, resultando em economia de energia para a planta em condições de suprimento adequado de fósforo (Ferrol et al., 2019). Dessa forma, ocorre a redução de um grande dreno de carbono suportado pelas plantas para sustentar a associação simbiótica, o qual varia entre 15 e 20% de todo o C adquirido via fotossíntese (Ma et al., 2021; MacLean et al., 2019; Porcel et al., 2015).

A via de captação de P pelas micorrizas, um dos aspectos mais vantajosos para as plantas associadas com FMA, é modulada pela ação de transportadores de fosfato no micélio dos fungos, a qual é, pelo menos parcialmente, regulada pelas plantas por meio de um sinal químico (lisofosfatidilcolina) (Drissner et al., 2007). O nível de P no solo regula intimamente a expressão desses transportadores, os quais são induzidos ou reprimidos em condições de, respectivamente, baixo e alto P no solo (Fiorilli et al., 2013; Benedetto et al., 2005; Pfeffer et al., 1999). Assim, em situações em que o status de P no solo é adequado para o crescimento vegetal, a planta consegue controlar o funcionamento da simbiose, evitando-se gastos desnecessários para a manutenção do fungo.

Em relação aos demais nutrientes, nota-se que no substrato Antuérpia os níveis de N, K e Mg também estavam maiores que o observado no substrato Ouro Verde. O nitrogênio é um nutriente que apresenta relação íntima com o desenvolvimento da micorriza. De modo contrário ao observado para o fósforo, os FMA são beneficiados por níveis adequados de N no solo, em função da alta demanda por esse nutriente para seu crescimento e desenvolvimento estrutural. Esse elemento é um dos principais componentes de moléculas

orgânicas, como aminoácidos e proteínas, importantes para o crescimento de organismos (Kim e Rees, 1994).

Estima-se que as hifas demandam cerca de 4 a 7 vezes a quantidade de N requerida pela parte aérea das plantas e, pelo menos, 10 vezes o que é demandado para o sistema radicular (Hodge et al., 2010). Dessa forma, menor teor de N no substrato, caso do substrato Ouro Verde, pode resultar em competição planta x FMA por esse recurso, onde os benefícios da inoculação serão positivos apenas quando a demanda do FMA por N for atendida (Püschel et al., 2016). No entanto, altos níveis de nitrogênio no substrato geralmente limitam a produção de esporos de FMA e o desenvolvimento de hifas (Douds e Schenck, 1990), o que indica a necessidade de ajustes nas fertilizações nitrogenadas em mudas associadas com FMA, visando a obtenção de maior benefício da inoculação.

Em relação ao teor de carbono orgânico (CO) presente nos substratos, nota-se que no substrato Antuérpia o CO foi 91% superior ao do substrato Ouro Verde. O CO apresenta relação direta com a quantidade de matéria orgânica e a biomassa microbiana presente no solo, os quais são importantes estoques e fontes de N disponíveis para as plantas via processo de mineralização (Moreau et al., 2019). Além disso, adições de materiais ricos em C potencializam os efeitos positivos dos FMA, como maior produção de esporos (Silva et al., 2005).

Outro importante atributo químico do substrato é o pH, o qual também interfere no crescimento das plantas e no estabelecimento da simbiose. De modo geral, o crescimento das mudas produzidas no substrato Antuérpia (pH em H₂O = 6,04) foi superior ao observado em mudas do substrato Ouro Verde (pH em H₂O = 8,50). Esse resultado pode ser atribuído ao elevado pH do substrato Ouro Verde, correlacionado com a elevada condutividade elétrica desse substrato (2,88 mS.cm⁻¹). Altos valores de pH podem proporcionar desbalanços nutricionais, como elevação da disponibilidade de Mo e Cl, os quais são exigidos em menor proporção pelas plantas. Além disso, elevado pH resulta em menor oferta de alguns macronutrientes (N, P e S) e micronutrientes (Fe, Cu, Mn, Zn e B), os quais são importantes para a nutrição das plantas. Por outro lado, o pH no substrato Antuérpia encontrava-se em níveis adequados, dado que a faixa ideal para a maior parte das espécies vegetais varia entre 6,0 e 6,5 (Novais et al., 2007).

Menor crescimento de mudas de *Samanea saman* produzidas em substrato inoculado com bactérias fixadoras de nitrogênio e FMA em função do pH do substrato foram constatados por Abaurre et al. (2020). Os autores notaram que o pH do substrato se correlacionou negativamente com as variáveis diâmetro do coleto ($r = -0,79$), massa seca da

parte aérea ($r = -0,70$), raízes ($r = -0,74$) e total ($r = -0,73$) das mudas. Do ponto de vista da simbiose planta x FMA, em solos ácidos, a elevação do pH do substrato a níveis adequados pode limitar o efeito benéfico proporcionado pelos microrganismos. Nessa condição, o aumento do pH eleva a disponibilidade de P no solo, reduzindo o principal efeito benéfico proporcionado por esses microrganismos, que é a absorção de P em condições limitantes. No entanto, a elevação do pH do solo a valores supra ótimos reduz a produção de enzimas fosfatases extracelulares no solo, alterando a atividade funcional dos FMA (Carrino-Kyker et al., 2016). Dessa forma, maiores níveis de colonização micorrízica são normalmente observados em solos levemente ácidos, com pH variando entre 5,5 e 6,0 (Soti et al., 2014).

No tocante aos aspectos físicos dos substratos avaliados, nota-se que a capacidade de retenção de água a 10 Kpa no substrato Antuérpia foi 115% maior do que o substrato Ouro Verde. Dessa forma, a disponibilidade hídrica no Antuérpia pode ter sido outro fator que influenciou o maior crescimento das plantas. Abaurre et al. (2020) observaram correlação positiva entre água disponível a 10 Kpa com a produção de massa seca da parte aérea ($r = 0,70$), raízes ($r = 0,84$) e total ($r = 0,78$) de mudas de *Samanea saman*.

Em relação à densidade do substrato, notou-se maior densidade no substrato Ouro Verde ($0,69 \text{ g cm}^{-3}$) em comparação ao Antuérpia ($0,45 \text{ g cm}^{-3}$). Esse atributo é de grande importância para o manejo das mudas, dado que substrato e recipiente são transportados e manipulados com frequência no viveiro e no campo. A densidade do substrato também interfere nos custos de transporte, onde substratos mais densos podem elevar esses custos (Fernandes et al., 2006).

Abaurre et al. (2020) também observaram que a densidade aparente do substrato se correlacionou de maneira negativa com o diâmetro do coleto ($r = -0,89$), massa seca da parte aérea ($r = -0,69$), raízes ($r = -0,68$) e total ($r = -0,71$) das mudas. Por outro lado, o coeficiente de correlação (r) dessas variáveis morfológicas foi positivo com a porosidade total do substrato, com r variando entre 0,73 e 0,91. Dessa forma, substratos menos densos e, consequentemente, mais porosos são preferíveis para a produção de mudas.

Diante o exposto, fica claro que a resposta das mudas a associação com os FMA é dependente dos atributos do substrato, o que explica a interação entre os componentes S x I observados no presente trabalho. Ponderações devem ser feitas ao efeito de cada fator isoladamente, dado que cada um desses pode influenciar a simbiose em níveis diferenciados. Dessa forma, Gaur e Adholeya (2000) apontam que os principais fatores que afetam a interação planta x FMA são a aeração, o teor de matéria orgânica e a disponibilidade de nutrientes do substrato, em especial de fósforo. O manejo desses atributos do substrato deve

ser realizado no viveiro de forma a potencializar, ou ao menos não anular, os efeitos benéficos da inoculação com FMA.

Avaliando a resposta das plantas às micorrizas, Janos (1993) propôs que a micotrofia, a qual é definida como a capacidade de resposta das plantas às micorrizas, é variável de acordo com a espécie vegetal estudada. Alguns exemplos da melhoria dos atributos morfológicos das espécies avaliadas no presente trabalho em resposta aos FMA podem ser observados em Schoen et al. (2016), Gonzaga et al. (2016), Kayashima (2021) e Prates Júnior et al. (2021) para, respectivamente, *S. terebinthifolia*, *J. principis*, *C. myrianthum* e *P. reticulata*. Para *P. guineense* não foram encontrados trabalhos em relação às respostas de crescimento de mudas em função da inoculação com FMA.

Para as variáveis H e DC, as mudas de *G. ulmifolia* não responderam de maneira positiva à inoculação com FMA (Apêndice A – Tabela 3). Resultados similares foram encontrados por Huante et al. (2012) e Aquino e Cassiolato (2002). No entanto, Flores-Aylas et al. (2003) encontraram resposta elevada da espécie à inoculação com *Glomus etunicatum* em condição de baixo P no solo e ausência de resposta à micorrização em condições de P adequado, o que indica que a quantidade de P adicionado aos substratos no presente estudo foi suficiente para atender a demanda da espécie.

Em mudas de *C. hololeuca* a inoculação no substrato Antuérpia promoveu incrementos significativos na H e DC das mudas (Apêndice A – Tabela 6). Por mais que não foram encontrados trabalhos científicos envolvendo a resposta da espécie aos FMA, outros trabalhos com a produção de mudas de espécies do gênero *Cecropia*, como *C. pachystachya* (Pouyu-Rojas et al., 2006; Carneiro et al., 2004; Siqueira e Saggin-Júnior, 2001) e *C. glaziovii* (Zangaro et al., 2003), indicam que esse grupo possui boa responsividade à inoculação com FMA.

De modo similar à *C. hololeuca*, não foram encontrados trabalhos envolvendo respostas de *T. hystrix* aos FMA durante a fase de produção de mudas. Por mais que a espécie não tenha sido beneficiada pela inoculação com FMA no presente trabalho, Zangaro et al. (2003) observaram que uma espécie de mesmo gênero (*T. australis*) demonstrou elevada dependência aos FMA, onde a inoculação proporcionou incremento de, aproximadamente, 240% na H das plantas, em comparação às mudas produzidas em substrato não inoculado. No entanto, essas ponderações devem ser realizadas com cautela. Faria et al. (2013) encontraram diferentes respostas à inoculação com FMA em mudas de *Hymenaea stignocarpa* em nível de progênies, o que demonstra que, em alguns casos, possa ocorrer alta especificidade na interação planta x FMA.

Ainda que seja esperado que a inoculação com FMA promova benefícios no crescimento de espécies arbóreas da família Fabaceae nativas do Brasil, como observado em diversos trabalhos (Abreu et al., 2018; Brito et al., 2017; Stoffel et al., 2016; Dias et al., 2012; Jesus et al., 2005; Caldeira et al., 2003; Caldeira et al., 1999), esse fato não foi observado para *P. nitens* e *P. dubium*, as quais pertencem a essa família botânica. Zangaro et al. (2002) encontraram respostas baixas e ausentes aos FMA em condições de casa de vegetação para, respectivamente, *P. nitens* e *P. dubium*. De modo similar, Siqueira et al. (1998) não observaram efeito benéfico da inoculação com *Glomus etunicatum* e *Gigaspora margarita* na produção de mudas de *P. dubium*.

Associações simbióticas de raízes de leguminosas com bactérias fixadoras de N e FMA são importantes adaptações evolutivas dessas plantas para a colonização de ambientes terrestres (Tedersoo et al., 2018). Assim, o uso dessa interação é altamente promissor, sendo abordada como fator essencial para a recuperação de solos degradados (Nadeem et al., 2014). A melhoria no status nutricional de P, seja por meio da fertilização e, ou, efeito do FMA, é um ponto importante para a fixação biológica de N, dado que o maior fator restritivo a esse processo é o baixo status de P na planta (Esfahani et al., 2016).

Em relação às respostas das plantas de diferentes ritmos de crescimento aos FMA, Liu et al. (2015) apontam que espécies de raízes grossas são, geralmente, mais colonizadas pelos FMA, dado que essas raízes possuem limitada capacidade de adquirir nutrientes do solo, em comparação às raízes finas. Desse modo, as espécies com o sistema radicular mais robusto investiriam nesses microrganismos, em vistas de obter recursos por meio das hifas fúngicas, as quais são finas.

A elevada capacidade dos FMA em absorver nutrientes de baixa mobilidade, como é o caso do P, aparentemente, é uma das principais vantagens obtidas pelas plantas durante a simbiose. Espécies de rápido crescimento possuem elevada resposta à adubação fosfatada em viveiro (Lacerda et al., 2011; Santos et al., 2008; Resende et al., 1999), o que não ocorre com tanta frequência em espécies de lento crescimento (Resende et al., 2000). No entanto, deve-se destacar que esses microrganismos, além dos benefícios gerados na nutrição e crescimento vegetativo, podem auxiliar as plantas com o aumento da resistência a diversos estresses abióticos e bióticos corriqueiros em condições de campo, como déficit hídrico e ataque de insetos e patógenos.

Outro fato também importante é que alguns FMA são capazes de imobilizar e transferir nutrientes que não estão prontamente disponíveis para as plantas, como os presentes em materiais orgânicos do substrato, principalmente N e P (Finlay, 2008). Dessa forma, a

presença de maior diversidade desses microrganismos pode elevar a chance de ocorrência desse fenômeno. Essa afirmação é de grande interesse para a produção de mudas de espécies nativas do Brasil, dado que em viveiros florestais, é comum o uso de componentes orgânicos na formulação dos substratos de cultivo das mudas.

A inoculação com FMA, por mais que não tenha surtido em efeito positivo no crescimento das plantas em condições de viveiro, pode ser um ponto vantajoso ao se realizar o plantio dessas mudas a campo. Utilizando a técnica de PCR-DGGE, Kayashima (2021) observou que a utilização de inóculo produzido de maneira semelhante ao utilizado no presente estudo (*on-farm*) não afetou a produção de massa seca de mudas de *Acrocomia aculeata* e a diversidade de bactérias presentes no substrato. No entanto, o uso do inóculo promoveu aumento da diversidade de FMA no substrato, o que pode ser positivo, dado que perfis com alta diversidade de FMA podem contribuir para o recrutamento de outros microrganismos benéficos às plantas (El Kinany et al., 2019).

Frederickson (2017) levanta uma discussão relevante quanto à resposta das plantas aos FMA, apontando que em grande parte dos trabalhos que são conduzidos em condições controladas, como estufas e casas de vegetação, a resposta das plantas à menor diversidade de microrganismos, como os isolados, é altamente positiva. Contudo, em situações de experimentos de campo, maior benefício da simbiose ocorre em situações em que a microbiota do solo é mais diversa. Carrillo-Garcial et al. (1999) apontam que algumas espécies podem responder pouco aos FMA no início de seu ciclo de vida. Contudo, com o passar dos anos, essas se tornariam altamente infectadas e, conseqüentemente, beneficiadas por esses microrganismos.

5. CONCLUSÕES

O substrato Antuérpia é melhor para a produção de mudas das espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica estudadas.

A inoculação com FMA não promove incremento no crescimento das mudas das espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica estudadas, na fase de viveiro.

REFERÊNCIAS

ABAURRE, G. W.; SAGGIN JUNIOR, O. J.; SCHÄFER, G.; FARIA, S. M. Substrates for the production of *Samanea saman* (Jacq.) Merr seedlings inoculated with nitrogen-fixing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi. **Symbiosis**, v. 82, p. 157-163, 2020.

ABREU, G. M.; SCHIAVO, J. A.; ABREU, P. M.; BOBADILHA, G. D. S.; ROSSET, J. S. Crescimento inicial e absorção de fósforo e nitrogênio de *Enterolobium contortisiliquum*

inoculada com fungos micorrízicos arbusculares. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 156-164, 2018.

ANTUNES, V.; CARDOSO, E. J. B. N. Growth and nutrient status of citrus plants as influenced by mycorrhiza and phosphorus application. **Plant and Soil**, v. 131, p.11-19, 1991.

AQUINO, S. S.; CASSIOLATO, A. M. R. Contribuição de fungos micorrízicos arbusculares autóctones no crescimento de *Guazuma ulmifolia* em solo de cerrado degradado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 12, p. 1819-1823, 2002.

BENEDETTO, A.; MAGURNO, F.; BONFANTE, P.; LANFRANCO, L. Expression profiles of a phosphate transporter gene (GmosPT) from the endomycorrhizal fungus *Glomus mosseae*. **Mycorrhiza**, v. 15, n. 8, p. 620-627, 2005.

BRITO, V. N.; TELLECHEA, F. R. F.; HEITOR, L. C.; FREITAS, M. S. M.; MARTINS, M. A. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada na produção de mudas de paricá. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 485-497, 2017.

CALDEIRA, M. V. W.; SILVA, E. M. R.; FRANCO, A. A.; WATZLAWICK, L. F. Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o crescimento de três leguminosas arbóreas. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, v. 1, n. 1, p. 27-32, 2003.

CALDEIRA, M. V. W.; SILVA, E. M. R.; FRANCO, A. A.; ZANON, M. L. B. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento de duas leguminosas arbóreas. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 1, p. 63-70, 1999.

CARNEIRO, M. A. C.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Fósforo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares no estabelecimento de mudas de embaúba (*Cecropia pachystachya* Trec). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 34, n. 3, p. 119-125, 2004.

CARRILLO-GARCIAL, A; DE LA LUZ, J. L. L.; BASHANL, Y.; BETHLENFALVAY, G. J. Nurse plants, mycorrhizae, and plant establishment in a disturbed area of the Sonoran Desert. **Ecologia da Restaura**, v. 7, n. 4, p. 321–335, 1999.

CARRINO-KYKER, S. R.; KLUBER, L. A.; PETERSEN, S. M.; COYLE, K. P.; HEWINS, C. R.; DEFOREST, J. L.; SMEMO, K. N.; BURKE, D. J. Mycorrhizal fungal communities respond to experimental elevation of soil pH and P availability in temperate hardwood forests. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 92, fiw024, 2016.

DALANHOL, S. J.; NOGUEIRA, A. C.; GAIAD, S.; KRATZ, D. Efeito de fungos micorrízicos arbusculares e da adubação no crescimento de mudas de *Eugenia uniflora* L., produzidas em diferentes substratos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 38, p. 117-128, 2016.

DIAS, P. C.; PEREIRA, M. S. F.; KASUYA, M. C. M.; PAIVA, H. N.; OLIVEIRA, L. S.; XAVIER, A. Micorriza arbuscular e rizóbios no enraizamento e nutrição de mudas de angico-vermelho. **Revista Árvore**, v. 36, n. 6, p. 1027-1037, 2012.

DOUDS JR., D. D.; SCHENCK, N. C. Increased sporulation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi by manipulation of nutrient regimens. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 56, n. 2, p. 413–418, 1990.

DRISSNER, D.; KUNZE, G.; CALLEWAERT, N.; GEHRIG, P.; TAMASLOUKHT, M.; BOLLER, T.; FELIX N.; AMRHEIN; BUCHER, M. Lyso-phosphatidylcholine is a signal in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. **Science**, v. 318, n. 5848, p. 265-268, 2007.

EL KINANY, S.; ACHBANI, E.; FAGGROUD, M.; OUAHMANE, L.; EL HILALI, R.; HAGGOUD, A.; BOUAMRI, R. Effect of organic fertilizer and commercial arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of micropropagated date palm cv. Feggouss. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.18, p.411–417, 2019.

ESFAHANI, M. N.; KUSANO, M.; NGUYEN, K. H.; WATANABE, Y.; HA, C. V.; SAITO, K.; SULIEMAN, S.; HERRERA-ESTRELLA, L.; TRAN, L. S. P. Adaptation of the symbiotic *Mesorhizobium*–chickpea relationship to phosphate deficiency relies on reprogramming of whole-plant metabolism. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 32, p. E4610-E4619, 2016.

FARIA, T. M.; SCABORA, M. H.; MALTONI, K. L.; CASSIOLATO, A. M. R. Micorrização e crescimento de progênies de *Hymenaea stagnocarpa* Mart. ex. Hayne em subsolo de área degradada. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 1, p. 233-243, 2013.

FERNANDES, C.; CORÁ, J. E.; BRAZ, L. T. Desempenho de substratos no cultivo do tomateiro do grupo cereja. **Horticultura Brasileira**, v. 24, p. 42-46, 2006.

FERREIRA, D. F. **Sistemas de análise estatística para dados balanceados**. Lavras: UFLA/DEX/SISVAR, 2000. 145 p.

FERROL, N.; AZCÓN-AGUILAR, C.; PÉREZ-TIENDA, J. Review: Arbuscular mycorrhizas as key players in sustainable plant phosphorus acquisition: An overview on the mechanisms involved. **Plant Science**, v. 280, p. 441-447, 2019.

FINLAY, R. D. Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: with special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. **Journal of Experimental Botany**, v. 59, n. 5, p. 1115-1126, 2008.

FIORILLI, V.; LANFRANCO, L.; BONFANTE, P. The expression of GintPT, the phosphate transporter of *Rhizophagus irregularis*, depends on the symbiotic status and phosphate availability. **Planta**, v. 237, n. 5, p. 1267-1277, 2013.

FLORES-AYLAS, W. W.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J.; SIQUEIRA, J. O.; DAVIDE, A. C. Efeito de *Glomus etunicatum* e fósforo no crescimento inicial de espécies arbóreas em semeadura direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, p. 257-266, 2003.

FREDERICKSON, M. E. Mutualisms are not on the verge of breakdown. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 32, n. 10, p. 727-734, 2017.

GAUR, A.; ADHOLEYA, A. Effects of the particle size of soil-less substrates upon AM fungus inoculum production. **Mycorrhiza**, v. 10, p. 43-48, 2000.

GŁĄB, T.; ŻABIŃSKI, A.; SADOWSKA, U.; GONDEK, K.; KOPEĆ, M., MIERZWA–HERSZTEK, M.; TABOR, S. Effects of co-composted maize, sewage sludge, and biochar mixtures on hydrological and physical qualities of sandy soil. **Geoderma**, v. 315, p. 27-35, 2018.

GOETTEN, L. C.; MORETTO, G.; STÜRMER, S. L. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi inoculum produced on farm and phosphorus on growth and nutrition native Woody plant species from Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 30, n. 1, p. 9-16, 2016.

GONZAGA, L. M.; SILVA, S. S.; CAMPOS, S. A.; FERREIRA, R. P.; CAMPOS, A. N. R.; CUNHA, A. C. M. C. M. Evaluation of substrates and amf sporulation in the production of seedlings of native forest species. **Revista Árvore**, v. 40, n. 2, p. 245-254, 2016.

GUERRA, A.; REIS, L. K.; BORGES, F. L. G.; OJEDA, P. T. A.; PINEDA, D. A. M.; MIRANDA, C. O.; ... GARCIA, L. C. Ecological restoration in Brazilian biomes: Identifying advances and gaps. **Forest Ecology and Management**, v. 458, n. 15, 117802, 2020.

HODGE, A.; FITTER, A. H. Substantial nitrogen acquisition by arbuscular mycorrhizal fungi from organic material has implications for N cycling. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 31, p. 13754–13759, 2010.

HUANTE, P.; CECCON, E.; OROZCO-SEGOVIA, A.; SÁNCHEZ-CORONADO, M. E.; ACOSTA, I.; RINCÓN, E. The role of arbuscular mycorrhizal fungi on the early-stage restoration of seasonally dry tropical forest in Chamela, Mexico. **Revista Árvore**, v. 36, n. 2, p. 279-289, 2012.

JANOS, D. P. Vesicular- arbuscular mycorrhizae of epiphytes. **Mycorrhiza**, v. 4, p. 1-4, 1993.

JESUS, E. C.; SCHIAVO, J. A.; FARIA, S. M. Dependência de micorrizas para a nodulação de leguminosas arbóreas tropicais. **Revista Árvore**, v. 29, n. 4, p. 545-552, 2005.

KAYASHIMA, M. **Seedling production of Brazilian native species by inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant growth-promoting rhizobacteria**. 2021. 65 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.

KIM, J.; REES, D. C. Nitrogenase and biological nitrogen fixation. **Biochemistry**, v. 33, n. 2, p. 389- 397, 1994.

KOBAE, Y.; OHMORI, Y.; SAITO, C.; YANO, K.; OHTOMO, R.; FUJIWARA, T. O tratamento com fosfato inibe fortemente o desenvolvimento de novos arbúsculos, mas não a manutenção do arbúsculo em raízes de arroz micorrízicas. **Plant Physiology**, v. 171, n. 1, p. 566-579, 2016.

LACERDA, K. A. P.; SILVA, M. M. S.; CARNEIRO, M. A. C.; REIS, E. F.; SAGGIN JÚNIOR, O. J. Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada no crescimento inicial de seis espécies arbóreas do cerrado. **Cerne**, v. 17, n. 3, p. 377-386, 2011.

LIU, B.; LI, H.; ZHU, B.; KOIDE, R. T.; EISSENSTAT, D. M.; GUO, D. Complementarity in nutrient foraging strategies of absorptive fine roots and arbuscular mycorrhizal fungi across 14 coexisting subtropical tree species. **New Phytologist**, v. 208, p. 125-136, 2015.

MA, X., LI, X.; LUDEWIG, U. Arbuscular mycorrhizal colonization outcompetes root hairs in maize under low phosphorus availability. **Annals of Botany**, v. 127, n. 1, p. 155-166, 2021.

MACHINESKI O.; BALOTA E. L.; SOUZA J. R. P. Resposta da mamoneira a fungos micorrízicos arbusculares e a níveis de fósforo. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, p. 1855-1862, 2011.

MACLEAN, A. M.; BRAVO, A.; HARRISON, M. J. Plant signaling and metabolic pathways enabling arbuscular mycorrhizal symbiosis. **The Plant Cell**, v. 29, p. 2319-2335, 2017.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – MAPA. **Instrução normativa SDA Nº 17, de 21 de maio 2007**. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos, na forma do Anexo à presente Instrução Normativa. Brasília, 2007. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-17-de-21-05-2007-aprova-metodo-substrato.pdf>. Acesso em: 31 out. 2022.

MOREAU, D.; BARDGETT, R. D.; FINLAY, R. D.; JONES, D. L.; PHILIPPOT, L. A plant perspective on nitrogen cycling in the rhizosphere. **Functional Ecology**, v. 33, n. 4, p. 540-552, 2019.

MOREIRA, B. C.; PRATES JUNIOR, P.; JORDÃO, T. C.; SILVA, M. C. S.; RIBEIRO, A. P. F.; STÜRMER, S. L.; ... KASUYA, M. C. M. Effect of inoculation of pineapple plantlets with arbuscular mycorrhizal fungi obtained from different inoculum sources multiplied by the on-farm method. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, e0180148, 2019.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2006. 626 p.

NADEEM, S. M.; AHMAD, M.; ZAHIR, Z. A.; JAVAID, A.; ASHRAF, M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. **Biotechnology advances**, v. 32, p. 429-448, 2014.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

PEREIRA FILHO, G. M.; JACOVINE, L. A. G.; SCHETTINI, B. L. S.; PAIVA, H. N.; LEITE, F. P.; VILLANOVA, P. H.; ROCHA, S. J. S. S.; LEITE, H. G. Correlação entre dimensões das árvores de eucalipto em alto fuste e talhadia. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 125, e3212, 2020.

PFEFFER, P. E.; DOUDS, D. D.; BÉCARD, G.; SHACHAR-HILL, Y. Carbon uptake and the metabolism and transport of lipids in an arbuscular mycorrhiza. **Plant Physiology**, v. 120, p. 587–598, 1999.

PORCEL, R.; REDONDO-GOMEZ, S.; MATEOS-NARANJO, E.; AROCA, R.; GARCIA, R.; RUIZ-LOZANO, J.M. Arbuscular mycorrhizal symbiosis ameliorates the optimum quantum yield of photosystem II and reduces non-photochemical quenching in rice plants subjected to salt stress. **Journal Plant Physiology**, v. 185, p. 75–83, 2015.

POUYU-ROJAS, E.; SIQUEIRA, J. O.; SANTOS, J. G. D. Compatibilidade simbiótica de fungos micorrízicos arbusculares com espécies arbóreas tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 413-424, 2006.

PRATES JÚNIOR, P.; MOREIRA, B. C.; SILVA, M. C. S.; DIOGO, N. V.; LUZ, J. M. R.; JORDÃO, T. C.; PAIVA, H. N.; KASUYA, M. C. M. Mycorrhizal inoculation and phosphorus fertilization show contrasts on native species of the Brazilian Atlantic Forest and Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 45, e0210013, 2021.

PÜSCHEL, D.; JANOUŠKOVÁ, M.; HUJSLOVÁ, M.; SLAVÍKOVÁ, R.; GRYNDELOVÁ, H.; JANSÁ, J. Plant-fungus competition for nitrogen erases mycorrhizal growth benefits of *Andropogon gerardii* under limited nitrogen supply. **Ecology and Evolution**, v. 6, n. 13, p. 4332–4346, 2016.

RAMOS A. C.; MARTINS, M. A. Fisiologia de micorrizas arbusculares. In: SIQUEIRA, J. O. et al. **Micorrizas: 30 anos de pesquisa no Brasil**. Lavras: UFLA, 2010. p.133-152.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; MUNIZ, J. A.; FARIA, M. R. Acúmulo e eficiência nutricional de macronutrientes por espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta à fertilização fosfatada. **Ciência Agrotécnica**, v. 24, n. 1, p. 160-173, 2000.

RESENDE, Á. V.; FURTINI NETO, A. E.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V. Crescimento inicial de espécies florestais de diferentes grupos sucessionais em resposta a doses de fósforo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 11, p. 2071-2081, 1999.

ROLIM, S. G.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; PIOTTO, A.; BATISTA, A.; FREITAS, M. L. M.; BRIENZA JUNIOR, S.; ZAKIA, M. J. B.; CALMON, M. **Prioridades e lacunas de pesquisa e desenvolvimento em silvicultura de espécies nativas no Brasil**. São Paulo: WRI Brasil, 2020. Disponível em: https://www.wribrasil.org.br/sites/default/files/af_wri_workingpaper_researchgapsinsilviculture_portugues_web.pdf. Acesso em: 14 dez. 2022.

SANTOS, J. Z. L.; RESENDE, Á. V.; FURTINI NETO, A. E.; CORTE, E. F. Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 799-807, 2008.

SCHOEN, C.; AUMOND, J. J.; STÜRMER, S. L. Efficiency of the on-Farm mycorrhizal inoculant and phonolite rock on growth and nutrition of *Schinus terebinthifolius* and *Eucalyptus saligna*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, e0150440, 2016.

SILVA, F. S. B.; YANO-MELO, A. M.; BRANDÃO J. A. C.; MAIA L. C. Sporulation of arbuscular mycorrhizal fungi using Tris-HCl buffer in addition to nutrient solutions. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 36, p. 327-332, 2005.

SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; LEITE, F. P. Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do Vale do Rio Doce, MG. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 765-776, 2011.

SILVEIRA, R. B.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. **Cerne**, v. 12, n. 1, p. 48-55, 2006.

SIQUEIRA, J. O.; CARNEIRO, M. A. C.; CURI, N.; ROSADO, S. C. S.; DAVIDE, A. C. Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native woody species as related to

successional groups in Southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 107, p. 241-252, 1998.

SIQUEIRA, J. O.; SAGGIN-JÚNIOR, O. J. Dependency on arbuscular mycorrhizal fungi and responsiveness of some Brazilian native woody species. **Mycorrhiza**, v. 11, p. 245-255, 2001.

SOTI, P. G.; JAYACHANDRAN, K.; PURCELL, M.; VOLIN, J. C.; KITAJIMA, K. Mycorrhizal symbiosis and *Lygodium microphyllum* invasion in south Florida—a biogeographic comparison. **Symbiosis**, v. 62, p. 81–90, 2014.

SOUZA, P. V. D.; CARNIEL, E.; SCHMITZ, J. A. K.; SILVEIRA, S. V. Substratos e fungos micorrízicos arbusculares no desenvolvimento vegetativo de Citrange Troyer. **Agropecuária Catarinense**, v. 16, n. 3, p. 84-88, 2003.

STOFFEL, S. C. G.; ARMAS, R. D.; GIACHINI, A. J.; ROSSI, M. J.; GONZALEZ, D.; MEYER, E.; NICOLEITE, C. H.; ROCHA-NICOLEITE, E.; SOARES, C. R. F. S. Micorrizas arbusculares no crescimento de leguminosas arbóreas em substrato contendo rejeito de mineração de carvão. **Cerne**, v. 22, n. 2, p. 181-188, 2016.

STÜRMER, S. L.; BEVER, J. D., & MORTON, J. B. Biogeography of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomeromycota*): a phylogenetic perspective on species distribution patterns. **Mycorrhiza**, v. 28, p. 587-603, 2018.

TAVARES, S. R. L.; FRANCO, A. A.; SILVA, E. M. R. Produção de mudas de sabiá *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth noduladas e micorrizadas em diferentes substratos. **Holos**, v. 7, 231-241, 2016.

TEDERSOO, L.; LAANISTO, L.; RAHIMLOU, S.; TOUSSAINT, A.; HALLIKMA, T.; PÄRTEL, M. Global database of plants with root-symbiotic nitrogen fixation: Nod DB. **Journal of Vegetation Science**, v. 29, n. 3, 560-568, 2018.

TRISTÃO, F. S. M.; ANDRADE, S. A. L. D.; SILVEIRA, A. P. D. D. Fungos micorrízicos arbusculares na formação de mudas de cafeeiro, em substratos orgânicos comerciais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, p. 649-658, 2006.

WU, Q. S.; ZOU, Y. N. Arbuscular mycorrhizal fungi and tolerance of drought stress in plants. In: WU, Q. S. **Arbuscular mycorrhizas and stress tolerance of plants**. Springer, Singapura, 2017. p. 25-41.

ZANGARO, W.; NISIZAKI, S. M. A.; DOMINGOS, J. C. B.; NAKANO, E. M. Mycorrhizal response and successional status in 80 woody species from south Brazil. **Journal of Tropical Ecology**, v. 19, n. 3, p. 315-324, 2003.

ZANGARO, W.; NISIZAKI, S. M. A.; DOMINGOS, J. C. B.; NAKANO, E. M. Micorriza arbuscular em espécies arbóreas nativas da bacia do rio Tibagi, Paraná. **Cerne**, v. 8, n. 1, p. 77-87, 2002.

ZEMKE, J. M.; PEREIRA, F.; LOVATO, P. E.; SILVA, A. L. Avaliação de substratos para inoculação micorrízica e Aclimatização de dois porta-enxertos de videira micropropagados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 1309-1315, 2003.

CAPÍTULO 2 – MODELAGEM DO CRESCIMENTO E PRODUÇÃO DE MASSA POR MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA EM RESPOSTA A SUBSTRATO DE CULTIVO E INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA)

RESUMO

As curvas de crescimento geradas por modelos de regressão não lineares com interpretação biológica podem ser de grande utilidade em atividades relacionadas à produção vegetal, como determinar épocas de maior crescimento, incremento de massa e momento ideal para a aplicação de recursos de crescimento, a exemplo dos fertilizantes. Ao se realizar essas análises, é desejável compreender se um conjunto de equações ajustadas são iguais e podem ser substituídas por uma única expressão matemática. Adicionalmente, conhecer a correlação existente entre os atributos morfológicos de mudas pode facilitar a predição de variáveis de difícil obtenção, a exemplo da produção de massa das plantas. Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi comparar e selecionar modelos de crescimento, assim como avaliar a igualdade das equações geradas para os atributos morfológicos altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC) e produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica de diferentes ritmos de crescimento. Adicionalmente, objetivou-se avaliar qual dos atributos morfológicos de fácil mensuração (H ou DC) possui maior potencial preditivo para a produção de massa seca das mudas. O experimento foi conduzido entre setembro de 2019 a fevereiro de 2020 (161 dias), em um viveiro comercial de produção de mudas de espécies arbóreas nativas, localizado no município de Belo Oriente (MG). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com 4 tratamentos, avaliando-se substratos de cultivo das mudas (substrato Ouro Verde e substrato Antuérpia) e a inoculação micorrízica (inoculado e não inoculado), com 5 repetições, totalizando 20 unidades experimentais por espécie avaliada. A parcela experimental foi constituída por 10 plantas. Foram selecionadas quatro espécies, sendo duas de rápido (*Schinus terebinthifolia* e *Psidium guineense*) e duas de lento (*Colubrina glandulosa* e *Pterogyne nitens*) ritmo de crescimento para a realização da modelagem do crescimento e produção de massa seca das mudas. Realizou-se medições periódicas dos atributos morfológicos avaliados aos 32, 60, 85, 126 e 161 dias após o transplântio (DAT) das mudas. Os modelos avaliados foram os de Gompertz, Logístico e Power. Para a seleção do modelo que melhor se ajustou aos dados, além das estatísticas usuais para a seleção, sendo elas o erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e o coeficiente de correlação entre o valor observado e estimado (r_{yy}) dos atributos morfológicos, realizou-se a análise gráfica de resíduos.

Adicionalmente, para os modelos Gompertz e Logístico, levou-se em conta a significância e a magnitude dos coeficientes, em relação às dimensões consideradas sobre o ponto de vista biológico. As equações geradas nos melhores modelos foram comparadas pelo teste de identidade de modelos. A correlação entre os atributos morfológicos H, DC, MSPA e MSR foi avaliada por meio da correlação de Pearson. O modelo Logístico foi o que melhor se adequou para a maior parte dos atributos avaliados em *P. guineense* e *P. nitens*. Para *C. glandulosa*, o modelo de Gompertz foi o mais adequado em três das quatro variáveis estudadas (H, MSPA e MSR). O modelo Power adequou-se melhor às variáveis H e MSR de *S. terebinthifolia*, enquanto o DC e a MSPA ajustaram-se melhor ao modelo Logístico. A produção de massa seca das mudas obteve coeficiente de correlação de Pearson (r) significativo com os atributos H e DC, obtendo-se r de até 0,92, o que indica correlação elevada entre os atributos morfológicos. O teste de identidade dos modelos, considerando-se todos os atributos morfológicos estudados, mostrou que em 91,7% dos casos as equações ajustadas não são iguais para os pares de tratamentos. Assim, nas condições estudadas, indica-se utilizar equações ajustadas de maneira isolada para cada espécie, atributo morfológico e tratamento avaliados. O DC é adequado para a predição da produção de massa seca das mudas.

Palavras-chave: Análise de Regressão. Modelos não lineares. Teste de identidade de modelos. Curvas de crescimento. Crescimento e produção de mudas.

1. INTRODUÇÃO

A análise de regressão é o estudo da dependência de uma variável (dependente), em relação a uma ou mais variáveis (variáveis explicativas), visando estimar e, ou, prever o valor médio da população da variável dependente em termos dos valores conhecidos ou fixados, em amostragens repetidas, das variáveis independentes (Gujarati e Porter, 2011). Essas relações permitem a obtenção indireta, por meio de estimativas, de atributos de interesse para o manejo de culturas, como o crescimento e produção vegetal.

O crescimento vegetal, assim como de outros organismos, normalmente é caracterizado por um processo de rápido crescimento, o qual vai desacelerando com o decorrer do tempo até a estabilização. Modelos lineares e exponenciais, os quais são utilizados em abordagens tradicionais de crescimento, não conseguem representar essas variações no crescimento em função do tempo (Paine et al., 2011). No entanto, esse fenômeno pode ser representado por modelos não lineares que geram curvas assintóticas, a exemplo dos modelos de Gompertz e Logístico. Esses modelos descrevem como a variável regressora, no caso a idade ou tempo, afetam o crescimento. Assim, esses modelos são muito usuais em diversos campos do conhecimento biológico (Regazzi, 2003).

As curvas de crescimento geradas por esses modelos podem ser úteis em diversas atividades relacionadas à produção vegetal. Fernandes et al. (2014) definem as curvas de crescimento como uma sequência de medidas de atributos biométricos mensurados repetidamente ao longo do tempo. Os autores afirmam que essa informação pode amparar decisões importantes para a produção vegetal, como identificação de fases fenológicas, épocas de maior incremento de massa, momento ideal para a aplicação de recursos de crescimento, como fertilizantes, e determinação da época de colheita, a qual, na maior parte dos casos, é definida empiricamente.

Os modelos de regressão mais estudados são os do tipo linear, os quais são muito utilizados em estudos de ecologia, e os não lineares, que podem ser úteis em estudos de longo prazo, possuindo potencial para explicar o crescimento de plantas, detectando a evolução dos processos com o decorrer do tempo (Paine et al., 2011). Isso significa que os modelos não lineares possuem a capacidade de ajustar equações que permitam que as estimativas de crescimento sejam calculadas a qualquer tempo (Causton et al., 1978). Assim, é possível obter curvas de crescimento dos organismos com a vantagem de os parâmetros possuírem interpretação biológica, auxiliando o operador na tomada de decisões (Lúcio et al., 2016).

Entre os modelos biológicos, os de Chapman-Richards, Gompertz e Logístico são muito utilizados na área florestal, normalmente empregados para a modelagem do

crescimento de povoamentos florestais. Os parâmetros biologicamente interpretáveis desses modelos quantificam a velocidade de crescimento das plantas, determinando o momento em que o crescimento tende a se estabilizar. Em experimentos em ambientes protegidos, como casas de vegetação e viveiros florestais, alguns trabalhos demonstram o potencial desses modelos, subsidiando o manejo das plantas (Arias et al., 2013; Zalduá e Sanfuentes, 2010; Relihan e Laing, 2010; Janos, 2007; Rees e Chapas, 1963). No entanto, pouco se observa na literatura sobre a utilização desses modelos na avaliação do crescimento e produção de massa de mudas de espécies arbóreas nativas do Brasil.

A observação apenas dos aspectos relacionados à capacidade preditiva da equação gerada pode não ser o suficiente para a correta seleção de um modelo. Dessa forma, interpretar o aspecto biológico do modelo (Sari et al., 2019), analisar os gráficos de resíduos (Bussab, 1986) e entender qual tipo de crescimento se planeja descrever (Draper e Smith, 1981) podem ser as melhores alternativas para uma escolha assertiva. Assim, na prática, o modelo ideal para uma dada situação deverá não apenas descrever os dados da amostra avaliada, mas também ser capaz de englobar dados adicionais ao longo do tempo considerado (Myung et al., 2005).

Ao se realizar uma análise de regressão, torna-se desejável compreender se um conjunto de equações ajustadas são iguais e podem ser substituídas por uma única equação, o que pode ser avaliado por meio do teste de identidade dos modelos. Diversos métodos já foram descritos na literatura para esse fim em modelos de regressão polinomial ortogonal (Regazzi, 1993), modelos lineares (Santos et al., 2017) e não lineares em experimento em delineamento inteiramente casualizados (Regazzi e Silva, 2004) e em blocos casualizados (Regazzi e Silva, 2010).

A obtenção de variáveis biométricas de difícil mensuração na produção de mudas é um ponto importante que também merece atenção. Os atributos H e DC são de fácil mensuração e de custo de coleta baixo, os quais necessitam de ferramentas de fácil aquisição e manuseio para sua obtenção, como régua e paquímetro. Adicionalmente, essas análises possuem a vantagem de serem não destrutivas. A altura da parte aérea das mudas se correlaciona diretamente com o crescimento inicial das mudas após o plantio (Gomes e Paiva, 2012).

Em relação ao DC, esse atributo também é um bom indicador da capacidade de sobrevivência das mudas após o plantio, apresentando boa relação com a produção de massa do sistema radicular. A avaliação conjunta dos atributos H e DC (razão H/DC) também é um indício de seu potencial de sobrevivência a campo. Para mudas de mesma altura, o ideal é que

a razão H/DC seja menor (Gomes e Paiva, 2012). No entanto, a avaliação da produção de massa seca, seja ela da parte aérea ou de raízes, são análises destrutivas, envolvendo o uso de equipamentos de custo elevado ao produtor, como balanças de precisão e estufas de circulação de ar (Abreu, 2018).

Diante o exposto, o objetivo do presente trabalho foi comparar e selecionar modelos de crescimento, assim como avaliar a igualdade das equações geradas para os atributos morfológicos altura da parte aérea, diâmetro do coleto e produção de massa seca da parte aérea e raízes de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica de diferentes ritmos de crescimento. Adicionalmente, objetivou-se avaliar qual dos atributos morfológicos de fácil mensuração (H ou DC) possui maior potencial preditivo para a produção de massa seca das mudas.

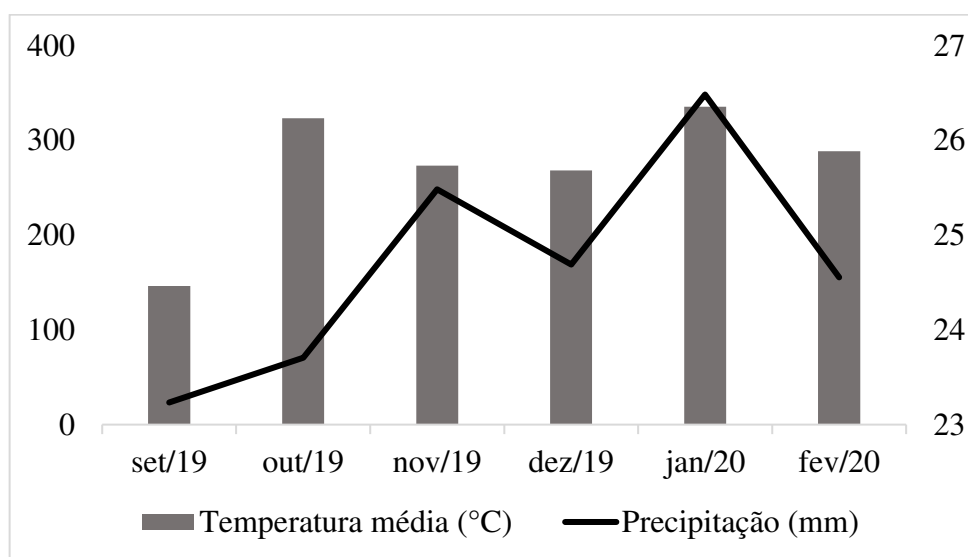
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo, desenho experimental e seleção das espécies avaliadas

O experimento foi realizado entre setembro de 2019 a fevereiro de 2020 (161 dias), em um viveiro comercial de produção de mudas de espécies nativas, localizado no município de Belo Oriente (MG). A região fica localizado entre as coordenadas geográficas 19° 10' S e longitude de 42° 20' W, com altitude média de 300 m, variando de 220 a 425 m. O clima é caracterizado como Aw pela classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1.208 mm, variando de 700 a 1.500 mm anuais, e umidade relativa média de 65,2%. A temperatura média anual é de 25,2 °C, com média mensal variando de 22 °C a 27 °C, média das mínimas de 18 °C e média das máximas de 32 °C (Pereira Filho et al., 2020; Silva et al., 2011).

Os dados de precipitação pluviométrica mensal e a temperatura média na região de Belo Oriente durante o período de condução do experimento (Figura 1) foram obtidos em estação automática pertencente à empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A.

Figura 1 – Temperatura média e precipitação pluviométrica mensal na região de Belo Oriente entre setembro de 2019 e fevereiro de 2020



Fonte: Autoria própria.

Foram avaliados quatro tratamentos, sendo eles T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições, totalizando 20 unidades experimentais por espécie avaliada. A parcela experimental foi constituída por 10 plantas, em cada ocasião em que as plantas foram medidas.

Foram selecionadas onze espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica para a produção das mudas. Após a separação das espécies de acordo com o ritmo de crescimento (rápido e lento ritmo de crescimento), foram selecionadas quatro dessas, sendo duas de cada ritmo de crescimento, para a realização da modelagem do crescimento e produção de massa seca. As espécies selecionadas de ritmo rápido de crescimento foram aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia*) e araçá-do-campo (*Psidium guineense*), enquanto as espécies selecionadas de ritmo lento de crescimento foram saguaraji (*Colubrina glandulosa*) e amendoim-bravo (*Pterogyne nitens*).

2.2. Avaliação de atributos morfológicos e definição dos ritmos de crescimento das plantas

O crescimento das plantas em altura da parte aérea (H) e diâmetro do coleto (DC) e a produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de raízes (MSR) foram

avaliados por meio de medições periódicas. As avaliações foram realizadas aos 32, 60, 85 e 126 dias após o transplante (DAT) para *S. terebinthifolia*, em virtude da espécie alcançar porte adequado para a expedição aos 126 DAT. Para *P. guineense*, *C. glandulosa* e *P. nitens* as avaliações foram realizadas aos 32, 60, 85, 126 e 161 DAT.

A H das mudas foi medida do nível acima do substrato até a gema apical, utilizando-se régua, enquanto o DC foi mensurado por meio de paquímetro digital. Para a avaliação da produção de massa seca, as plantas foram separadas em raiz e parte aérea. Em seguida, foram secas em estufa com circulação forçada de ar, a temperatura de 60 °C por 72 horas. Após a secagem, a massa das plantas foi aferida em balança analítica com precisão de 0,01g.

2.3. Análise de regressão, teste de identidade dos modelos e análise de correlação de Pearson

A análise de regressão foi realizada para os atributos morfológicos H, DC, MSPA e MSR das mudas. No presente estudo utilizou-se modelos de crescimento baseados na relação funcional $Y = f(\text{Idade})$, sendo eles os modelos de Gompertz (eq. 1), Logístico (eq. 2) e Power (eq. 3).

$$Y = \beta_0 e^{-e^{\beta_1 - \beta_2 I}} + \varepsilon \quad \text{eq. 1}$$

$$Y = \frac{\beta_0}{(1 + \beta_1 e^{-\beta_2 I})} + \varepsilon \quad \text{eq. 2}$$

$$Y = \beta_0 I^{\beta_2} \quad \text{eq. 3}$$

Em que: Y = Variável dependente (H, DC, MSPA ou MSR); β_i = Parâmetros estimados; I = Idade das mudas (dias); ε = Erro aleatório, $\varepsilon \sim \text{NID}(\theta, \sigma^2)$.

Para a seleção do modelo que melhor se ajustou aos dados, além das estatísticas usuais para a seleção, as quais são o erro-padrão residual ($S_{y..x}$) dos atributos morfológicos H, DC, MSPA ou MSR (eq. 4) e coeficiente de correlação entre o valor estimado e observado ($r_{\hat{y}y}$) dos atributos morfológicos H, DC, MSPA ou MSR (eq. 5), realizou-se a análise gráfica de resíduos. Adicionalmente, para os modelos Gompertz e Logístico, foram considerados a significância e a magnitude dos coeficientes, em relação às dimensões consideradas sobre o ponto de vista biológico.

$$Sy.x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{(n-p)}} \quad \text{eq. 4}$$

$$r_{\hat{y}y} = \frac{n^{-1}(\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{\hat{Y}}_m)(Y_i - \bar{Y}))}{\sqrt{(n^{-1} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{\hat{Y}}_m)^2)(n^{-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2)}} \quad \text{eq. 5}$$

em que: $\hat{Y}_i$ = variável estimada pelo modelo; Y_i = variável observada; $\bar{\hat{Y}}_m$ = médias das estimativas de Y_i ; $\bar{Y}$ = média da variável observada; n = número total de observações; p = número de coeficientes do modelo.

Os modelos foram ajustados para todas as observações de cada tratamento (combinação substrato + inoculação) por meio do software Curve Expert 1.4 (Hyams, 2010). As equações geradas nos melhores modelos foram comparadas pelo teste de identidade de modelos (Santos et al., 2017), avaliando-se a existência de igualdade dos parâmetros para um par de tratamentos na mesma espécie e atributo morfológico. Para o teste de identidade de modelos, realizou-se a escolha do modelo que, em termos gerais, melhor se ajustou para a espécie vegetal, em cada atributo morfológico estudado. Realizou-se o teste F, testando-se as seguintes hipóteses:

$$H_{0(ii')} = Eqi_{(i)} = Eqi_{(i')}, i \text{ e } i' = \text{tratamentos}, i \neq i'. \text{ Sob normalidade.}$$

$$F = \frac{\left\{ \left[\left(\sum_{j=1}^{n_i} Y_{icj}^2 + \sum_{j=1}^{n_{i'}} Y_{i'cj}^2 - \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{icj} - \widehat{Y}_{icj})^2 - \sum_{j=1}^{n_{i'}} (Y_{i'cj} - \widehat{Y}_{i'cj})^2 \right) - \left(\sum_{j=1}^{n_{ij}} Y_{ij}^2 R + \sum_{j=1}^{n_{i'j}} Y_{i'j}^2 R - \sum_{j=1}^{n_i} (Y_{ij} R - \widehat{Y}_{ij} R)^2 - \sum_{j=1}^{n_{i'}} (Y_{i'j} R - \widehat{Y}_{i'j} R)^2 \right) \right] \right\} / \text{gl. RH}_0}{\hat{\sigma}_{\text{residuo}}^2}$$

Sendo:

$i \text{ e } i'$ = dois tratamentos quaisquer;

$\widehat{Y}_{icj}$ = atributo estimado pelo modelo completo na j-ésima unidade experimental para o tratamento i ;

$\widehat{Y}_{i'cj}$ = atributo estimado pelo modelo completo na j-ésima unidade experimental para o tratamento i' ;

$\widehat{Y}_{ij} R$ = atributo estimado pelo modelo reduzido na j-ésima unidade experimental para o tratamento i ;

$\widehat{Y}_{i'j} R$ = atributo estimado pelo modelo reduzido na j-ésima unidade experimental para o tratamento i' ;

Y_{ij} = atributo observado na j-ésima unidade experimental para o tratamento i ;

$Y_{i'j}$ = atributo observado na j-ésima unidade experimental para o tratamento i'

n_i = número de unidades experimentais do tratamento i ;

$n_{i'}$ = número de unidades experimentais do tratamento i' ;

g.l. RH_0 = grau de liberdade devido à redução de H_0 .

A regra de decisão foi: $F \geq F_{\alpha}(p_2, n-p_1)$ = Rejeita-se $H_0(ii')$, ou seja, cada tratamento (i e i') possui uma curva de crescimento e, ou, produção específica. Sendo p_1 o número de parâmetros do modelo completo e p_2 o número de parâmetros do modelo reduzido. A esquematização da análise de variância para aplicação do teste de identidade dos modelos está presente na Tabela 1.

Tabela 1 - Esquema da análise de variância para aplicação de teste de identidade de modelos

FV	GL	SQ	QM	F	p-valor
Parâmetros do modelo completo	p1	$SQParC$			
Parâmetros do modelo reduzido	p2	$SQParR$			$p\text{-valor} \leq 0,05$: rejeita-se H_0 a 5% de significância (cada tratamento tem uma equação própria)
Redução devido a H_0	p1 - p2	$SQParH_0$	$\frac{SQParH_0}{p_1 - p_2}$	$\frac{QMRh_0}{QMres}$	
Residual	n - p1	$SQres$	$\frac{SQres}{n - p_1}$		
Total	n	SQT			

p1: número de parâmetros do modelo completo; p2: número de parâmetros do modelo reduzido; n: número de observações; $SQParC$: soma de quadrados do modelo completo; $SQParR$: soma de quadrados do modelo reduzido; $SQParH_0$: soma de quadrados devido a H_0 ; $SQres$: soma de quadrados residual; SQT : soma de quadrados total; $QMRh_0$: quadrado médio devido a H_0 ; $QMres$: quadrado médio residual.

Fonte: Autoria própria.

Por meio do Software Jamovi (The Jamovi Project, 2021), realizou-se o teste de correlação de Pearson ($p < 0,05$, $p < 0,01$ e $p < 0,001$) para avaliar a correlação existente entre os atributos morfológicos H, DC, MSPA e MSR das mudas. Para a análise de correlação de Pearson, as espécies foram agregadas, de modo a formar três grupos, os quais foram todas as espécies (*S. terebinthifolia*, *P. guineense*, *C. glandulosa* e *P. nitens*), espécies de ritmo rápido de crescimento (*S. terebinthifolia* e *P. guineense*) e espécies de ritmo lento de crescimento (*C. glandulosa* e *P. nitens*).

3. RESULTADOS

As estimativas dos parâmetros e as estatísticas dos ajustes dos modelos que melhor se adequaram para as variáveis altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC), massa seca da parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) de mudas de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia*), araçá-do-campo (*Psidium guineense*), saguaraji (*Colubrina glandulosa*) e amendoim-bravo (*Pterogyne nitens*) encontram-se nas tabelas seguintes e no apêndice B (Tabelas 1 a 16). OS gráficos com as curvas de crescimento em H e DC e a produção de MSPA e MSR estão dispostos no apêndice C (Figuras 1 a 16).

As estimativas dos parâmetros, assim como as estatísticas de avaliação para a variável H estão dispostos na Tabela 2. Nota-se que as equações geradas para as espécies de rápido crescimento (*S. terebinthifolia* e *P. guineense*) possuem coeficientes de correlação (r_{yy}) superiores a 0,85, exceto para *S. terebinthifolia* no tratamento T4 (Substrato Ouro Verde inoculado com FMA). Para as espécies de ritmo lento de crescimento (*C. glandulosa* e *P. nitens*), os coeficientes de correlação foram menores, os quais variaram entre 0,58 a 0,90. Dessa forma, as estimativas geradas para a H de mudas de ritmo rápido de crescimento foram mais precisas.

Tabela 2 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2) que melhor se adequaram aos dados, erro-padrão residual ($S_{y,x}$) e coeficiente de correlação entre a altura da parte aérea (H) observada e estimada ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica; y = H (em cm) e x = idade (em dias)

Aroeira-pimenteira (<i>Schinus terebinthifolia</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y,x}$ (%)	$r_{\hat{y}y}$
T1	Power	0,01873688	1,52330017	-	4,1882	0,9078
T2	Power	0,84698351	0,67071151	-	2,8842	0,8504
T3	Power	0,10770184	1,17395109	-	4,2036	0,8988
T4	Power	0,50775214	0,77185372	-	3,9230	0,7666
Araçá-do-campo (<i>Psidium guineense</i>)						
T1	Logístico	27,42029063	15,13960421	0,03012573	3,4243	0,9106
T2	Logístico	39,63482291	18,52859608	0,02464952	3,8649	0,9224
T3	Logístico	32,35982508	15,09004370	0,02495777	3,2288	0,9240
T4	Logístico	19,29429071	10,60792192	0,02970761	2,6323	0,8860
Saguaraji (<i>Colubrina glandulosa</i>)						
T1	Gompertz	55,18901781	0,78867914	0,00237364	1,9871	0,6764
T2	Gompertz	15,98630872	0,41042840	0,01326370	1,9376	0,8091
T3	Gompertz	27,32356512	0,61955864	0,00676236	1,5072	0,8965
T4	Gompertz	15,40857898	0,38553889	0,01427861	2,1796	0,7639
Amendoim-bravo (<i>Pterogyne nitens</i>)						
T1	Logístico	12,95398382	2,15631626	0,01467597	1,1412	0,8567
T2	Logístico	9,24097089	0,89189681	0,01620086	1,0406	0,6742
T3	Logístico	33,45335397	4,89992634	0,00363218	1,1307	0,6557
T4	Logístico	8,33925834	0,69815346	0,01796278	1,0356	0,5776

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*.

Fonte: Autoria própria.

Os dados de H de *P. guineense*, *C. glandulosa* e *P. nitens* se adequaram melhor aos modelos biológicos (Gompertz e Logístico). Por meio da análise do parâmetro β_0 , o qual indica o valor assintótico, é possível notar que a estagnação do crescimento das mudas das três espécies citadas ocorreu mais precocemente (menores valores de β_0) no T4. Por outro lado, a estagnação ocorreu mais tardiamente (maiores valores de β_0) nos tratamentos T2, T1 e T3 para, respectivamente, *P. guineense*, *C. glandulosa* e *P. nitens*. Para *S. terebinthifolia* observou-se melhor ajuste ao modelo Power, o qual é exponencial, não permitindo esse tipo de explicação biológica.

O crescimento em DC de todas as espécies estudadas se adequou de melhor forma ao modelo Logístico (Tabela 3). Em *S. terebinthifolia* e *P. nitens*, os maiores valores de β_0 foram

encontrados no tratamento com o substrato Antuérpia não inoculado (T1). Outro parâmetro que permite interpretação biológica no modelo Logístico é o β_2 , o qual indica a taxa de crescimento das plantas. Foi possível notar que as maiores taxas de crescimento (maiores valores de β_2) observados para *S. terebinthifolia*, *P. guineense*, *C. glandulosa* e *P. nitens* ocorreram, respectivamente, nos tratamentos T2, T4, T1 e T4.

Tabela 3 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2) que melhor se adequaram aos dados, erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de correlação entre o diâmetro do coleto (DC) observado e estimado ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica; y = H (em cm) e x = idade (em dias)

Aroeira-pimenteira (<i>Schinus terebinthifolia</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$ (%)	$r_{\hat{y}y}$
T1	Logístico	6,66722645	6,81349053	0,02666926	0,5399	0,9303
T2	Logístico	5,21319120	2,59628952	0,03767536	0,6529	0,7855
T3	Logístico	6,56666565	3,18056505	0,02861250	0,6898	0,8632
T4	Logístico	5,92989129	4,51572216	0,03264207	0,7947	0,8330
Araçá-do-campo (<i>Psidium guineense</i>)						
T1	Logístico	5,29507952	19,59206394	0,02935349	0,4943	0,9472
T2	Logístico	5,77641343	18,62824700	0,02705662	0,4756	0,9528
T3	Logístico	5,05179704	23,55500723	0,03189220	0,5044	0,9451
T4	Logístico	3,89072079	35,38411721	0,03797133	0,4093	0,9484
Saguaraji (<i>Colubrina glandulosa</i>)						
T1	Logístico	4,98059539	19,38709165	0,03948478	0,6095	0,9277
T2	Logístico	5,30341421	8,76356153	0,03117715	0,5640	0,9275
T3	Logístico	6,01000145	6,59661891	0,02847811	0,5271	0,9421
T4	Logístico	5,06666025	8,00690904	0,03667522	0,5105	0,9321
Amendoim-bravo (<i>Pterogyne nitens</i>)						
T1	Logístico	4,79819518	3,02518948	0,01032866	0,3178	0,8678
T2	Logístico	4,25576975	2,39889286	0,00829776	0,3176	0,7832
T3	Logístico	3,69424387	2,73767951	0,01489688	0,2860	0,8955
T4	Logístico	4,12815425	3,06968519	0,01056302	0,3003	0,8521

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*.

Fonte: Autoria própria.

Os modelos biológicos também foram os que melhor se adequaram para a variável MSPA das mudas. O modelo de Gompertz foi selecionado para esse atributo em mudas de *P. guineense* e *C. glandulosa*, ao passo que o modelo Logístico foi mais adequado para *S. terebinthifolia* e *P. nitens*. Nas espécies de rápido crescimento, houve comportamento similar

ao observado para a H, onde o coeficiente de correlação dos modelos ajustados ($r_{\hat{y}y}$) foi maior do que o observado nas espécies de lento crescimento. Os modelos gerados para *P. guineense* e *S. terebinthifolia* obtiveram $r_{\hat{y}y}$ variando entre 0,84 e 0,95, enquanto para *C. glandulosa* e *P. nitens* esses valores oscilaram entre 0,68 e 0,94 (Tabela 4).

Tabela 4 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2) que melhor se adequaram aos dados, erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de correlação entre a massa seca da parte aérea (MSPA) observada e estimada ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica; y = MSPA (em g) e x = idade (em dias)

Aroeira-pimenteira (<i>Schinus terebinthifolia</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$ (%)	$r_{\hat{y}y}$
T1	Logístico	3,60374808	84,81141269	0,04964650	0,3647	0,9490
T2	Logístico	2,43964355	13,77762101	0,04626055	0,4186	0,8466
T3	Logístico	9,73513703	25,52343993	0,02189140	0,5822	0,8918
T4	Logístico	3,12037016	16,06121389	0,03322553	0,4932	0,8406
Araçá-do-campo (<i>Psidium guineense</i>)						
T1	Gompertz	5,69566731	2,35022912	0,02053491	0,5980	0,9245
T2	Gompertz	6,99089052	2,37898077	0,01860174	0,6363	0,9242
T3	Gompertz	5,44760678	2,93145065	0,02579951	0,5968	0,9352
T4	Gompertz	2,46326917	3,92615956	0,04122751	0,4462	0,9036
Saguaraji (<i>Colubrina glandulosa</i>)						
T1	Gompertz	1,59359680	2,27115119	0,02704262	0,3020	0,8654
T2	Gompertz	2,16173749	1,64932692	0,01783615	0,2639	0,9040
T3	Gompertz	3,19071588	1,62018295	0,01597102	0,2600	0,9444
T4	Gompertz	1,79708030	2,23280949	0,03141802	0,3301	0,8759
Amendoim-bravo (<i>Pterogyne nitens</i>)						
T1	Logístico	1,04923437	13,73575434	0,03647870	0,1993	0,8303
T2	Logístico	0,61732114	4,50864563	0,03183251	0,1446	0,6791
T3	Logístico	0,91708887	19,88477089	0,03897541	0,1670	0,8519
T4	Logístico	0,76573898	5,77508699	0,02219421	0,1311	0,7835

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*.

Fonte: Autoria própria.

O atributo morfológico MSR das espécies de rápido crescimento se adequou melhor ao modelo exponencial Power, enquanto as de lento crescimento se ajustaram de forma mais adequada aos modelos biológicos (Gompertz e Logístico). Em *P. guineense*, o modelo se ajustou de modo a gerar elevada correlação entre os valores observados e estimados, com

valores de $r_{\hat{y}y}$ acima de 0,93. Isso não foi notado para *S. terebinthifolia*, dado que os valores de $r_{\hat{y}y}$ oscilaram entre 0,77 e 0,91 (Tabela 5).

Tabela 5 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2) que melhor se adequaram aos dados, erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de correlação entre a massa seca de raízes (MSR) observada e estimada ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica; y = MSR (em g) e x = idade (em dias)

Aroeira-pimenteira (<i>Schinus terebinthifolia</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$ (%)	$r_{\hat{y}y}$
T1	Power	0,00002538	2,39062709	-	0,4450	0,9064
T2	Power	0,03089429	0,90374683	-	0,5221	0,7779
T3	Power	0,00285154	1,43281812	-	0,7145	0,7931
T4	Power	0,01483188	1,02096489	-	0,4894	0,7726
Araçá-do-campo (<i>Psidium guineense</i>)						
T1	Power	0,00000031	3,16794016	-	0,4254	0,9362
T2	Power	0,00000298	2,71120004	-	0,4313	0,9250
T3	Power	0,00000008	3,45009286	-	0,3925	0,9471
T4	Power	0,00000021	3,18958574	-	0,3306	0,9334
Saguaraji (<i>Colubrina glandulosa</i>)						
T1	Gompertz	1,85272410	3,72699450	0,04188573	0,3716	0,8859
T2	Gompertz	3,17887024	1,71222660	0,01509103	0,2950	0,9202
T3	Gompertz	5,43669031	1,75052160	0,01363883	0,2907	0,9619
T4	Gompertz	2,83606364	1,61582333	0,01758805	0,3382	0,9069
Amendoim-bravo (<i>Pterogyne nitens</i>)						
T1	Logístico	1,10132547	27,57151933	0,02897636	0,1836	0,8458
T2	Logístico	0,98621407	14,11478543	0,02605283	0,1929	0,7960
T3	Logístico	1,40217636	21,88519568	0,02048559	0,1550	0,8450
T4	Logístico	0,75523707	26,63507347	0,03576078	0,1626	0,8249

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*.

Fonte: Autoria própria.

Comportamento similar ao notado na MSR das espécies de ritmo rápido de crescimento também foi encontrado para as espécies de ritmo lento de crescimento. O modelo de Gompertz foi o que melhor se adequou à MSR de mudas de *C. glandulosa*, gerando equações de maior precisão, com $r_{\hat{y}y}$ variando entre 0,89 e 0,96. Por outro lado, em *P. nitens* esses valores oscilaram entre 0,80 e 0,85. Nas duas espécies de crescimento lento, os maiores valores de β_0 , indicando estagnação da produção de MSR de modo mais tardio, ocorreram no tratamento T3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA). Da mesma forma, os maiores

valores de β_2 , o que indica maior velocidade no acúmulo de MSR, também foram encontrados nesse mesmo tratamento.

No que diz respeito à análise testando a igualdade das equações geradas para os tratamentos em cada atributo morfológico (teste de identidade dos modelos), os resultados encontram-se nas Tabelas 6 a 9. Para as variáveis altura da parte aérea (H) e diâmetro do coleto (DC) de *S. terebinthifolia*, nota-se que todos os pares de equações avaliadas apresentaram p -valor $< 0,0001$, com exceção do par T2-T4 ($p = 0,0250$) (Tabela 6). Esses resultados indicam que nenhum dos pares de tratamentos foram considerados iguais para a H e DC de mudas dessa espécie.

Tabela 6 - Matriz de p -valor e F do teste de identidade dos modelos de crescimento em altura da parte aérea (H) e diâmetro do coleto (DC) pelas mudas das espécies estudadas em cada par de tratamentos para as espécies de ritmo rápido de crescimento

Altura da parte aérea (H)					Diâmetro do coleto (DC)				
Aroeira-pimenteira (<i>Schinus terebinthifolia</i>)									
T	1	2	3	4	T	1	2	3	4
1	x	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	x	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
2	59,48	x	< 0,0001	0,0250	2	90,42	x	< 0,0001	< 0,0001
3	15,09	62,57	x	< 0,0001	3	109,90	18,73	x	< 0,0001
4	40,29	3,15	56,69	x	4	28,12	13,23	19,25	x
Araçá-do-campo (<i>Psidium guineense</i>)									
T	1	2	3	4	T	1	2	3	4
1	x	< 0,0001	0,0755	< 0,0001	1	x	0,4602	0,4852	< 0,0001
2	13,30	x	< 0,0001	< 0,0001	2	0,86	x	0,0281	< 0,0001
3	2,31	9,58	x	< 0,0001	3	0,82	3,05	x	< 0,0001
4	66,18	130,38	70,85	x	4	59,56	80,50	43,82	x

T = Tratamento; FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Valores em **negrito** indicam o p -valor e em *itálico* indicam o F, ambos a 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria própria.

Por outro lado, em *P. guineense*, um par de tratamentos (T1-T3) foi considerado igual ($p > 0,05$) para as variáveis H e DC. Os tratamentos T1 e T3 são compostos pelo substrato Antuérpia, alterando-se apenas a inoculação com FMA, a qual é ausente e presente,

respectivamente, em T1 e T3. Da mesma forma, notou-se similaridade entre os pares de tratamentos T1-T2, os quais são isentos de inoculação com FMA, para o DC de mudas de *P. guineense* (Tabela 7).

Em relação aos atributos H e DC das espécies de ritmo lento de crescimento, foi notada semelhança ($p > 0,05$) entre as equações testadas para a H de mudas de *C. glandulosa* nos pares de tratamento T2-T4, os quais possuem o substrato Ouro Verde não inoculado (T2) e inoculado com FMA (T4) (Tabela 7). Apenas a H de mudas de *P. nitens* no par de tratamentos T2-T3 obteve similaridade das equações ($p > 0,05$). Vale destacar que na maior parte dos casos onde se avaliou a identidade dos modelos para as variáveis H e DC das espécies de rápido e lento ritmo de crescimento, a diferença entre os tratamentos foi considerável ($p < 0,0001$). Esse fato indica substanciais diferenças no crescimento das mudas em resposta aos tratamentos, o que pode ser observado no comportamento das curvas de crescimento em H e DC das plantas (Apêndice D – Figuras 1 a 8).

Tabela 7 - Matriz de p -valor e F do teste de identidade dos modelos de crescimento em altura da parte aérea (H) e diâmetro do coleto (DC) pelas mudas das espécies estudadas em cada par de tratamentos para as espécies de ritmo lento de crescimento

Altura da parte aérea (H)					Diâmetro do coleto (DC)				
Saguaraji (<i>Colubrina glandulosa</i>)									
T	1	2	3	4	T	1	2	3	4
1	x	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	x	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
2	12,91	x	0,0012	0,9108	2	14,72	x	< 0,0001	< 0,0001
3	25,05	5,36	x	0,0004	3	89,64	37,61	x	< 0,0001
4	12,65	0,13	6,15	x	4	52,35	13,71	19,80	x
Amendoim-bravo (<i>Pterogyne nitens</i>)									
T	1	2	3	4	T	1	2	3	4
1	x	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	x	< 0,0001	0,0151	< 0,0001
2	47,63	x	0,1035	0,0004	2	27,91	x	< 0,0001	0,0001
3	42,68	2,07	x	< 0,0001	3	3,52	22,26	x	< 0,0001
4	83,97	6,16	8,62	x	4	42,32	7,22	29,17	x

T = Tratamento; FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Valores em **negrito** indicam o p -valor e em *italico* indicam o F, ambos a 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria própria.

A produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) de mudas de *S. terebinthifolia* foi influenciada pelos tratamentos, dado que a análise da identidade dos modelos em todos os pares de tratamentos não resultou em igualdade em nenhum dos casos ($p < 0,0001$). De outra maneira, os modelos de produção de MSPA de mudas de *P. guineense* no par de tratamentos T2-T3, assim como os modelos de MSR dos pares T1-T2 e T1-T3 foram considerados iguais ($p > 0,05$) (Tabela 8).

Tabela 8 - Matriz de p -valor e F do teste de identidade dos modelos de produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) pelas mudas das espécies estudadas em cada par de tratamentos para as espécies de ritmo rápido de crescimento

Massa seca da parte aérea (MSPA)					Massa seca de raízes (MSR)				
Aroeira-pimenteira (<i>Schinus terebinthifolia</i>)									
T	1	2	3	4	T	1	2	3	4
1	x	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	x	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
2	60,52	x	< 0,0001	< 0,0001	2	47,30	x	< 0,0001	< 0,0001
3	33,66	64,08	x	< 0,0001	3	16,45	7,78	x	< 0,0001
4	22,27	10,61	49,75	x	4	35,53	11,96	19,55	x
Araçá-do-campo (<i>Psidium guineense</i>)									
T	1	2	3	4	T	1	2	3	4
1	x	0,0002	< 0,0001	< 0,0001	1	x	0,1258	0,4248	< 0,0001
2	6,62	x	0,4515	< 0,0001	2	1,92	x	0,0010	< 0,0001
3	13,25	0,88	x	< 0,0001	3	0,93	5,53	x	< 0,0001
4	82,52	92,39	99,65	x	4	35,55	40,11	35,66	x

T = Tratamento; FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Valores em **negrito** indicam o p -valor e em *italico* indicam o F, ambos a 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria própria.

Nas espécies de ritmo lento de crescimento (*C. glandulosa* e *P. nitens*), todas as equações de produção de massa seca apresentaram diferenças ($p < 0,05$) entre os pares de tratamentos (Tabela 9). O comportamento das curvas de produção de MSPA e MSR das plantas encontram-se no Apêndice D (Figuras 9 a 16).

Tabela 9 - Matriz de p -valor e F do teste de identidade dos modelos de produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) pelas mudas das espécies estudadas em cada par de tratamentos para as espécies de ritmo lento de crescimento

Massa seca da parte aérea (MSPA)					Massa seca de raízes (MSR)				
Saguaraji (<i>Colubrina glandulosa</i>)									
T	1	2	3	4	T	1	2	3	4
1	x	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	x	0,0001	< 0,0001	< 0,0001
2	8,23	x	< 0,0001	< 0,0001	2	7,24	x	< 0,0001	0,0010
3	97,87	60,25	x	< 0,0001	3	123,52	79,19	x	< 0,0001
4	30,09	14,29	26,03	x	4	29,14	5,51	52,92	x
Amendoim-bravo (<i>Pterogyne nitens</i>)									
T	1	2	3	4	T	1	2	3	4
1	x	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	1	x	0,0288	0,0001	< 0,0001
2	88,52	x	< 0,0001	0,0002	2	3,04	x	0,0001	0,0001
3	14,16	49,45	x	< 0,0001	3	7,17	7,80	x	0,0077
4	93,82	6,62	45,59	x	4	9,76	7,42	4,02	x

T = Tratamento; FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Valores em **negrito** indicam o p -valor e em *italico* indicam o F, ambos a 5% de probabilidade.

Fonte: Autoria própria.

Ao considerar um total de 96 combinações de equações ajustadas (4 espécies x 4 atributos morfológicos x 6 pares de tratamentos combinados), é possível notar que em apenas 8 casos foi constatado que o teste de identidade dos modelos obteve $p > 0,05$, indicando que os modelos são iguais. Essa observação determina que em 91,7% dos casos os modelos são considerados diferentes.

Em relação à análise de correlação de Pearson entre os atributos morfológicos avaliados nas mudas (Tabela 10), pode-se notar que, em todos os grupos avaliados (todas as espécies, espécies de ritmo rápido crescimento e espécies de ritmo lento de crescimento), a correlação entre os atributos morfológicos H, DC e a produção de massa seca da parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) foi significativa ($p < 0,001$). Considerando-se o grupo composto por todas as espécies, nota-se que a H apresentou maior correlação com a MSPA, enquanto o DC correlacionou-se de forma mais notória com a MSR. Nas espécies de ritmo rápido de crescimento (*S. terebinthifolia* e *P. guineense*) a H teve maior coeficiente de correlação (r)

com a MSPA ($r = 0,58^{***}$) do que o obtido entre o DC e a MSPA ($r = 0,39^{***}$). Por outro lado, essa diferença foi menor quando os atributos H ($r = 0,36^{***}$) e DC ($r = 0,39^{***}$) se correlacionaram com a MSR.

Tabela 10 - Análise da correlação linear de Pearson entre as características morfológicas de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica aos 161 dias após o transplante em resposta a substratos e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA).

Todas as espécies			
	DC	MSPA	MSR
H	0,65***	0,84***	0,66***
DC	x	0,63***	0,72***
MSPA		x	0,81***
MSR			x
Ritmo rápido de crescimento			
	DC	MSPA	MSR
H	0,62***	0,58***	0,36***
DC	x	0,39***	0,39***
MSPA		x	0,67***
MSR			x
Ritmo lento de crescimento			
	DC	MSPA	MSR
H	0,86***	0,85***	0,81***
DC	x	0,92***	0,92***
MSPA		x	0,91***
MSR			x

ns = não significativo; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; H = Altura da parte aérea; DC = Diâmetro do coleto; MSPA = Massa seca da parte aérea; MSR = Massa seca de raízes; Todas as espécies = *S. terebinthifolia*, *P. guineense*, *C. glandulosa* e *P. nitens*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo lento de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*.

Fonte: Autoria própria.

A correlação observada entre os mesmos atributos nas espécies de ritmo lento de crescimento (*C. glandulosa* e *P. nitens*) tiveram maiores valores de r , os quais variaram entre 0,81 e 0,92. Nessas espécies, o DC mostrou elevada correlação com os atributos morfológicos H ($r = 0,86^{***}$), MSPA ($r = 0,92^{***}$) e MSR ($r = 0,92^{***}$), enquanto a H obteve r igual a 0,85 e 0,81 para, respectivamente, MSPA e MSR. Em relação à MSR, o atributo DC teve maior r do que o observado para a H em todas as ocasiões avaliadas, indicando que o DC é um bom preditor da produção de massa do sistema radicular de mudas.

4. DISCUSSÃO

Campos e Leite (2013) indicam que entre os três principais pontos do manejo de florestas equiâneas, um deles é a predição ou projeção do crescimento e da produção, a qual pode ser dada pela quantidade total de uma variável acumulada em um determinado tempo. Assim, esses autores apontam que, biologicamente, a produção expressa o tamanho de um organismo em função do tempo.

No caso do presente trabalho, essa abordagem também pode ser de grande valor para viveiristas, dado que, normalmente, a venda das mudas ocorre quando essas alcançam um tamanho predefinido como adequado para a expedição, o qual é variável de acordo com a espécie vegetal. Dado que os modelos de crescimento aqui avaliados são baseados na relação funcional $Y = f(\text{Idade})$, a obtenção dessa informação pode facilitar as atividades no viveiro florestal, em especial devido à criação de horizontes de planejamento, gerando perspectiva de tempo necessário entre o transplântio e a expedição das mudas.

Para isso, a escolha dos modelos que melhor que adequem aos dados é um passo importante. Observando-se as tabelas do Apêndice B, as quais trazem os coeficientes dos modelos ajustados para todos os atributos morfológicos estudados (H, DC, MSPA e MSR), é possível notar que, em alguns casos, as estatísticas dos ajustes dos modelos ($S_{y.x}$ e r_{yy}) tiveram valores muito similares. Essas pequenas variações nas estatísticas dos ajustes podem dificultar o pesquisador a escolher o modelo que melhor retrate o comportamento dos dados (Prado et al., 2013).

No presente trabalho, nota-se que os coeficientes de determinação dos modelos (R^2) não foram apresentados nos gráficos e tabelas, por mais que ele seja utilizado na avaliação do ajuste de modelos de regressão linear. O R^2 não é um preditor confiável da qualidade de ajuste de modelos não lineares, devido não possuir significado nesse caso. É comum situações em que o R^2 possua valores muito elevados, próximos de 1, mesmo com grande divergência entre os valores observados e preditos. Em casos em que se faz necessária a apresentação dessa estatística, sugere-se utilizá-la apenas para fins de estatística descritiva, ponderando-se sua interpretação (Campos e Leite, 2013; Regazzi e Silva, 2010; Regazzi, 2003).

Adicionalmente, a existência de uma grande pluralidade de avaliadores da qualidade dos modelos, os quais podem ser calculados de variadas formas, privilegiando diferentes características em detrimento de outras, torna a seleção dos modelos uma tarefa minuciosa. Assim, as características do material de estudo devem ser consideradas para a correta seleção dos modelos (Puiatti et al., 2013). Dessa forma, a avaliação dos coeficientes sobre o ponto de

vista biológico, buscando-se valores com magnitude mais realista, podem facilitar a escolha do modelo mais adequado.

Vale destacar que mais de 80% dos modelos ajustados que melhor se adequaram aos atributos morfológicos das mudas produzidas no presente estudo (Tabelas 2 a 5) são de comportamento sigmoidais (Gompertz e Logístico). Esse achado corrobora com o encontrado por Janos (2007), o qual inferiu que as equações sigmóides foram as que melhor explicaram as respostas das plantas a gradientes de P no solo e inoculação com FMA. Liu et al. (2014) constataram que a função logística foi muito eficiente para representar o crescimento de mudas de *Populus* sp. McGonigle (2001) também utilizou modelo sigmoide (modelo Logístico modificado) na modelagem do crescimento de raízes de ginseng americano (*Panax quinquefolius*) colonizadas por FMA. O autor notou que a equação logística gerou bom ajuste na maior parte dos dados de colonização ao longo do tempo, mas em algumas exceções, onde o comportamento não foi sigmoide, o modelo logístico não foi adequado.

Para a interpretação dos modelos biológicos utilizados no presente trabalho (Gompertz e Logístico), algumas considerações sobre esses modelos devem ser apontadas. Ambos possuem comportamento sigmoide e ponto de inflexão, no qual ocorre a mudança da concavidade da curva e a taxa de crescimento e, ou, produção de massa, a qual de crescente, torna-se decrescente. Esse ponto de inflexão ocorre em 37 e 50% da máxima taxa de crescimento, respectivamente, nos modelos de Gompertz e Logístico. Essa antecipação do ponto de inflexão no modelo Gompertz resulta em menores estimativas do parâmetro β_1 , o qual associa-se com a abscissa do ponto de inflexão (Fernandes et al., 2014).

Além disso, faz-se necessário compreender o que indica cada parâmetro (β_0 , β_1 e β_2) desses modelos. Essas explicações encontram-se em Silva et al. (2001) e, para fins didáticos, os exemplos aqui abordados serão relativos ao crescimento de mudas. O parâmetro β_0 é o valor assintótico, indicando a estimativa de uma variável qualquer quando o organismo alcançar a maturidade, como a altura máxima que a muda de uma certa espécie vegetal pode alcançar em uma condição específica (Ex: para um dado substrato e inoculação). Dessa forma, quanto maior o β_0 , maior será o atributo morfológico avaliado na fase de maturação da muda.

O parâmetro β_2 diz respeito à precocidade de maturidade, a qual pode ser considerada como a velocidade de crescimento e, ou, produção de uma dada variável. Assim, quanto maior o β_2 , mais rápido será o crescimento e, ou, acúmulo de massa da muda. Esse parâmetro pode ser de grande interesse ao viveirista, dado que a maior velocidade de crescimento das plantas no viveiro significa maior rotatividade de mudas, o que torna a expedição das mudas mais precoce, reduzindo os custos de produção (Abreu, 2018). Por fim,

o parâmetro β_1 não possui interpretação biológica, sendo empregado para ajustar o valor inicial, atuando de forma que a curva passe pela origem quando $y \neq 0$ e, ou, $t \neq 0$.

Segundo Paine et al. (2011), equações exponenciais, caso do modelo Power, não possuem significado biológico, dado que não possuem valor assintótico, considerando, de maneira pouco real, que o crescimento continua indefinidamente. No entanto, os autores apontam que esse tipo de modelo pode ser muito útil em algumas situações, como modelar o crescimento inicial de mudas de árvores longevas, assim como na transformação de dados em escala logarítmica, os quais podem possuir menor heterocedastidade e serem ajustados de forma não assintótica.

Em virtude das explicações feitas acima, observando os modelos de Gompertz e Logístico, considera-se que os melhores tratamentos (combinação de substrato e inoculação) sejam aqueles que promovam os maiores valores de β_0 e β_2 . Ao comparar espécies de diferentes ritmos de crescimento, nesse caso *P. guineense* e *P. nitens*, as quais são, respectivamente, de rápido e lento ritmo de crescimento, é possível notar diferenças consideráveis no valor de β_2 nas equações geradas para a H e DC, os quais foram maiores em *P. guineense*. No entanto, comportamento contrário foi notado para a MSPA, onde, em geral, mudas de *P. nitens* tiveram maiores valores de β_2 .

Nesse caso, vale destacar que as mudas de *P. guineense* tiveram maiores valores de β_0 para a MSPA, em comparação a *P. nitens*, indicando maior produção de MSPA quando as mudas alcançarem a maturação. Os menores valores de β_2 em *P. guineense* podem ser devido ao reduzido acúmulo de MSPA observado para a espécie até por volta dos 90 dias após o transplântio (Apêndice C – Figura 10), o qual, posteriormente, teve tendência de rápido incremento de MSPA.

Um modelo matemático pode ser considerado como a simplificação de um processo realístico, sendo os modelos de crescimento e produção uma ferramenta que pode representar a dinâmica natural das plantas. Essa compreensão possibilita analisar o comportamento desses organismos em diferentes situações, o que viabiliza a escolha da opção de manejo mais adequada dentre as possibilidades testadas (Maestri et al., 2013). Como exemplo, torna-se factível, por meio da análise do crescimento e produção de massa de mudas em função do uso de diferentes substratos inoculados ou não com FMA, escolher qual a melhor estratégia para se obter mudas de maior crescimento e qualidade em ocasiões futuras. Assim, é possível que esses modelos auxiliem na tomada de decisão e planejamento de atividades em viveiros florestais sobre qual a condição ideal de crescimento de uma planta em resposta aos fatores avaliados em uma pesquisa.

A modelagem do crescimento de plantas em ambientes protegidos é uma prática promissora para o gerenciamento das plantas, como época de colheita, maximização da produção e avaliação de sistemas alternativos. Esses modelos podem ser precisos em intervalos de tempo definidos, o que é o caso da produção de mudas (Gupta et al., 2012). Essas informações são de grande interesse prático para os produtores, os quais podem manejar a oferta de recursos de crescimento, como água e fertilizantes, de acordo com o período de maior necessidade do vegetal.

Normalmente, em condições de campo, as plantas atingem maior taxa de crescimento em épocas em que ocorre maior disponibilidade de água no solo, temperatura e luminosidade (Sette Jr. et al., 2010). Assim, o ritmo de crescimento e produção vegetal em campo são muito influenciados pelas condições climáticas, especialmente no tocante à precipitação pluviométrica, a qual também influencia na disponibilidade e absorção de nutrientes, em especial os que são absorvidos por fluxo difusivo (Novais et al., 2007). Por outro lado, em condições de viveiro, os fatores relacionados ao aporte de água e nutrientes podem ser facilmente gerenciados pelo viveirista, por meio do controle da irrigação e fertilização.

Visando obter maior eficiência de uso desses recursos, os mesmos podem ser disponibilizados de acordo com a necessidade das plantas e, ou, serem aplicados em maior quantidade e, ou, frequência em idades em que as plantas possuam maior aceleração do crescimento e produção de massa. A produção de massa seca em mudas é um atributo muito importante, devido possuir correlação direta com a qualidade das plantas. No entanto, em viveiros florestais, é pouco comum sua avaliação, em virtude da dificuldade de aquisição desses dados (Gomes e Paiva, 2012).

No estudo da regressão, torna-se interessante identificar situações em que um conjunto de equações ajustadas é semelhante, permitindo que maior conjunto de dados possa ser representado por uma mesma equação. Para isso, um mesmo modelo deve ser ajustado para todas as tratamentos submetidos a uma mesma espécie, no presente caso, para diferentes combinações de substrato e inoculação com FMA, permitindo que a técnica de identidade de modelos seja adotada (Puiatti et al., 2013). Essa informação explica o motivo da seleção do melhor modelo que, em linhas gerais, adequou-se para cada espécie, em um dado atributo morfológico (H, DC, MSPA e MSR) avaliado no presente estudo.

Os resultados demonstrados da identidade dos modelos indicam que, na maior parte dos casos, as plantas possuem ritmos de crescimento e produção de biomassa diferentes em função dos tratamentos. Dessa forma, a maior parte dos atributos avaliados não podem ser

descritos por uma mesma curva, sendo necessária a interpretação das equações de modo individual para a maioria das situações consideradas no presente trabalho.

No tocante à análise de correlação de Pearson entre os atributos morfológicos avaliados no presente estudo, pode-se notar que, de maneira geral, o DC obteve correlação com a produção de MSPA e MSR das mudas, especialmente nas mudas de ritmo lento de crescimento, onde os valores de r foram próximos de 1. Essa informação é de grande importância prática para viveiristas, dado que a obtenção de dados de produção de massa em mudas, na maior parte dos casos, é inviável, em função da necessidade de equipamentos com elevado custo e de difícil obtenção, como estufas de circulação de ar e balanças de precisão, além dessas análises serem destrutivas (Abreu, 2018).

A análise da produção de massa seca das mudas de maneira isolada e, ou, conjunta (razão MSPA/MSR) proporciona informações valiosas sobre a partição de carbono adquirido pelas plantas (Caldeira et al., 2000). Essa relação pode ser variável de acordo com o manejo adotado no viveiro florestal, como fertilidade do substrato (Fernandes et al., 2019), tamanho do recipiente de produção das mudas (Gomes et al., 2003) e condições de sombreamento (Fonseca et al., 2002). Assim, a aplicação de modelos para a prognose dessas variáveis de difícil obtenção, igualmente para os atributos de fácil mensuração, pode ser de interesse para os produtores.

Com a oportunidade de se realizar inferências sobre esses atributos de difícil obtenção por meio de variáveis de fácil medição e que utilizem equipamentos de simples manuseio e baixo custo, a exemplo de paquímetros, no caso do DC, esses produtores podem ter maior segurança ao expedir suas mudas (Abreu, 2018). Deve-se ainda salientar que o desempenho das mudas em campo, o qual pode ser avaliado pela taxa de sobrevivência e crescimento das plantas após o plantio, possui alta relação com a produção de massa das mudas (Gomes e Paiva, 2012). Assim, a aquisição de mudas com maior DC pode ser vantajosa para os compradores.

5. CONCLUSÕES

Os modelos Power e Logístico são mais adequados para a modelagem dos atributos morfológicos de *Schinus terebinthifolia* e o modelo Logístico é mais apropriado para *Psidium guineense*.

Os modelos de Gompertz e Logístico, respectivamente, para *Colubrina glandulosa* e *Pterogyne nitens*, são adequados para a modelagem do crescimento e produção de massa seca das mudas.

Indica-se utilizar equações ajustadas de maneira isolada para cada espécie, atributo morfológico e tratamento avaliados.

O diâmetro do coleto (DC) possui maior capacidade preditiva da produção de massa seca de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica.

REFERÊNCIAS

- ABREU, G.M. **Adubação fosfatada e microrganismos simbiotes na produção de mudas de mangaba e mama-cadela**. 2018. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciência florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- ARIAS, S. G.; PONS, R. R. P.; STOWASSER, E. S. V. Temporal analysis of charcoal root rot in forest nurseries under different pathogen inoculum densities and soil moisture content. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n. 3, p. 179-187, 2013.
- BUSSAB, W. O. **Análise de variância e de regressão**. São Paulo: Atual, 1986. 147p.
- CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; BARICHELLO, L. R.; VOGEL, H. L. M.; OLIVEIRA, L. S. Crescimento de mudas de *Eucalyptus saligna* Smith em função de diferentes doses de vermicomposto. **Floresta**, v. 28, n. 1/2, p. 19-30, 2000.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 4. ed. atualizada e ampliada. Viçosa: Editora UFV, 2013. 605 p.
- CAUSTON, D. R.; ELIAS, C. O.; HADLEY, P. Biometrical studies of plant growth: I. The Richards function, and its application in analysing the effects of temperature on leaf growth. **Plant, Cell & Environment**, v. 1, n. 3, p. 163-184, 1978.
- DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1981. 709p.
- FERNANDES, M. C. O. C.; FREITAS, E. C. S.; PAIVA, H. N.; OLIVEIRA NETO, S. N. Crescimento e qualidade de mudas de *Citharexylum myrianthum* em resposta à fertilização nitrogenada. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 1, p. 507-513, 2019.
- FERNANDES, T. J.; PEREIRA, A. A.; MUNIZ, J. A.; SAVIAN, T. V. Seleção de modelos não lineares para a descrição das curvas de crescimento do fruto do cafeeiro. **Coffee Science**, v. 9, n. 2, p. 207-215, 2014.
- FLORIANO, E. P.; MÜLLER, I.; FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Ajuste e seleção de modelos tradicionais para série temporal de dados de altura de árvores. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 2, p. 177-199, 2006.
- FONSECA, E. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002.
- GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização NPK. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 113-127, 2003.

- GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais**: propagação sexuada. Viçosa: Editora UFV, 2012. 116p.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria básica**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011. 924p.
- GUPTA, M. K.; CHANDRA, P.; SAMUEL, D. V. K.; SINGH, B.; SINGH, A.; GARG, M. K. Modeling of tomato seedling growth in greenhouse. **Agricultural Research**, v. 1, p. 362-369, 2012.
- HYAMS, D.G. **CurveExpert basic**. Release 1.4. 2010. Disponível em: <https://curveexpert.software.informer.com/1.4/> . Acesso em: 05 mar. 2022.
- JANOS, D. P. Plant responsiveness to mycorrhizas differs from dependence upon mycorrhizas. **Mycorrhiza**, v. 17, p. 75-91, 2007.
- LIU, M.; BIAN, X.; MA, W.; SHAO, L.; YAO, L.; MENG, B.; LIU, G.; ZHAO, X. Logistic model building of seedling growth traits in transgene *Populus simonii* × *P. nigra* clones carrying TaLEA gene. **Bulletin of Botanical Research**, v. 34, n. 4, p. 485-491, 2014.
- LÚCIO, A. D. C.; SARI, B. G.; RODRIGUES, M.; BEVILAQUA, L. M.; VOSS, H. M. G.; COPETTI, D.; FAÉ, M. Modelos não-lineares para a estimativa da produção de tomate do tipo cereja. **Ciência Rural**, v. 46, n. 2, p. 233-241, 2016.
- MAESTRI, R.; SANQUETTA, C. R.; SCOLFORO, J. R.; MACHADO, S. A.; CORTE, A. P. D. Modelagem do crescimento florestal considerando variáveis do ambiente: revisão. **Scientia Agraria**, v. 14, n. 3, p. 103-110, 2013.
- MCGONIGLE, T. P. On the use of non-linear regression with the logistic equation for changes with time of percentage root length colonized by arbuscular mycorrhizal fungi. **Mycorrhiza**, v. 10, p. 249-254, 2001.
- MYUNG, I. J.; PITT, M. A.; KIM, W. Model evaluation, testing and selection. In: LAMBERTS, K.; GOLDSTONE, R. (eds.). **Handbook of cognition**. Thousand Oaks: Sage, p. 422-436, 2005.
- NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.
- PAINE, C. E. T.; MARTHEWS, T. R.; VOGT, D. R.; PURVES, D.; REES, M.; HECTOR, A.; TURNBULL, L. A. How to fit nonlinear plant growth models and calculate growth rates: an update for ecologists. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 3, n. 2, p. 245-256, 2011.
- PRADO, T. K. L.; SAVIAN, T. V.; MUNIZ, J. A. Ajuste dos modelos Gompertz e Logístico aos dados de crescimento de frutos de coqueiro anão verde. **Ciência Rural**, v. 43, n. 5, p. 803-809, 2013.
- PUIATTI, G. A.; CECON, P. R.; NASCIMENTO, M.; PUIATTI, M.; FINGER, F. L.; SILVA, A. R.; NASCIMENTO, A. C. C. Análise de agrupamento em seleção de modelos de regressão não lineares para descrever o acúmulo de matéria seca em plantas de alho. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 31, n. 3, p. 337-351, 2013.

REES, A. R.; CHAPAS, L. C. An Analysis of Growth of Oil Palms under Nursery Conditions: I. Establishment and Growth in the Wet Season. **Annals of Botany**, v. 27, n. 4, p. 607-614, 1963.

REGAZZI, A. J. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. **Revista Ceres**, v. 50, n. 287, p. 9-26, 2003.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Teste para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear. I. dados no delineamento inteiramente casualizado. **Revista de Matemática e Estatística**, v. 22, n. 3, p. 33-45, 2004.

REGAZZI, A. J.; SILVA, C. H. O. Testes para verificar a igualdade de parâmetros e a identidade de modelos de regressão não-linear em dados de experimento com delineamento em blocos casualizados. **Revista Ceres**, v. 57, n. 3, p. 315-320, 2010.

REGAZZI, A.J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. **Revista Ceres**, v. 40, n. 228, p. 176-195, 1993.

RELIHAN, M. D.; LAING, M. D. Incidence of Natural Ectomycorrhizal Infection of Pine and Eucalypt Seedlings in Three KwaZulu-Natal Nurseries. **South African Forestry Journal**, v. 177, n. 1, p. 31-38, 1996.

SANTOS, A. C. A.; FARDIN, L. P.; OLIVEIRA NETO, R. R. **Teste de hipótese em análise de regressão**. 1. ed. Novas Edições Acadêmicas, 2017. 65 p.

SARI, B. G.; LÚCIO, A. D. C.; SANTANA, C. S.; SAVIAN, T. V. Describing tomato plant production using growth models. **Scientia Horticulturae**, v. 246, p. 146-154, 2019.

SETTE JR, C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C. T. S.; LACLAU, J. P. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. ex. Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. **Revista Árvore**, v. 34, n. 6, p. 979-990, 2010.

SILVA, F. F.; AQUINO, L. H.; OLIVEIRA, A. I. G. Influência de fatores genéticos e ambientais sobre as estimativas dos parâmetros das funções de crescimento em gado Nelore. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 25, n. 5, p. 1195-1205, 2001.

THE JAMOVİ PROJECT. **Jamovi: Computer Software**. Version 2.2. Sydney, Australia. 2021.

ZALDÚA, S.; SANFENTES, E. Control of *Botrytis cinerea* in *Eucalyptus globulus* mini-cuttings using *Clonostachys* and *Trichoderma* strains. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 70, n. 4, p. 576-582, 2010.

CAPÍTULO 3 – TAMANHO DE PARCELA PARA A AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO DE MUDAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA

RESUMO

Uma dúvida frequente ao planejar experimentos científicos é definir qual o tamanho da parcela experimental para se obter a precisão desejada na pesquisa. Para muitas espécies agrícolas, esse questionamento já foi respondido. No entanto, para mudas de espécies arbóreas, em especial para espécies nativas do bioma Mata Atlântica, pouco se observa na literatura. Diante o exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a precisão experimental em função do número de plantas que formou a parcela (n) e definir o tamanho ótimo de parcela para os atributos altura da parte aérea (H) e diâmetro de coleto (DC) de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica. Os atributos morfológicos foram avaliados em mudas de *Schinus terebinthifolia*, *Psidium guineense*, *Colubrina glandulosa* e *Pterogyne nitens* na época de expedição das mudas (161 dias após o transplante). As espécies foram agregadas, de modo a formar três grupos, os quais foram todas as espécies (*S. terebinthifolia*, *P. guineense*, *C. glandulosa* e *P. nitens*), espécies de ritmo rápido de crescimento (*S. terebinthifolia* e *P. guineense*) e espécies de ritmo lento de crescimento (*C. glandulosa* e *P. nitens*). Para a definição do n , a parcela foi formada por 50 plantas ($n = 50$), nas quais foram medidos os atributos morfológicos estudados. Em seguida, foram realizadas seleções das plantas por sorteios, visando simular o comportamento das estatísticas do experimento caso $n < 50$ plantas. Assim, a comparação foi feita com n variando entre 49 e 3 plantas. Após a seleção aleatória das plantas, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). Esse procedimento foi repetido por 30 vezes para cada n avaliado. Após a obtenção das estatísticas da ANOVA, o tamanho ideal da parcela foi definido pelo número mínimo de plantas que permitisse obter a mesma conclusão, de maneira consistente, obtida quando $n = 50$ plantas. Para o atributo morfológico H, foi possível detectar diferença entre ao menos um par de tratamentos avaliados (contraste) em 130 casos, o que perfaz 90,3% dos casos avaliados, enquanto para o DC, foi detectada diferença significativa em 108 resultados da ANOVA, perfazendo 75% dos casos avaliados. A redução do n diminuiu o valor do F da anova e aumentou a diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, coeficiente de variação (CV) e o p -valor da ANOVA para as variáveis H e DC, resultando em menor detecção de diferenças entre os tratamentos. O aumento do número de plantas na parcela experimental eleva a precisão experimental. O tamanho ótimo de parcela (n) para os atributos

morfológicos altura da parte aérea (H) e diâmetro do coleto (DC) variam de acordo com o agrupamento das espécies em função do ritmo de crescimento.

Palavras-chave: Amostragem. Precisão experimental. Coeficiente de variação. Altura da parte aérea. Diâmetro do coleto.

1. INTRODUÇÃO

Em virtude da grande demanda por mudas de espécies nativas da Mata Atlântica para atividades de florestamento e reflorestamento nesse bioma, a realização de experimentos sobre o efeito de algumas práticas de manejo de viveiros florestais pode auxiliar na produção de mudas. Entre esses testes, pode-se citar os voltados para práticas como fertilização, irrigação, formulação de substratos, inoculação com microrganismos benéficos, entre outros fatores. Assim, a obtenção de resultados confiáveis dessas inferências é de grande valor para pesquisadores e usuários dessas informações.

Uma dúvida comum de pesquisadores de diversas áreas do conhecimento durante o planejamento de trabalhos científicos é relativa ao tamanho da parcela experimental. Essa definição interfere de maneira substancial em aspectos importantes do planejamento dessas pesquisas, como orçamento, cronograma e exequibilidade do projeto (Agranonik e Hirakata, 2011). Normalmente, o aumento da intensidade amostral possui relação direta com a precisão experimental e inversa com o erro experimental. Isso significa que, quanto maior o tamanho da parcela, maior será a precisão e menor o erro experimental (Mead e Curnow, 1986).

No entanto, em ocasiões em que as observações adicionais não proporcionem incrementos significativos de informações, como aumento da precisão e redução do erro experimental, os custos de obtenção de dados adicionais podem não justificar a coleta (Eckermann et al., 2010). Assim, o ideal é que o tamanho da amostra não seja muito grande, o que pode dificultar a obtenção dos dados e gerar riscos relacionados a custos de coleta, mas que também não seja reduzido ao ponto de limitar as conclusões do trabalho, em virtude da baixa precisão experimental (Agranonik e Hirakata, 2011).

Em experimentação científica, dá-se o nome de parcela experimental à unidade básica de um experimento que recebe o(s) fator(es) testado(s), a qual deve reduzir a heterogeneidade, seja ela ambiental e, ou, genética, do material experimental (Freitas et al., 2001). O pesquisador almeja que a variabilidade existente entre parcelas em um experimento seja resultado dos efeitos dos fatores testados, os quais podem ser definidos como tratamentos, reduzindo o erro experimental causado por fatores não testados e, ou, não controlados (Lúcio et al., 2008). Assim, alguns princípios da experimentação podem ser seguidos na tentativa de reduzir o erro, a exemplo de definir convenientemente o delineamento experimental, tamanho da parcela, número de repetições, entre outros (Storck et al., 2006).

A avaliação do tamanho ideal de parcela para diversas espécies agrícolas é largamente encontrada na literatura. No entanto, em se tratando de mudas de espécies

arbóreas, poucos trabalhos são observados, podendo-se citar os realizados em mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Cargnelutti Filho, 2018), *Carya illinoensis* (Cargnelutti Filho, 2014), *Cabralea canjerana* (Cargnelutti Filho, 2012), *Pinus taeda* (Silveira et al., 2009) e *Eucalyptus saligna* (Zanon et al., 1997).

A definição do número mínimo de plantas necessárias para se realizar uma inferência a um dado nível de erro é de essencial importância para pesquisadores. Dessa forma, informações valiosas poderão ser obtidas ao menor custo possível, devido a possibilidade de se definir com segurança diferenças entre fatores avaliados em trabalhos científicos, sem o risco de desperdiçar tempo e recursos financeiros. No entanto, é importante destacar que diferentes atributos avaliados podem possuir variabilidade diferente, sendo o tamanho de amostra, assumindo-se um mesmo erro aceitável, maior para a característica mais variável (Ferreira, 2009).

Dessa forma, a variável para a qual se pretende conhecer o tamanho ótimo das parcelas é medida de forma individual, em cada unidade experimental e, após a junção das demais unidades contíguas, ocorre a simulação de tamanhos de parcela. Em seguida, após a avaliação das estatísticas, ocorre a definição do tamanho ótimo (Cocco et al., 2009). Diante o exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a precisão experimental em função do número de plantas que formou a parcela experimental e definir o tamanho ótimo de parcela para os atributos altura da parte aérea (H) e diâmetro de coleto (DC) de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica.

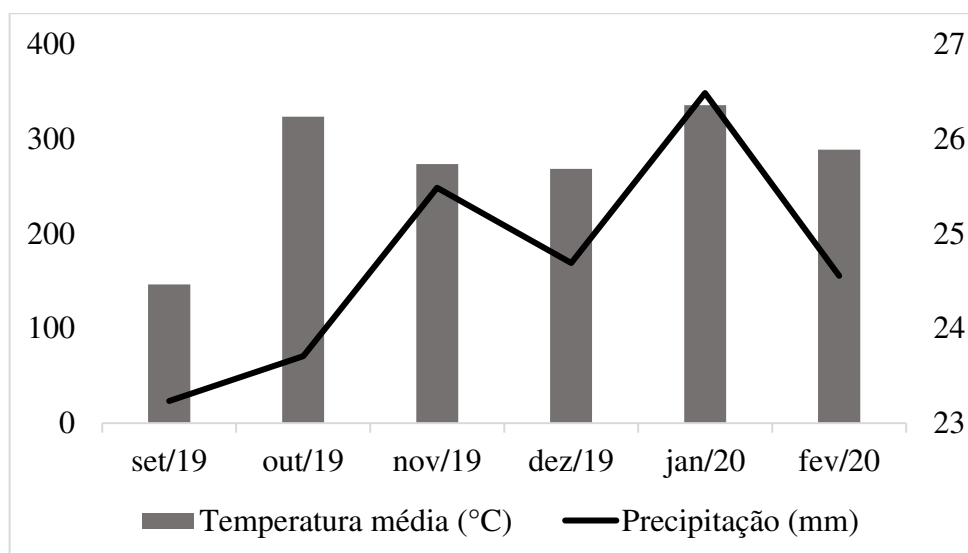
2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo, desenho experimental e seleção das espécies avaliadas

O experimento foi realizado entre setembro de 2019 a fevereiro de 2020 (161 dias), em um viveiro comercial de produção de mudas de espécies nativas, localizado no município de Belo Oriente (MG). A região fica localizado entre as coordenadas geográficas 19° 10' S e longitude de 42° 20' W, com altitude média de 300 m, variando de 220 a 425 m. O clima é caracterizado como Aw pela classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1.208 mm, variando de 700 a 1.500 mm anuais, e umidade relativa média de 65,2%. A temperatura média anual é de 25,2 °C, com média mensal variando de 22 °C a 27 °C, média das mínimas de 18 °C e média das máximas de 32 °C (Pereira Filho et al., 2020; Silva et al., 2011).

Os dados de precipitação pluviométrica mensal e a temperatura média na região de Belo Oriente durante o período de condução do experimento (Figura 1) foram obtidos em estação automática pertencente à empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A.

Figura 1 – Temperatura média e precipitação pluviométrica mensal na região de Belo Oriente entre setembro de 2019 e fevereiro de 2020



Fonte: Autoria própria.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com quatro tratamentos, organizados em arranjo fatorial 2 x 2, sendo os fatores o substrato de cultivo das mudas (substrato Ouro Verde e substrato Antuérpia) e a inoculação micorrízica (inoculado e não inoculado), com quatro repetições, totalizando 16 unidades experimentais por espécie avaliada. Inicialmente, a parcela experimental foi composta por 50 plantas, sendo esse número reduzido para encontrar o tamanho mínimo da parcela.

Foram selecionadas onze espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica para a produção das mudas. Após a separação das espécies de acordo com o ritmo de crescimento (rápido e lento ritmo de crescimento), foram selecionadas quatro dessas, sendo duas de cada ritmo de crescimento, para a avaliação do tamanho ideal da parcela experimental. As espécies selecionadas de ritmo rápido de crescimento foram aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia*) e araçá-do-campo (*Psidium guineense*), enquanto as espécies selecionadas de ritmo lento de crescimento foram saguaraji (*Colubrina glandulosa*) e amendoim-bravo (*Pterogyne nitens*).

2.2. Avaliação dos atributos morfológicos, análises estatísticas e definição do tamanho ideal de parcela

O crescimento das plantas em altura da parte aérea (H) e diâmetro do coleto (DC) foi avaliado ao final do período de produção das mudas, quando essas já apresentavam porte adequado para a expedição. A mensuração dos atributos morfológicos H e DC ocorreu aos 161 dias após o transplântio (DAT). A H das mudas foi medida do nível acima do substrato até a gema apical, utilizando-se régua, enquanto o DC foi mensurado por meio de paquímetro digital. As espécies foram agregadas, de modo a formar três grupos, os quais foram todas as espécies (*S. terebinthifolia*, *P. guineense*, *C. glandulosa* e *P. nitens*), espécies de ritmo rápido de crescimento (*S. terebinthifolia* e *P. guineense*) e espécies de ritmo lento de crescimento (*C. glandulosa* e *P. nitens*).

Para a definição do número de plantas que compõem a parcela experimental (n), a parcela experimental foi formada por 50 plantas ($n = 50$), nas quais foram medidos os atributos morfológicos H e DC. Em seguida, foram realizadas seleções das plantas por sorteios pelo software estatístico R (R CORE TEAM, 2021), visando simular o comportamento das estatísticas do experimento caso o valor de n fosse menor do que 50 plantas, se situando entre 49 e 3 ($n = 49, 48, 47 \dots 3$).

Após a seleção aleatória das plantas, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando verificado efeito dos tratamentos sobre os atributos morfológicos das plantas ($p < 0,05$), as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Para cada valor de n , a seleção das plantas e a ANOVA foi repetida por 30 vezes. As análises estatísticas foram realizadas para o agrupamento das espécies, onde foram avaliados o n em condições de experimento envolvendo todas as espécies avaliadas, espécies de ritmo rápido de crescimento e espécies de ritmo lento de crescimento.

Foram determinados os efeitos em conjunto de substrato e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA), não se avaliando a interação existente entre os fatores. Dessa forma, avaliou-se as combinações Substrato x Inoculação como um fator único, resultando nos tratamentos T1 (substrato Antuérpia não inoculado com FMA), T2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA), T3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA) e T4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

Considerando-se um modelo estatístico de experimento em delineamento inteiramente casualizado, utilizou-se o seguinte:

$$Y_{ij} = m + T_i + e_{ij}, \text{ onde:}$$

Y_{ij} = valor observado do atributo morfológico no tratamento i ($i = 1, 2, 3, 4$) na repetição j ($j = 1, 2, 3, 4$);

m = média geral do atributo morfológico, considerando todas as observações;

T_i = efeito do tratamento i na observação Y_{ij} ;

e_{ij} = erro associado à observação Y_{ij} , ou seja, efeito dos fatores não controlados sobre a observação Y_{ij} . $e_{ij} \sim NID(\theta, \sigma^2)$.

Para os atributos morfológicos H e DC das mudas, foram avaliadas as seguintes hipóteses:

$$H_0 = T_1 = T_2 = T_3 = T_4; H_a = \text{não } H_0$$

Após as 30 repetições da ANOVA para cada n , os valores médios da diferença mínima significativa entre as médias dos tratamentos (DMS), coeficiente de variação (CV), valor do F e p -valor da ANOVA foram calculados. As análises foram realizadas com o auxílio do software estatístico R (R CORE TEAM, 2021). Após a obtenção dos dados da análise de variância, os mesmos foram analisados para se definir o tamanho ideal da parcela experimental, o qual foi definido pelo número mínimo de plantas que permitisse obter de maneira consistente a mesma conclusão obtida quando $n = 50$ plantas. Foi realizada a análise de regressão para o p -valor da ANOVA, testando-se três modelos, sendo eles o exponencial (eq. 1), Modified power (eq. 2) e power (eq. 3).

$$Y = \beta_0 e^{\beta_2 n} \quad \text{eq. 1}$$

$$Y = \beta_0 \beta_1^n \quad \text{eq. 2}$$

$$Y = \beta_0 n^{\beta_2} \quad \text{eq. 3}$$

Em que: Y = Variável dependente (p -valor); β_i = Parâmetros estimados; n = número de plantas que compõem a parcela; ε = Erro aleatório, $\varepsilon \sim NID(\theta, \sigma^2)$.

Para a seleção do modelo que melhor se ajustou aos dados, foram avaliadas as estatísticas usuais para a seleção, sendo elas o erro-padrão residual ($S_{y.x}$) do p -valor (eq. 4) e o coeficiente de correlação entre o valor estimado e observado ($r\hat{y}y$) do p -valor (eq. 5).

$$S_{y.x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{(n - p)}} \quad \text{eq. 4}$$

$$r_{\hat{y}y} = \frac{n^{-1}(\sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \hat{Y}_m)(Y_i - \bar{Y}))}{\sqrt{(n^{-1} \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \hat{Y}_m)^2)(n^{-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2)}} \quad \text{eq. 5}$$

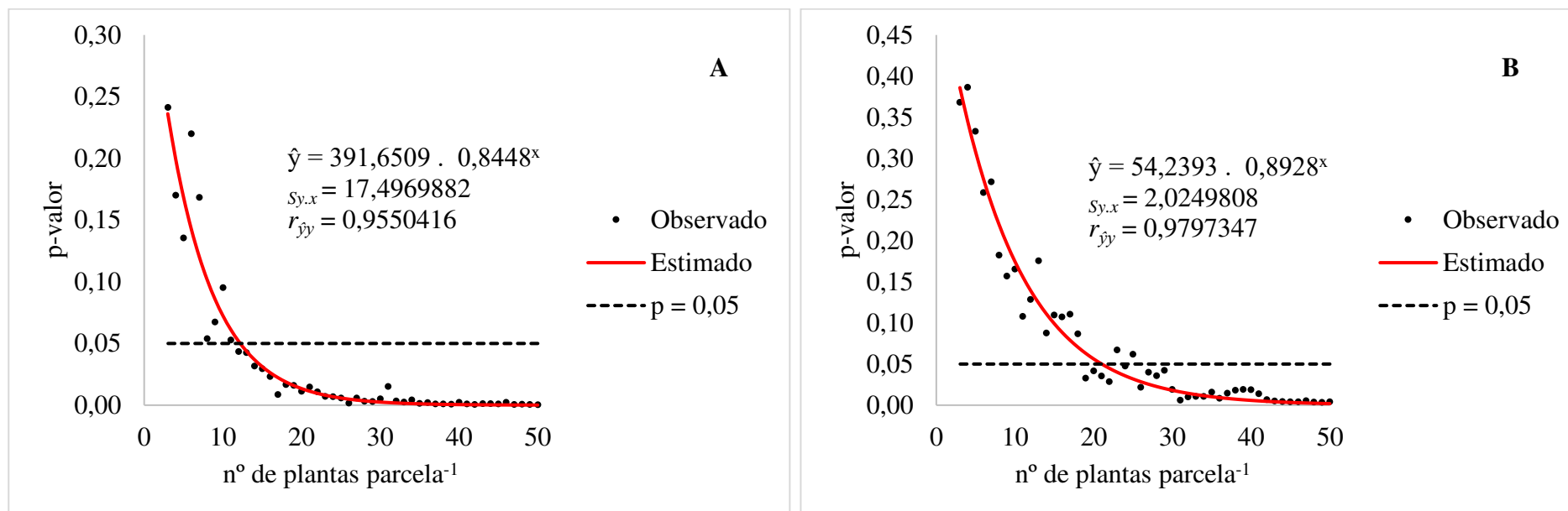
$\hat{Y}_i$ = variável estimada pelo modelo; Y_i = variável observada; $\hat{Y}_m$ = médias das estimativas de Y_i ; $\bar{Y}$ = média da variável observada; n = número total de observações; p = número de coeficientes do modelo.

3. RESULTADOS

Em todos os casos avaliados, o modelo Modified power foi o que melhor se ajustou aos dados de H e DC das mudas, obtendo coeficiente de correlação entre o valor estimado e observado ($r_{\hat{y}y}$) do p -valor superior a 0,95 em todos os casos. Os resultados do p -valor do teste F da análise de variância (ANOVA) do atributo morfológico altura da parte aérea (H) de todas as espécies avaliadas (*Schinus terebinthifolia*, *Psidium guineense*, *Colubrina glandulosa* e *Pterogyne nitens*) em resposta ao número de plantas que compõem a parcela experimental (n) estão presentes na Figura 2A. Para esse atributo, nota-se que para todas as espécies estudadas foi possível detectar diferença entre ao menos um par de tratamentos avaliados (contraste) quando $n > 12$ plantas.

O efeito dos tratamentos (combinação de substratos e inoculação com FMA) foi significativo ($p < 0,01$) para a H de mudas quando $n > 22$ plantas. É possível notar que o número de plantas da parcela experimental, o qual variou de 50 a 3 plantas, resultou em alteração do resultado do contraste entre os tratamentos avaliados para a H das espécies, assim como a precisão experimental, medidos pelo coeficiente de variação (CV) e a diferença mínima significativa (DMS). Assim, a alteração da conclusão do crescimento em H ocorreu quando $n < 39$ plantas, o que indica $n = 39$ o mais apropriado (Apêndice E – Tabela 1).

Figura 2 – p -valor do teste F da análise de variância em função do número de plantas por parcela experimental para os atributos morfológicos altura da parte aérea (A) e diâmetro de coleto (B) de todas as espécies avaliadas (*S. terebinthifolia*, *P. guineense*, *C. glandulosa* e *P. nitens*)



$\hat{y}$ = p -valor; x = número de plantas por parcela experimental; $S_{y.x}$ = erro-padrão residual (%); $r_{\hat{y}y}$ = coeficiente de correlação entre valor observado e estimado.

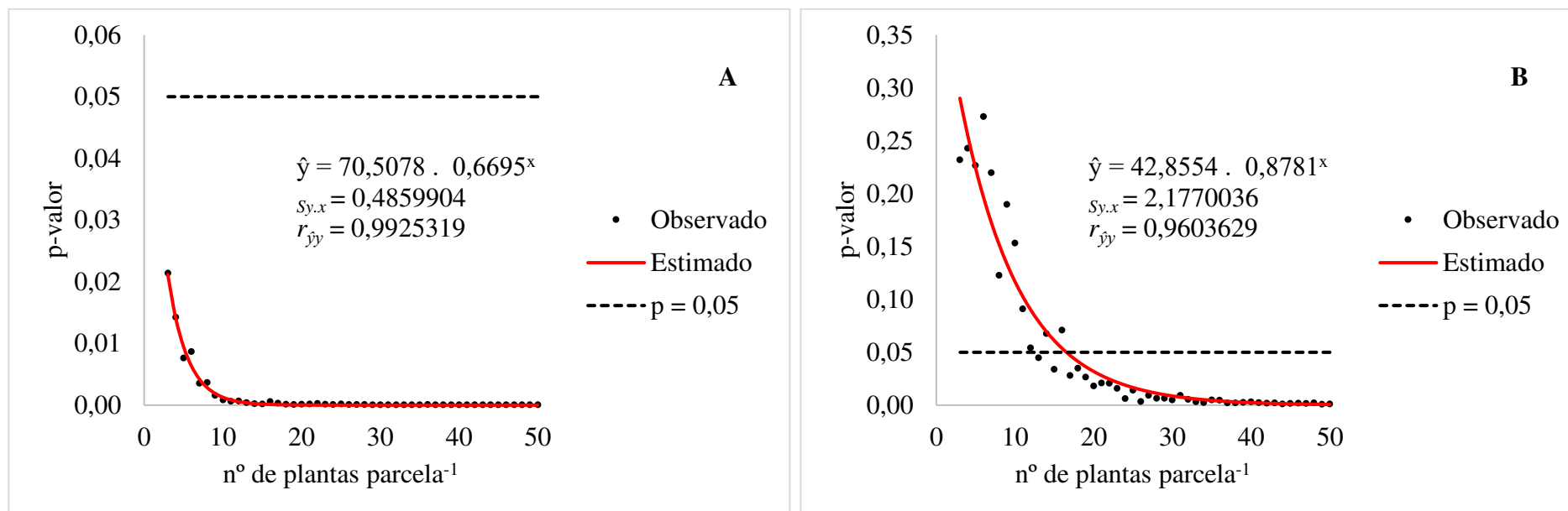
Fonte: Autoria própria.

Os resultados do p -valor do teste F da análise de variância (ANOVA) do atributo morfológico diâmetro do coleto (DC) de todas as espécies avaliadas em resposta ao número de plantas que compõem a parcela experimental (n) estão presentes na Figura 2B. Para esse atributo morfológico, o valor de p foi maior que 0,05 quando $n < 18$ plantas. Nota-se que para esse grupo de espécies, os dados do p -valor do DC tiveram maior dispersão do que os observados para a H, especialmente quando $n < 30$ plantas. A diferença na conclusão do teste de Tukey para o DC das mudas foi verificada quando $n = 42$ plantas. Quando $n = 43$ plantas, o tratamento T1 foi superior ao T4, sendo significativo o contraste entre esses, ao passo que quando $n = 42$ plantas, a diferença não foi significativa (Apêndice E – Tabela 2).

Para as espécies de ritmo rápido de crescimento (*S. terebinthifolia* e *P. guineense*), o resultado dos contrastes para a variável H foi alterado quando $n = 28$ plantas. Quando $n = 29$ plantas e DMS = 6,23 cm, o resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade considerou que o tratamento T2 (substrato Ouro Verde não inoculado) foi superior ao T4 (substrato Ouro Verde inoculado). No entanto, com a redução do valor de n ($n = 28$) e aumento da DMS (DMS = 6,89 cm), o teste não detectou diferença entre os tratamentos citados (Apêndice E – Tabela 3). Dessa forma, a redução do valor de n poderia levar o pesquisador a indicar, erroneamente, que a inoculação do substrato com FMA não interfere na altura da parte aérea das mudas. Assim, a redução do n gerou tendência de aumento da diferença mínima significativa (DMS) entre os tratamentos, tornando o teste mais propício a não detectar essas diferenças. Por meio da análise da Figura 3A é possível notar que, independentemente do valor de n , o teste de Tukey, a 5% de significância, detectou diferença entre médias em ao menos um contraste.

Por outro lado, para o atributo morfológico DC de mudas de ritmo rápido de crescimento, as diferenças entre os tratamentos deixaram de ser detectadas pelo teste de Tukey quando $n < 11$ plantas (Figura 3B e Apêndice E – Tabela 4). Nesse grupo de espécies, considerou-se que o n que proporcionou resultado semelhante ao $n = 50$ foi $n = 37$ plantas. Por mais que foi notada alteração do resultado quando $n = 40$ plantas, essa diferença não foi consistente, ocorrendo apenas uma vez (Apêndice E – Tabela 4).

Figura 3 – p -valor do teste F da análise de variância em função do número de plantas por parcela experimental para os atributos morfológicos altura da parte aérea (A) e diâmetro de coleto (B) das espécies de ritmo rápido de crescimento (*S. terebinthifolia* e *P. guineense*)



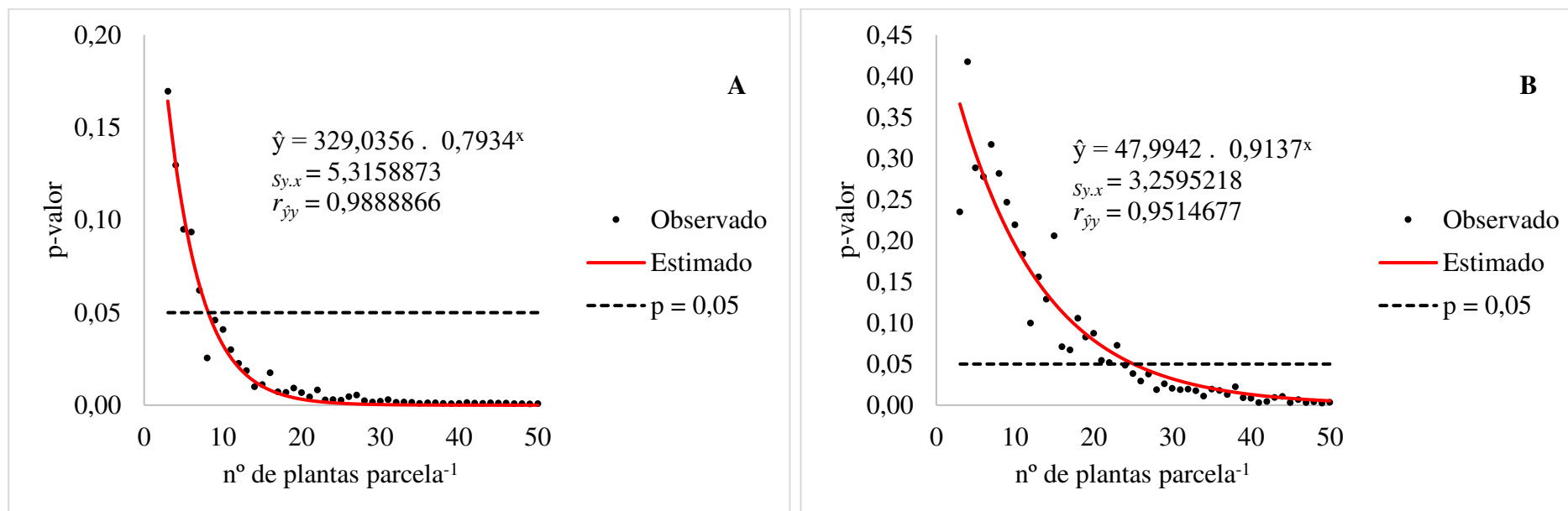
$\hat{y}$ = p -valor; x = número de plantas por parcela experimental; $S_{y..x}$ = erro-padrão residual (%); $r_{\hat{y}y}$ = coeficiente de correlação entre valor observado e estimado.

Fonte: Autoria própria.

Na avaliação das espécies de ritmo lento de crescimento, foi possível notar que o n que proporcionou resultado igual ao $n = 50$ plantas para a H das mudas foi menor do que o constatado nas espécies de ritmo rápido de crescimento, sendo o valor mais indicado para esse atributo morfológico nas espécies de ritmo lento de crescimento de $n = 20$. De maneira similar ao observado para o DC de mudas de ritmo rápido de crescimento, a H de mudas de ritmo lento de crescimento sofreu alteração na conclusão quando $n = 27$ e $n = 22$ plantas, no entanto, esses resultados também não foram consistentes. Quando n igual a 22 e 27 plantas, o teste de Tukey não detectou diferença entre o contraste dos tratamentos T1 e T2. Contudo, quando $n < 20$ plantas, essa ocorrência foi mais frequente, sugerindo utilizar $n = 20$ para evitar a tomada de decisão errônea (Apêndice E – Tabela 5).

A tendência de aumento do p -valor da ANOVA em função da redução do n foi mais evidente no DC (Figura 4B) do que na H (Figura 4A) das mudas de ritmo lento de crescimento. Esse comportamento também foi notado nos demais grupos avaliados (todas as espécies e espécies de ritmo rápido de crescimento). Em relação ao DC de mudas de ritmo lento de crescimento, quando $n = 50$ plantas, foram constatadas diferenças significativas apenas entre os contrastes T2_T3 e T3_T4. No entanto, de forma não consistente, quando $n = 49$ e 47 plantas, o teste de Tukey observou diferença no contraste T1_T2. O resultado igual ao observado quando $n = 50$ plantas, de maneira consistente, ocorreram até quando $n = 28$ plantas. A partir do momento em que $n < 28$ plantas, não se constatou diferença significativa entre o contraste T3_T3 e, quando $n < 16$ plantas, não foram constatadas diferenças entre nenhum dos tratamentos ($p > 0,05$) (Apêndice E – Tabela 5).

Figura 4 – p -valor do teste F da análise de variância em função do número de plantas por parcela experimental para os atributos morfológicos altura da parte aérea (A) e diâmetro de coleto (B) das espécies de ritmo lento de crescimento (*C. glandulosa* e *P. nitens*)



$\hat{y}$ = p -valor; x = número de plantas por parcela experimental; $S_{y..x}$ = erro-padrão residual (%); $r_{\hat{y}y}$ = coeficiente de correlação entre valor observado e estimado.

Fonte: Autoria própria.

Outro fato observado no presente estudo foi a tendência de redução do coeficiente de variação (CV) e aumento do valor do F da ANOVA em razão do aumento do n utilizado. Para o atributo H, esse comportamento foi observado para todas as espécies em conjunto ($n = 50$, $CV\% = 6,85$, $F = 20,31$; $n = 3$, $CV\% = 26,15$, $F = 2,60$), espécies de ritmo rápido de crescimento ($n = 50$, $CV\% = 6,28$, $F = 26,12$; $n = 3$, $CV\% = 12,66$, $F = 8,91$) e espécies de ritmo lento de crescimento ($n = 50$, $CV\% = 5,35$, $F = 15,40$; $n = 3$, $CV\% = 14,66$, $F = 3,85$).

De modo similar ao encontrado nas estatísticas da H das plantas, houve tendência de redução do CV e aumento do valor do F da ANOVA do atributo DC em razão do uso de n mais elevado. Isso foi observado para todas as espécies em conjunto ($n = 50$, $CV\% = 3,69$, $F = 12,60$; $n = 3$, $CV\% = 16,18$, $F = 2,05$), espécies de ritmo rápido de crescimento ($n = 50$, $CV\% = 3,35$, $F = 13,23$; $n = 3$, $CV\% = 10,72$, $F = 3,87$) e espécies de ritmo lento de crescimento ($n = 50$, $CV\% = 3,87$, $F = 12,14$; $n = 3$, $CV\% = 16,54$, $F = 2,37$).

4. DISCUSSÃO

O uso dos modelos de potência para definir o n de acordo com o p -valor desejado também foram satisfatoriamente utilizados por Bittencourt et al. (2022) na definição do tamanho de parcela de mudas de couve-flor (*Brassica oleracea*). Os autores notaram comportamento das curvas geradas de 95% do intervalo de confiança para os atributos morfológicos de *B. oleracea* similares às expostas no presente trabalho (Figuras 2 a 4). No entanto, esses autores definiram o tamanho amostral representativo por meio do ponto de máxima curvatura obtido pelos métodos por eles utilizados (método geral, distâncias perpendiculares, resposta platô linear e método spline).

Ao avaliar os dados apresentados no Apêndice E (Tabelas 1 a 6), pode-se notar que, para o atributo morfológico altura da parte aérea (H), foi possível detectar diferença entre ao menos um par de tratamentos avaliados (contraste) em 130 dos 144 casos avaliados, o que perfaz 90,3% dos casos avaliados. Para a variável diâmetro do coleto (DC), detectou-se diferença significativa em 108 dos 144 casos, o que perfaz 75% dos casos avaliados. Cargnelutti Filho e Storck (2007) apontam que em situações em que as diferenças entre os tratamentos, por algum critério, não sejam suficientes para a discriminação das médias, essas observações podem ser desconsideradas.

No entanto, os autores salientam que esse descarte das avaliações deve ser feito com moderação, dado que essa ausência de diferenças pode ocorrer devido a dois motivos, sendo eles a real similaridade entre os tratamentos e, ou, ao elevado erro experimental. Quando se rejeita a hipótese da nulidade (H_0), assume-se que há diferença entre, ao menos, um contraste

de médias, utilizando-se um erro do tipo I de 5%. Esse erro indica a existência de 5% de probabilidade de se tomar uma decisão equivocada. Por outro lado, ao não se rejeitar H_0 , existe o erro do tipo II, no qual a possibilidade de erro ao se decidir não é conhecida (Cargnelutti Filho e Storck, 2007).

Assim, a ocorrência do erro experimental em análise de experimentos exige a análise estatística para testar as hipóteses levantadas. Em condições em que o erro experimental é grande, pode-se existir diferença entre as médias e essa diferença não ser detectada pelos testes estatísticos. Alguns cuidados podem ser tomados pelo pesquisador em vistas de reduzir o erro e aumentar a chance de discriminação entre tratamentos, sendo eles o aumento do número de repetições, utilizar unidades experimentais homogêneas e, ou, manejar o experimento adequadamente. Dessa forma, esses problemas podem ser contornados ao se planejar e instalar um experimento seguindo os princípios básicos de experimentação, os quais são repetição, casualização e controle local (Storck et al., 2006).

Na experimentação agrícola de maneira geral, o coeficiente de variação (CV) é utilizado por pesquisadores para avaliar a precisão de experimentos (Oliveira et al., 2009). O CV, assim como a diferença mínima significativa entre médias (DMS) correlacionam-se de maneira inversa com a precisão de um experimento. Desse modo, maiores valores de CV e DMS indicam menor precisão experimental (Cargnelutti Filho e Storck, 2009). Essas estatísticas associam-se com a média e a variância do experimento, sendo eficientes na classificação de tratamentos onde as médias são semelhantes (Cargnelutti Filho e Storck, 2007), assim como na definição do número de repetições necessárias para se detectar diferença entre médias (Mead e Curnow, 1986).

Oliveira et al. (2011) indicam o CV como o principal influenciador da definição do tamanho de amostras em experimentos com medição de variáveis dendrométricas, seguido pela precisão e rigor exigidos devido a redução da diferença a ser detectada entre tratamentos (DMS). Os citados autores explicam que tal comportamento é comum em trabalhos de tamanho ótimo de parcelas, dado que o aumento do número de plantas na parcela tende a influenciar (reduzir) o desvio padrão, o qual está inserido no cálculo do coeficiente de variação. Redução do CV em função do aumento do n também foi notado em Cargnelutti Filho et al. (2021) e Cocco et al. (2009). Por outro lado, o aumento do número de repetições (r) e aumento do número de tratamentos (I) influenciam em menor grau de magnitude a precisão experimental. Assim, os efeitos que mais influenciam o aumento do tamanho de amostras seguem a ordem $CV > DMS > r > I$ (Oliveira et al., 2011).

O grande número de detecções de diferenças entre os tratamentos para as variáveis H e DC observados no presente trabalho podem ter relação com os valores de CV encontrados. Para isso, foram seguidos os critérios definidos por Gomes (1990) para classificar a precisão de experimentos envolvendo espécies vegetais, os quais são enquadrados como baixos ($CV < 10\%$), médios (CV entre 10 e 20%), altos (CV entre 20 e 30%) e muito altos ($CV > 30\%$). No entanto, sabe-se que, geralmente, atributos biológicos possuem CV elevado, os quais variam entre 5 e 50% (Gill, 1987).

Dessa forma, nota-se que em todos os casos avaliados no presente estudo, o CV foi enquadrado como baixo ou médio. Contudo, para a correta avaliação dos valores de CV, é necessário entender a natureza e o comportamento dos dados em análise (Steel e Torrie, 1960). Assim, o tamanho ideal da amostra será maior na variável que apresente maior CV, dado que segundo a fórmula da estimativa do tamanho da amostra, o coeficiente de variação apresenta-se como numerador da operação (Fonseca e Martins, 2010).

Dessa forma, a comparação dos valores de CV em outros trabalhos de mesma natureza, no presente caso em se tratando dos atributos morfológicos de mudas de espécies arbóreas, pode gerar indícios sobre a precisão do experimento. Maranhão e Paiva (2012) notaram CV para os atributos morfológicos H, DC, massa seca da parte aérea (MSPA) e raízes (MSR) de mudas de *Physocalymma scaberrimum* em resposta a substratos de cultivo iguais a, respectivamente, 21,93, 20,76, 16,49 e 66,18%.

Avaliando a H e DC de mudas de *Hymenaea courbaril*, Oliveira et al. (2014) encontraram CV de, respectivamente, 5,2 e 9,2%. Para os atributos morfológicos MSPA e MSR, os valores de CV foram mais elevados (31,1 e 29,2% para, respectivamente, MSPA e MSR). Isso indica que, para a obtenção de resultados mais precisos para a avaliação da produção de massa de mudas dessa espécie, seria necessário um maior número de plantas, em vistas de reduzir o valor de CV, dado que os autores utilizaram $n = 3$ para todos os atributos morfológicos estudados.

Maiores valores de CV para a produção de massa seca de mudas também foram observados por Abreu et al. (2015) em *Enterolobium contortisiliquum*. Os autores encontraram, utilizando $n = 6$, CV igual a 12,8 e 21,1% para, respectivamente, H e DC, enquanto os valores de CV foram 42,3 e 57,0 para, respectivamente, MSPA e MSR. Nota-se ainda que no trabalho realizado por Oliveira et al. (2014) o CV foi menor para os atributos morfológicos do que o observado em Abreu et al. (2015), os quais usaram o dobro de plantas para compor n . Esse fato pode ter ocorrido em função de diversos motivos, como condições experimentais, variabilidade genética das sementes e comportamento da espécie. No entanto,

esses elevados valores de CV observados por Oliveira et al. (2014) e Abreu et al. (2015) podem ter ocorrido em virtude dos tratamentos avaliados, no caso, tamanhos de recipientes.

Oliveira et al. (2014) testaram recipientes (sacos plásticos) com 360, 1090 e 1660 cm³ de capacidade, enquanto Abreu et al. (2015) avaliaram sacos plásticos com 1248 cm³ de capacidade e tubetes de plástico rígido com capacidade para 180 e 280 cm³. Os maiores valores de CV encontrados por Abreu et al. (2015) na MSR podem ter ocorrido em função do tamanho do recipiente de maior dimensão, o qual possuía capacidade de 593 e 346% superior, respectivamente, aos tubetes de 180 e 280 cm³, enquanto o maior recipiente testado por Oliveira et al. (2014) possuía capacidade de 361 e 52% superior, respectivamente, aos sacos plásticos de 360 e 1090 cm³.

Dessa forma, a grande diferença do tamanho dos recipientes testados por Abreu et al. (2015) pode ter proporcionado maior dispersão dos dados de MSR das plantas, em virtude do maior volume disponível de substrato elevar o crescimento do sistema radicular. Assim, os dados observados podem ter se situado distantes da média geral do experimento, elevando a variância, o que, conseqüentemente, aumenta o desvio padrão e o coeficiente de variação. Essa constatação pode ser reforçada pelos resultados obtidos pelos autores, onde o tratamento com o recipiente de maior volume proporcionou incremento de 414 e 222% de MSR, quando comparado a, respectivamente, os tubetes de 180 e 280 cm³.

Alterações nos valores de CV são comuns quando se estuda diferentes variáveis resposta, como o crescimento em H e DC e a produção de massa seca das plantas (Oliveira et al., 2009). A consideração de Kramer e Kozlowski (1972), a qual aponta que a altura das mudas sofre grande influência de fatores genéticos, ao passo que o diâmetro é muito influenciado por aspectos ambientais, é de grande valor para esse tipo de discussão. Assim, a parcela, a qual é definida como unidade básica de um experimento que recebe o(s) fator(es) testado(s), deve desempenhar a função de reduzir a heterogeneidade ambiental e, ou, genética do material experimental (Freitas et al., 2001).

Considerando-se que a produção de mudas por meio da propagação sexuada, em especial no caso de espécies nativas, onde as sementes podem ser oriundas de diferentes progênies, é comum encontrar-se elevada heterogeneidade do material genético, o que pode tornar o atributo morfológico altura mais variável que o diâmetro do coleto. No entanto, essa informação deve ser considerada com ressalvas, dado que, no presente trabalho, o valor ótimo de *n* foi maior para o DC, em comparação à H, em todos os casos.

Adicionalmente, as variáveis ambientais podem, pelo menos em grande parte, serem controladas em ambientes protegidos, como casas de vegetação e viveiros florestais, durante a

realização da pesquisa, por meio do controle local, o que não influenciaria de maneira significativa a maior heterogeneidade do DC. Assim, espera-se que com a H sendo mais heterogênea ($> CV$), em comparação ao DC, ocorra necessidade de um maior número de plantas compondo a amostra para a H, visando reduzir seu erro de amostragem, equiparando-o com o erro do DC. No entanto, no presente trabalho, foi constatado o oposto.

Gomes Junior et al. (2017) e Teixeira et al. (2009) encontraram maior variação na H, em comparação ao DC, de mudas de *Elaeis* sp. O mesmo foi observado na produção de mudas de *Joannesia princeps* (Almeida et al., 2021), *Tectona grandis* (Caldeira et al., 2012), *Theobroma cacao* (Sodré et al., 2012), *Caesalpinia echinata* (Aguilar et al., 2011), *Araucaria angustifolia* e *Ocotea odorifera* (Rossa et al., 2011). Por outro lado, maior CV no DC, em comparação à H, foi notado em mudas de *Spondias tuberosa* (Cruz et al., 2016), *Sesbania virgata* (Delarmelina et al., 2014) e *Hymenaea courbaril* (Pierezan et al., 2012), o que indica que essa diferença da variação entre os atributos H e DC não é uma regra.

Em trabalhos avaliando o tamanho ideal de parcela para os atributos morfológicos H e DC de mudas de espécies arbóreas é possível notar que o tamanho da parcela é variável, a depender da espécie estudada, do nível de erro aceitável e da idade de avaliação. Cargnelutti Filho et al. (2018) constataram que o CV aumentou com o decorrer do tempo de produção das mudas (30, 60, 90, 120 e 150 dias após a semeadura) ao avaliar o tamanho ideal de parcela para a H, DC e a razão H/DC de mudas de *E. contortisiliquum*.

Aos 150 dias após a semeadura (DAS), os autores notaram que, para a H, seriam necessárias de 1420 e 15 plantas para compor a parcela, considerando-se erro de estimação de, respectivamente, 1 e 10%, enquanto para o DC seriam necessárias, respectivamente, para os mesmos níveis de erro, 1216 e 13 plantas. Por outro lado, para a H/DC seria necessário maior número de plantas, em virtude da maior variabilidade desse atributo, medido pelo CV, sendo necessárias 2131 e 22 plantas compondo a parcela, para erros de, respectivamente, 1 e 10%.

Essas constatações referentes à razão H/D observadas por Cargnelutti Filho et al. (2018) também foram notadas em mudas de *Cabralea canjerana* (Cargnelutti Filho et al., 2012). No entanto, Cargnelutti Filho et al. (2014) notaram comportamento oposto em mudas de *Carya illinoensis*, dado que o CV médio observado foi de, aproximadamente, 26, 25 e 23% para, respectivamente, H, D e H/DC, sugerindo que o tamanho da amostra, considerando a mesma precisão experimental, decresça nessa ordem para a espécie.

Em relação à produção de massa seca das plantas, no presente trabalho, os CV da MSPA e MSR também foram mais elevados do que os obtidos para o crescimento em H e

DC. No caso, devido a questões operacionais para a obtenção dos dados de produção de massa seca das mudas durante as cinco avaliações onde esses dados foram coletados, utilizou-se $n = 10$. A última medição do crescimento e produção de massa seca das mudas ocorreu aos 126 dias após o transplântio (DAT) para *S. terebinthifolia* e 161 DAT para *P. guineense*, *C. glandulosa* e *P. nitens*. Esses dados foram utilizados para a modelagem do crescimento e produção de massa das mudas (vide Capítulo 2). Nessa época, foi possível notar CV de, aproximadamente, 33, 37, 30 e 33% para a MSPA de, respectivamente, *S. terebinthifolia*, *P. guineense*, *C. glandulosa* e *P. nitens*.

Para a MSR o comportamento foi similar, onde o CV para esse atributo morfológico foi próximo de 41, 34, 30 e 37%, respectivamente, para *S. terebinthifolia*, *P. guineense*, *C. glandulosa* e *P. nitens*. Assim, segundo a classificação do CV realizada por Gomes (1990), a produção de massa seca no presente trabalho enquadra-se como muito elevada ($CV > 30\%$). Dessa forma, a detecção das diferenças entre tratamentos seria mais difícil do que o observado para os atributos morfológicos H e DC. Essa tendência também foi observada em mudas de *Schizolobium parahyba* (Caron et al., 2010), além dos trabalhos anteriormente citados realizados por Cruz et al. (2016), Delarmelina et al. (2014), Sodré et al. (2012), Caldeira et al. (2012), Rossa et al. (2011) e Aguiar et al. (2011).

A obtenção de maior precisão em experimentos relacionados à produção de mudas, assim como em outras áreas do conhecimento, é essencial para que se consiga distinguir com segurança a diferença entre tratamentos. Além disso, deve-se destacar que o CV não é fixo, e sim variável, em diferentes épocas de medição. Moretti et al. (2011) encontraram maiores valores de CV no DC de mudas de *Toona ciliata* aos 30, 60 e 90 dias após o transplântio (DAT), ao passo que aos 120 e 150 DAT houve o inverso, constatando-se maior CV na altura das plantas.

Fanti e Perez (2003), ao avaliar a influência do sombreamento artificial e da fertilização com NPK na produção de mudas de *Adenanthera pavonina*, não observaram diferença entre os tratamentos na H das plantas aos 30, 60, 90 e 120 dias após a emergência (DAE). Nessas ocasiões, os valores de CV variaram entre 7,45 e 10,67%. Contudo, nas medições posteriores, foi possível detectar diferença entre os tratamentos, quando o CV foi igual a 6,55 e 4,90%, respectivamente, aos 150 e 180 DAE.

No entanto, os resultados obtidos por Fanti e Perez (2003) contrariam o observado por Silveira et al. (2009), os quais apontam que o crescimento das plantas, com o passar do tempo, torna-se mais heterogêneo, o que resulta em aumento da variabilidade dos dados e, consequentemente, exige maior n para que se alcance um mesmo nível de erro. Esses achados

demonstram a dificuldade de se determinar qual variável terá maior ou menor tamanho amostral para se alcançar o mesmo nível de erro desejado sem o conhecimento prévio do comportamento das espécies.

5. CONCLUSÕES

O aumento do número de plantas na parcela experimental eleva a precisão experimental.

O tamanho ótimo de parcela (n) para os atributos morfológicos altura da parte aérea (H) e diâmetro do coleto (DC) variam de acordo com o agrupamento das espécies em função do ritmo de crescimento.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; MELO, L. A.; FERREIRA, D. H. A. A.; MONTEIRO, F. A. S. Produção de mudas e crescimento inicial em campo de *Enterolobium contortisiliquum* produzidas em diferentes recipientes. **Floresta**, v. 45, n. 1, p. 141-150, 2015.
- AGRANONIK, M.; HIRAKATA, V. N. Cálculo de tamanho de amostra: proporções. **Clinical & Biomedical Research**, v. 31, n. 3, p. 382-388, 2011.
- AGUIAR, F. F. A.; KANASHIRO, S.; TAVARES, A. R.; NASCIMENTO, T. D. R.; ROCCO, F. M. Crescimento de mudas de pau-brasil (*Caesalpinia echinata* Lam.), submetidas a cinco níveis de sombreamento. **Revista Ceres**, v. 58, n. 6, p. 729-734, 2011.
- ALMEIDA, R. S.; NIERI, E. M.; MONTEIRO, E. C. S.; SILVA, O. M. C.; MELO, L. A. Reaproveitamento de resíduos de café em substratos para produção de mudas de *Joannesia princeps*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 41, e201902047, 2021.
- BITTENCOURT, K. C.; SOUZA, R. R.; PAZETTO, S. B.; TOEBE, M.; TOEBE, I. C. D. What is the best way to define sample size for cauliflower seedlings?. **Ciência Rural**, v. 52, n. 12, e20210747, 2022.
- CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LÜBE, S. G.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; ALVES, A. F. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. **Floresta**, v. 42, n. 1, p. 77-84, 2012.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; LOREGIAN, M. V.; BUBANS, V. E.; SOMAVILLA, F. M.; COSTA, S. L. Comparison of methods for estimating the optimum plot size for pearl millet, slender leaf rattlebox, and showy rattlebox. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 2, p. 249-256, 2021.
- CARGNELUTTI FILHO, A.; ARAUJO, M. M.; GASPARIN, E.; FOLTZ, D. R. B. Dimensionamento amostral para avaliação de altura e diâmetro de plantas de timbaúva. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 1, e00121314, 2018.

CARGNELUTTI FILHO, A.; POLETTTO, T.; MUNIZ, M. F. B.; BAGGIOTTO, C.; POLETTTO, I.; FRONZA, D. Dimensionamento amostral para avaliação de altura e diâmetro de mudas de nogueira-pecã. **Ciência Rural**, v. 44, n. 12, p. 2151-2156, 2014.

CARGNELUTTI FILHO, A.; ARAUJO, M. M.; GASPARIN, E.; AVILA, A. L. Dimensionamento amostral para avaliação de altura e diâmetro de mudas de *Cabralea canjerana*. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p. 1204-1211, 2012.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Medidas do grau de precisão experimental em ensaios de competição de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 111-117, 2009.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Estatísticas de avaliação da precisão experimental em ensaios de cultivares de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 1, p. 17-24, 2007.

CARON, B. O.; SOUZA, V. Q.; CANTARELLI, E. B.; MANFRON, P. A.; BEHLING, A.; ELOY, E. Crescimento em viveiro de mudas de *Schizolobium parahyba* (Vell.) S. F. Blake. submetidas a níveis de sombreamento. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 683-689, 2010.

COCCO, C.; BOLIGON, A. A.; ANDRIOLO, J. L.; OLIVEIRA, C. S.; LORENTZ, L. H. Tamanho e forma de parcela em experimentos com morangueiro cultivado em solo ou em hidroponia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 7, p. 681-686, 2009.

CRUZ, F. R. S.; ANDRADE, L. A.; FEITOSA, R. C. Produção de mudas de umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) em diferentes substratos e tamanho de recipientes. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 69-80, 2016.

DELARMINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. O.; ROCHA, R. L. F. Diferentes substratos para a produção de mudas de *Sesbania virgata*. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 2, p. 224-233, 2014.

ECKERMAN, S.; KARNON, J.; WILLAN, A. R. The value of value of information. **Pharmacoeconomics**, v. 28, p. 699-709, 2010.

FANTI, S. C.; PEREZ, S. C. J. G. A. Influência do sombreamento artificial e da adubação química na produção de mudas de *Adenanthera pavonina* L. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 1, p. 49-56, 2003.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2009. 664 p.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. **Curso de estatística**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 331 p.

FREITAS, J. A.; SILVA, E. B.; FALLIERI, J.; LANZA, M. A.; FARIA, R. S.; SILVA, P. J. Tamanho de amostra na parcela para caracterização da altura de plantas de algodoeiro herbáceo *Gossypium hirsutum*. **Ciência Rural**, v.31, n. 4, p. 583-587, 2001.

GILL, J. L. **Design and analysis of experiments in the animaland medical sciences**. Ames: The Iowa State University,1987. 411 p.

GOMES JUNIOR, R. A.; PINA, A. J. A.; GURGEL, F. L.; FRANZINI, V. I.; CARVALHO, E. A.; VEIGA, A. S.; BHERING, L.; L.; CUNHA, R. N. V. Sistema de produção de mudas em híbridos interespecíficos entre caiaué e dendê. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 169-179, 2017.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. Piracicaba: Nobel, 1990. 468 p.

KRAMER, P. J.; KOZLOWSKI, T. T. **Fisiologia das árvores**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1972. 745 p.

LÚCIO, A. D. C.; CARPES, R. H.; STORCK, L.; ZANARDO, B.; TOEBE, M.; PUHL, O. J.; SANTOS, J. R. A. Agrupamento de colheitas de tomate e estimativas do tamanho de parcela em cultivo protegido. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 190-196, 2010.

LÚCIO, A. D. C.; CARPES, R. H.; STORCK, L.; LOPES, S. J.; LORENTZ, L. H.; PALUDO, A. L. Variância e média da massa de frutos de abobrinha-italiana em múltiplas colheitas. **Horticultura Brasileira**, v. 26, n. 3, p. 335-341, 2008.

MARANHO, A. S.; PAIVA, A. V. Produção de mudas de *Physocalymma scaberrimum* em substratos compostos por diferentes porcentagens de resíduo orgânico de açai. **Floresta**, v. 42, n. 2, p. 399-408, 2012.

MEAD, R.; CURNOW, R. N. **Statistical methods in agriculture and experimental biology**. New York: Chapman & Hall, 1986. 335 p.

MORETTI, B. S.; FURTINI NETO, A. E.; PINTO, S. I. C.; FURTINI, I. V.; MAGALHÃES, C. A. S. Growth and mineral nutrition in seedlings of australian cedar (*Toona ciliata*) subjected to nutrient deprivation. **Cerne**, v. 17, n. 4, p. 453-464, 2011.

OLIVEIRA, G. M. V.; MELLO, J. M.; LIMA, R. R.; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. Tamanho e forma de parcelas experimentais para *Eremanthus erythropappus*. **Cerne**, v. 17, n. 3, p. 327-338, 2011.

OLIVEIRA, L. S. B.; ANDRADE, L. A.; ALVES, A. S.; Gonçalves, G. S. Substrato e volume de recipiente na produção de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Nativa**, v. 2, n. 2, p. 103-107, 2014.

OLIVEIRA, R. L.; MUNIZ, J. A.; ANDRADE, M. J. B.; REIS, R. L. Experimental precision on bean crop experiments. **Ciência e agrotecnologia**, v. 33, n. 1, p. 113-119, 2009.

PEREIRA FILHO, G. M.; JACOVINE, L. A. G.; SCHETTINI, B. L. S.; PAIVA, H. N.; LEITE, F. P.; VILLANOVA, P. H.; ROCHA, S. J. S. S.; LEITE, H. G. Correlação entre dimensões das árvores de eucalipto em alto fuste e talhadia. **Scientia Forestalis**, v. 48, n. 125, e3212, 2020.

PIEREZAN, L.; SCALON, S. P. Q.; PEREIRA, Z. V. Emergência de plântulas e crescimento de mudas de jatobá com uso de bioestimulante e sombreamento. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 127-133, 2012.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing** R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. 2021.

ROSSA, U. B.; ANGELO, A. C.; NOGUEIRA, A. C.; REISSMANN, C. B.; GROSSI, F.; RAMOS, M. R. Fertilizante de liberação lenta no crescimento de mudas de *Araucaria angustifolia* e *Ocotea odorifera*. **Floresta**, v. 41, n. 3, p. 491-500, 2011.

SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, J. C.; LEITE, F. P. Sistemas de manejo em plantios florestais de eucalipto e perdas de solo e água na região do Vale do Rio Doce, MG. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 765-776, 2011.

SILVEIRA, B. D.; LÚCIO, A. D.; LOPES, S. J.; OLIVEIRA, F. Randomness and sample size in *Pinus taeda* L. seedlings. **Revista Ceres**, v. 56, n. 6, p. 730-735, 2009.

SODRÉ, G. A.; VENTURINI, M. T.; RIBEIRO, D. O.; MARROCOS, P. C. L. Extrato da casca do fruto do cacaueiro como fertilizante potássico no crescimento de mudas de cacaueiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 3, p. 881-887, 2012.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principies and procedures of statistics**. Nova York: McGraw Hill, 1960. 672 p.

STORCK, L.; GARCIA, D. C.; LOPES, S. J.; ESTEFANEL, V. **Experimentação vegetal**. Santa Maria: UFSM, 2006. 198 p.

TEIXEIRA, P. C.; RODRIGUES, H. S.; LIMA, W. A. A.; ROCHA, R. N. C.; CUNHA, R. N. V.; LOPES, R. Influência da disposição dos tubetes e da aplicação de fertilizantes de liberação lenta, durante o pré-viveiro, no crescimento de mudas de dendezeiro (*Elaeis guineensis* Jacq.). **Ciência Florestal**, v. 19, n. 2, p. 157-168, 2009.

CONCLUSÕES GERAIS

Inicialmente, destaca-se que o experimento realizado para a obtenção dos dados analisados na presente tese foi conduzido em viveiro florestal comercial de produção de mudas de espécies arbóreas nativas. Dessa forma, as condições de cultivo das mudas foram similares às condições operacionais observada em grande parte dos viveiros florestais do Brasil. Isso implica em trazer a abordagem do trabalho mais próxima à realidade dos produtores de mudas dessas espécies, os quais podem se beneficiar do uso das informações aqui apresentadas.

Após a análise dos dados que conceberam os três capítulos da presente tese, é possível concluir que o uso do substrato Antuérpia sem a inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) provenientes de inoculante produzido pelo método *on-farm* foi mais adequado para o crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas do bioma Mata Atlântica. A capacidade preditiva dos modelos de crescimento e produção testados (Gompertz, Logístico e Power) teve boa correlação entre os dados observados na mensuração das mudas e estimados pelas equações ajustadas, o que pode ser de interesse aos produtores de mudas. Sabe-se que na fase de maior aceleração do crescimento e, ou, acúmulo de massa, as plantas demandam maior oferta de recursos de crescimento, como água e nutrientes. Assim, ao conhecer a época em que esse fenômeno ocorre, o manejador pode atuar ofertando esses recursos de modo mais intenso, em vistas de subsidiar a produção vegetal.

Assim, a compreensão do modelo matemático que melhor se ajusta à espécie, para cada atributo morfológico, é algo de interesse ao produtor. No presente estudo, os modelos Power e Logístico foram mais adequados para a modelagem dos atributos morfológicos de *Schinus terebinthifolia* e o modelo Logístico foi mais apropriado para *Psidium guineense*. Por outro lado, os modelos de Gompertz e Logístico, respectivamente, para *Colubrina glandulosa* e *Pterogyne nitens*, foram mais satisfatórios para a modelagem do crescimento e produção de massa seca dessas espécies.

Adicionalmente, por meio do teste de identidade dos modelos, considerando-se todos os atributos morfológicos estudados, foi notado que em 91,7% dos casos as equações ajustadas não foram iguais para os pares de tratamentos, indicando o uso das equações ajustadas de maneira isolada para cada espécie, atributo morfológico e tratamento avaliados. Essa constatação é de grande interesse prático, devido realçar a importância de não se realizar generalizações quanto ao ritmo de acúmulo e produção de massa na produção de mudas. O uso de uma equação ajustada para uma dada situação e espécie, ao ser utilizada em outra

condição, pode levar o manejador das plantas a decisões equivocadas, as quais podem prejudicar o crescimento, produção de massa e qualidade das mudas produzidas.

Por fim, na avaliação da precisão experimental em resposta ao número de plantas que compõem a parcela experimental (n) e ao tamanho ideal da parcela, foi possível notar que o aumento do número de plantas na parcela experimental eleva a precisão experimental. Essa constatação ocorreu em função do aumento do valor de F da análise de variância e redução do coeficiente de variação (CV) e da diferença mínima significativa (DMS), devido ao aumento do número de plantas mensuradas na parcela. Dessa forma, o tamanho ótimo de parcela (n) para os atributos morfológicos altura da parte aérea (H) e diâmetro do coleto (DC) variam de acordo com o agrupamento das espécies em função do ritmo de crescimento.

Por mais que os resultados demonstrados em pesquisas de determinação de tamanho ótimo de parcela apresentem informações práticas que podem facilitar o planejamento de experimentos posteriores, algumas ponderações devem ser realizadas ao se extrapolar esses dados para outras espécies e situações. Um dos cuidados necessários é a realização de avaliações preliminares para definir o n da espécie a qual o pesquisador planeja trabalhar. As comparações feitas no presente trabalho podem servir como balizador dessa decisão, dado que a definição do n deve considerar as condições de cultivo avaliadas, sendo necessário que as generalizações para outras situações experimentais sejam feitas com parcimônia.

Assim, em virtude do reduzido número de experimentos avaliando o tamanho ideal de parcela para mudas de espécies arbóreas nativas do Brasil, com a realização do presente trabalho espera-se que seja obtida maior facilidade para o planejamento desses experimentos. O auxílio na definição do tamanho ótimo de parcela para que se alcance um nível de precisão almejado pelo(s) pesquisador(s) para a realização de inferências estatísticas mais confiáveis e assertivas nesse tipo de experimentos deve ser ainda ampliado, testando-se diferentes fatores de variação, métodos e espécies arbóreas.

APÊNDICES

APÊNDICE A – ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS DAS MUDAS DE 11 ESPÉCIES ARBÓREAS NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA AOS 157 DIAS APÓS O TRANSPLANTIO EM RESPOSTA A SUBSTRATOS E INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA)

Tabela 1 - Resumo da análise de variância das características morfológicas de mudas de 11 espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica aos 157 dias após o transplante em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Espécie	GL - Resíduo	CV %	Altura (H)			Diâmetro do coleto (DC)				CV %	Relação H / DC		
			p-valor			p-valor					p-valor		
			S	I	S x I	S	I	S x I	S		I	S x I	
Amendoim-bravo (<i>Pterogyne nitens</i>)*	12	16,37	0,0000	0,0000	0,0029	13,92	0,0000	0,0177	0,0000	16,61	0,3443	0,0000	0,0000
Araçá-do-campo (<i>Psidium guineense</i>)**	12	21,88	0,0000	0,0000	0,0000	14,69	0,0000	0,0000	0,0000	20,23	0,0234	0,0000	0,0000
Aroeira-pimenteira (<i>Schinus terebinthifolia</i>)**	12	17,42	0,0000	0,0000	0,0897	14,67	0,0000	0,0000	0,0029	18,47	0,0000	0,9311	0,1514
Boleira (<i>Joannesia principis</i>)**	12	20,55	0,0414	0,0000	0,0000	12,12	0,0468	0,0000	0,0002	23,36	0,0120	0,0001	0,0000
Canafístula (<i>Peltophorum dubium</i>)*	12	17,84	0,0000	0,0000	0,0000	12,70	0,0000	0,0000	0,0001	18,82	0,0000	0,0000	0,0000
Embaúba-prateada (<i>Cecropia hololeuca</i>)*	12	17,07	0,0000	0,0000	0,0000	13,57	0,0000	0,0000	0,0000	18,94	0,0000	0,0042	0,0051
Leiteiro (<i>Tabernaemontana hystrix</i>)	12	22,43	0,0000	0,0000	0,1890	14,29	0,0000	0,0164	0,0000	22,19	0,0000	0,0003	0,0086
Mutamba (<i>Guazuma ulmifolia</i>)**	12	23,82	0,0000	0,0000	0,0000	16,27	0,0000	0,6072	0,6774	26,18	0,0000	0,0000	0,0000
Pau-viola (<i>Citharexylum myrianthum</i>)**	12	19,77	0,0000	0,0263	0,0001	14,27	0,0000	0,6115	0,0000	19,06	0,0000	0,0020	0,5411
Saguaraji (<i>Colubrina glandulosa</i>)*	12	13,05	0,0000	0,4374	0,0000	12,14	0,0000	0,0000	0,0000	11,74	0,0000	0,0000	0,0612
Vinhático (<i>Plathymenia reticulata</i>)**	12	22,93	0,2683	0,0000	0,0000	19,51	0,5644	0,2228	0,0000	24,92	0,3238	0,0000	0,5747

** = Espécie de rápido crescimento; * = Espécie de lento crescimento; GL = Grau de liberdade; CV (%) = Coeficiente de variação; S = Fonte de variação substrato; I = Fonte de variação inoculação; S x I = Interação Substrato x Inoculação.

Tabela 2 – Aspectos morfológicos de mudas de araçá-do-campo e aroeira-pimenteira aos 157 dias após o transplântio em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

H (cm)				DC (mm)			Relação H / DC		
Araçá-do-campo (<i>Psidium guineense</i>)									
Inoculação	O. Verde	Antuérpia	Média	O. Verde	Antuérpia	Média	O. Verde	Antuérpia	Média
+ FMA	17,7 b B	23,4 a B	21,6	3,62 b B	4,57 a B	4,09	4,98 b B	5,56 a A	5,27
	(±3,6)	(±6,8)	(±6,7)	(±0,61)	(±0,72)	(±0,82)	(±1,01)	(±1,21)	(±1,15)
- FMA	25,7 b A	26,8 a A	26,3	4,44 b A	4,81 a A	4,62	5,85 a A	5,63 b A	5,74
	(±5,0)	(±5,0)	(±5,0)	(±0,60)	(±0,63)	(±0,64)	(±1,16)	(±1,07)	(±1,12)
Média	21,7	26,1	23,9	4,03	4,69	4,36	5,41	5,59	5,50
	(±5,9)	(±6,0)	(±6,3)	(±0,73)	(±0,68)	(±0,78)	(±1,17)	(±1,14)	(±1,16)
Aroeira-pimenteira (<i>Schinus terebinthifolia</i>)									
+ FMA	21,5	30,25	25,9 A	5,49 b A	5,89 a A	5,69	3,97	5,23	4,60 A
	(±4,2)	(±4,6)	(±6,2)	(±0,87)	(±0,88)	(±0,90)	(±0,77)	(±0,99)	(±1,08)
- FMA	20,33	28,0	24,2 B	5,26 a B	5,32 a B	5,29	3,89	5,31	4,60 A
	(±3,5)	(±5,0)	(±5,8)	(±0,73)	(±0,72)	(±0,72)	(±0,60)	(±0,98)	(±1,08)
Média	20,9 b	29,1 a	25,0	5,37	5,61	5,49	3,93 b	5,27 a	4,60
	(±3,9)	(±4,9)	(±6,0)	(±0,81)	(±0,85)	(±0,84)	(±0,69)	(±0,98)	(±1,08)

H = Altura da parte aérea; DC = Diâmetro do coleto; H / DC = Relação H / DC; + FMA = substrato inoculado com FMA; - FMA = Substrato não inoculado com FMA. Valores entre parênteses representam o desvio padrão. Médias seguidas por letras minúsculas, na linha, compara substratos e médias seguidas por letra maiúscula, na coluna, compara inoculação. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Tabela 3 – Aspectos morfológicos de mudas de boleira e mutamba aos 157 dias após o transplântio em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

H (cm)				DC (mm)			Relação H / DC		
Boleira (<i>Joannesia principis</i>)									
Inoculação	O. Verde	Antuérpia	Média	O. Verde	Antuérpia	Média	O. Verde	Antuérpia	Média
+ FMA	39,3 b B (±9,5)	44,5 a A (±7,7)	41,9 (±9,0)	11,80 b B (±1,53)	12,68 a A (±1,51)	12,24 (±1,58)	3,36 a B (±0,83)	3,56 a A (±0,76)	3,46 (±0,80)
- FMA	52,7 a A (±11,1)	43,7 b A (±8,3)	48,2 (±10,8)	13,02 a A (±1,56)	12,74 a A (±1,48)	12,88 (±1,52)	4,11 a A (±1,01)	3,48 b A (±0,76)	3,79 (±0,95)
Média	46,0 (±12,3)	44,1 (±8,0)	45,1 (±10,4)	12,41 (±1,66)	12,71 (±1,49)	12,56 (±1,58)	3,73 (±1,00)	3,52 (±0,76)	3,63 (±0,89)
Mutamba (<i>Guazuma ulmifolia</i>)									
+ FMA	16,6 b B (±3,8)	32,5 a A (±7,0)	24,6 (±9,8)	4,33 (±0,79)	5,89 (±0,84)	5,11 A (±1,13)	3,90 b B (±0,89)	5,61 a A (±1,34)	4,75 (±1,42)
- FMA	22,6 b A (±7,6)	32,8 a A (±5,8)	27,7 (±8,5)	4,41 (±0,74)	5,89 (±0,96)	5,15 A (±1,13)	5,17 b A (±1,26)	5,68 a A (±1,71)	5,42 (±1,52)
Média	19,6 (±6,7)	32,7 (±6,4)	26,1 (±9,3)	4,37 b (±0,76)	5,89 a (±0,90)	5,13 (±1,13)	4,53 (±1,50)	5,64 (±1,30)	5,09 (±1,51)

H = Altura da parte aérea; DC = Diâmetro do coleto; H / DC = Relação H / DC; + FMA = substrato inoculado com FMA; - FMA = Substrato não inoculado com FMA. Valores entre parênteses representam o desvio padrão. Médias seguidas por letras minúsculas, na linha, compara substratos e médias seguidas por letra maiúscula, na coluna, compara inoculação. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Tabela 4 – Aspectos morfológicos de mudas de pau-viola e vinhático aos 157 dias após o transplântio em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

H (cm)			DC (mm)			Relação H / DC			
Pau-viola (<i>Citharexylum myrianthum</i>)									
Inoculação	O. Verde	Antuérpia	Média	O. Verde	Antuérpia	Média	O. Verde	Antuérpia	Média
+ FMA	21,8 b B (±4,5)	31,7 a A (±6,0)	26,7 (±7,2)	6,79 b B (±1,10)	7,72 a A (±1,10)	7,25 (±1,19)	3,24 (±0,62)	4,13 (±0,74)	3,68 B (±0,81)
- FMA	25,2 b A (±6,0)	30,7 a A (±4,9)	27,9 (±6,1)	7,17 a A (±0,92)	7,23 a B (±1,00)	7,20 (±0,95)	3,51 (±0,70)	4,31 (±0,82)	3,91 A (±0,86)
Média	23,5 (±5,5)	31,2 (±5,5)	27,3 (±6,7)	6,98 (±1,03)	7,48 (±1,07)	7,23 (±1,08)	3,38 b (±0,67)	4,22 a (±0,79)	3,80 (±0,84)
Vinhático (<i>Plathymenia reticulata</i>)									
+ FMA	34,4 b B (±8,2)	38,5 a A (±9,0)	36,4 (±8,8)	5,24 b B (±1,32)	6,01 a A (±1,00)	5,63 (±1,23)	6,78 (±1,53)	6,50 (±1,67)	6,64 B (±1,60)
- FMA	46,7 a A (±10,0)	40,5 b A (±9,4)	43,6 (±10,2)	6,21 a A (±1,33)	5,32 b B (±0,64)	5,76 (±1,13)	7,76 (±2,09)	7,68 (±1,83)	7,72 A (±1,96)
Média	40,5 (±11,0)	39,5 (±9,2)	40,0 (±10,2)	5,73 (±1,41)	5,66 (±0,91)	5,70 (±1,18)	7,27 a (±1,95)	7,09 a (±1,78)	7,18 (±1,87)

H = Altura da parte aérea; DC = Diâmetro do coleto; H / DC = Relação H / DC; + FMA = substrato inoculado com FMA; - FMA = Substrato não inoculado com FMA. Valores entre parênteses representam o desvio padrão. Médias seguidas por letras minúsculas, na linha, compara substratos e médias seguidas por letra maiúscula, na coluna, compara inoculação. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Tabela 5 – Aspectos morfológicos de mudas de amendoim-bravo e canafístula aos 157 dias após o transplântio em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

H (cm)			DC (mm)			Relação H / DC			
Amendoim-bravo (<i>Pterogyne nitens</i>)									
Inoculação	O. Verde	Antuérpia	Média	O. Verde	Antuérpia	Média	O. Verde	Antuérpia	Média
+ FMA	7,6 b B (±1,2)	8,6 a B (±1,4)	8,1 (±1,4)	2,84 b A (±0,5)	3,06 a B (±0,4)	2,95 (±0,45)	2,72 b B (±0,48)	2,84 a B (±0,50)	2,78 (±0,52)
- FMA	8,4 b A (±1,5)	10,0 a A (±1,5)	9,2 (±1,7)	2,55 b B (±0,4)	3,22 a A (±0,4)	2,89 (±0,50)	3,31 a A (±0,54)	3,12 b A (±0,47)	3,21 (±0,49)
Média	8,0 (±1,4)	9,3 (±1,6)	8,6 (±1,6)	2,70 (±0,44)	3,14 (±0,41)	2,92 (±0,48)	3,01 (±0,59)	2,98 (±0,50)	3,00 (±0,55)
Canafístula (<i>Peltophorum dubium</i>)									
+ FMA	13,2 b B (±1,5)	16,6 a B (±3,2)	14,9 (±3,0)	5,51 b B (±0,56)	6,04 a B (±0,64)	5,78 (±0,65)	2,41 b B (±0,36)	2,76 a B (±0,52)	2,59 (±0,48)
- FMA	17,9 b A (±2,6)	31,5 a A (±5,5)	24,7 (±8,0)	6,18 b A (±0,96)	7,34 a A (±0,95)	6,76 (±1,11)	2,96 b A (±0,58)	4,33 a A (±0,80)	3,64 (±0,98)
Média	15,6 (±3,2)	24,0 (±8,7)	19,8 (±7,8)	5,85 (±0,85)	6,69 (±1,04)	6,27 (±1,04)	2,69 (±0,55)	3,55 (±1,04)	3,12 (±0,93)

H = Altura da parte aérea; DC = Diâmetro do coleto; H / DC = Relação H / DC; + FMA = substrato inoculado com FMA; - FMA = Substrato não inoculado com FMA. Valores entre parênteses representam o desvio padrão. Médias seguidas por letras minúsculas, na linha, compara substratos e médias seguidas por letra maiúscula, na coluna, compara inoculação. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Tabela 6 – Aspectos morfológicos de mudas de embaúba-prateada e leiteiro aos 157 dias após o transplante em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Inoculação	H (cm)			DC (mm)			Relação H / DC		
	O. Verde	Antuérpia	Média	O. Verde	Antuérpia	Média	O. Verde	Antuérpia	Média
Embaúba-prateada (<i>Cecropia hololeuca</i>)									
+ FMA	12,1 b A (±1,7)	20,0 a A (±3,2)	16,1 (±4,7)	5,02 b A (±0,64)	6,29 a A (±0,89)	5,65 (±1,00)	2,45 b A (±0,45)	3,21 a A (±0,60)	2,83 (±0,65)
- FMA	12,4 b A (±2,3)	15,4 a B (±2,8)	13,9 (±3,0)	5,10 b A (±0,76)	5,39 a B (±0,64)	5,25 (±0,72)	2,45 b A (±0,44)	2,88 a B (±0,58)	2,67 (±0,55)
Média	12,3 (±2,0)	17,7 (±3,8)	15,0 (±4,1)	5,06 (±0,70)	5,84 (±0,89)	5,45 (±0,89)	2,45 (±0,44)	3,05 (±0,61)	2,75 (±0,61)
Leiteiro (<i>Tabernaemontana hystrix</i>)									
+ FMA	8,2 (±1,7)	12,7 (±3,1)	10,5 B (±3,4)	3,07 b B (±0,38)	3,84 a A (±0,52)	3,45 (±0,60)	2,71 b A (±0,59)	3,33 a B (±0,77)	3,02 (±0,75)
- FMA	9,6 (±2,4)	13,5 (±2,5)	11,6 A (±3,1)	3,51 b A (±0,48)	3,65 a B (±0,60)	3,58 (±0,55)	2,78 b A (±0,66)	3,76 a A (±0,75)	3,27 (±0,86)
Média	8,9 b (±2,2)	13,1 a (±2,8)	11,0 (±3,3)	3,29 (±0,49)	3,74 (±0,57)	3,51 (±0,58)	2,74 (±0,63)	3,55 (±0,79)	3,14 (±0,82)

H = Altura da parte aérea; DC = Diâmetro do coleto; H / DC = Relação H / DC; + FMA = substrato inoculado com FMA; - FMA = Substrato não inoculado com FMA. Valores entre parênteses representam o desvio padrão. Médias seguidas por letras minúsculas, na linha, compara substratos e médias seguidas por letra maiúscula, na coluna, compara inoculação. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

Tabela 7 – Aspectos morfológicos de mudas de saguaraji aos 157 dias após o transplântio em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

H (cm)			DC (mm)			Relação H / DC			
Saguaraji (<i>Colubrina glandulosa</i>)									
Inoculação	O. Verde	Antuérpia	Média	O. Verde	Antuérpia	Média	O. Verde	Antuérpia	Média
+ FMA	11,6 b B (±1,1)	14,6 a A (±1,9)	13,0 (±2,2)	4,94 b A (±0,49)	5,66 a A (±0,59)	5,30 (±0,65)	2,35 (±0,24)	2,58 (±0,29)	2,46 B (±0,29)
- FMA	12,4 b A (±1,3)	13,9 a B (±2,2)	13,1 (±2,0)	4,96 a A (±0,58)	4,95 a B (±0,79)	4,95 (±0,69)	2,52 (±0,32)	2,83 (±0,34)	2,67 A (±0,36)
Média	12,0 (±1,3)	14,2 (±2,1)	13,1 (±2,1)	4,95 (±0,54)	5,30 (±0,78)	5,13 (±0,69)	2,43 b (±0,30)	2,70 a (±0,34)	2,57 (±0,35)

H = Altura da parte aérea; DC = Diâmetro do coleto; H / DC = Relação H / DC; + FMA = substrato inoculado com FMA; - FMA = Substrato não inoculado com FMA. Valores entre parênteses representam o desvio padrão. Médias seguidas por letras minúsculas, na linha, compara substratos e médias seguidas por letra maiúscula, na coluna, compara inoculação. Médias seguidas por letras iguais não diferem entre si pelo teste de F a 5% de probabilidade.

APÊNDICE B - MODELOS DE GOMPERTZ, LOGÍSTICO E POWER AJUSTADOS PARA AS VARIÁVEIS ALTURA DA PARTE AÉREA (H), DIÂMETRO DO COLETO (DC), MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA) E MASSA SECA DE RAÍZES (MSR) DE MUDAS DE AROEIRA-PIMENTEIRA (*Schinus terebinthifolia*), ARAÇÁ-DO-CAMPO (*Psidium guineense*), SAGUARAJI (*Colubrina glandulosa*) E AMENDOIM-BRAVO (*Pterogyne nitens*) EM RESPOSTA A SUBSTRATOS E INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA)

Tabela 1 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2), erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de correlação entre a altura da parte aérea (H) observada e estimada ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia*); y = H (em cm) e x = idade (em dias)

Aroeira-pimenteira (<i>Schinus terebinthifolia</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$	$r_{\hat{y}y}$
T1	Gompertz	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado
	Logístico	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado
	Power	0,01873688	1,52330017	-	4,1881871	0,9077775
T2	Gompertz	115,86067544	1,06132348	0,00444924	2,7589189	0,8648587
	Logístico	460,59822842	62,15716659	0,00920310	2,7326028	0,8676206
	Power	0,84698351	0,67071151	-	2,884179	0,8503949
T3	Gompertz	631,24769011	1,60738604	0,00410272	3,5942212	0,9274709
	Logístico	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado
	Power	0,10770184	1,17395109	-	4,2035799	0,8987776
T4	Gompertz	322,42946809	1,40637208	0,00332509	3,5290215	0,8172998
	Logístico	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado
	Power	0,50775214	0,77185372	-	3,9229885	0,7665684

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*; Inadequado = Estimativas do parâmetro inadequadas para o modelo.

Tabela 2 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2), erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de correlação entre a altura da parte aérea (H) observada e estimada ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de araçá-do-campo (*Psidium guineense*); y = H (em cm) e x = idade (em dias)

Araçá-do-campo (<i>Psidium guineense</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$	$r_{\hat{y}y}$
T1	Gompertz	33,85047510	1,23867317	0,01487901	3,4972605	0,9065406
	Logístico	27,42029063	15,13960421	0,03012573	3,4242604	0,9105915
	Power	0,10282343	1,08189169	-	3,577688	0,9015383
T2	Gompertz	69,87383481	1,33752488	0,00923015	3,9017469	0,9208495
	Logístico	39,63482291	18,52859608	0,02464952	3,8648593	0,9224017
	Power	0,03464592	1,32710520		3,9489891	0,9184915
T3	Gompertz	51,56172780	1,24034812	0,00992133	3,2857233	0,9211784
	Logístico	32,35982508	15,09004370	0,02495777	3,228751	0,9239998
	Power	0,05805288	1,19792505	-	3,3479083	0,9176829
T4	Gompertz	22,69154298	1,05555543	0,01539804	2,717898	0,8778613
	Logístico	19,29429071	10,60792192	0,02970761	2,6323435	0,8859192
	Power	0,19644960	0,88990784	-	2,806482	0,8685918

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*; Inadequado = Estimativas do parâmetro inadequadas para o modelo.

Tabela 3 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2), erro-padrão residual ($S_{y..x}$) e coeficiente de correlação entre a altura da parte aérea (H) observada e estimada ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de saguaraji (*Colubrina glandulosa*); y = H (em cm) e x = idade (em dias)

Saguaraji (<i>Colubrina glandulosa</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y..x}$	$r_{\hat{y}y}$
T1	Gompertz	55,18901781	0,78867914	0,00237364	1,9870541	0,6763459
	Logístico	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado
	Power	2,12196998	0,33808134	-	2,0972175	0,6270327
T2	Gompertz	15,98630872	0,41042840	0,01326370	1,9375581	0,8090742
	Logístico	14,77317482	2,84126612	0,02035057	1,9285926	0,8110426
	Power	1,04972095	0,50201186	-	1,952344	0,8049158
T3	Gompertz	27,32356512	0,61955864	0,00676236	1,5072246	0,8964718
	Logístico	19,55040732	3,54966654	0,01454567	1,4906177	0,8988684
	Power	0,77432394	0,57439964	-	1,5862972	0,8841041
T4	Gompertz	15,40857898	0,38553889	0,01427861	2,1795986	0,7639058
	Logístico	14,43105495	2,82193405	0,02169480	2,1533672	0,7703997
	Power	1,19386085	0,47533013	-	2,2227851	0,751748

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*; Inadequado = Estimativas do parâmetro inadequadas para o modelo.

Tabela 4 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2), erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de correlação entre a altura da parte aérea (H) observada e estimada ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de amendoim-bravo (*Pterogyne nitens*); y = H (em cm) e x = idade (em dias)

Amendoim-bravo (<i>Pterogyne nitens</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$	$r_{\hat{y}y}$
T1	Gompertz	14,55842955	0,26094017	0,00909754	1,1441196	0,8558715
	Logístico	12,95398382	2,15631626	0,01467597	1,1411579	0,8566791
	Power	1,20526287	0,42957722	-	1,1572096	0,8516176
T2	Gompertz	9,41746872	-0,39059853	0,01310286	1,0414578	0,6735325
	Logístico	9,24097089	0,89189681	0,01620086	1,0406277	0,6741785
	Power	2,75208069	0,22646831	-	1,042964	0,6707057
T3	Gompertz	16,99452263	0,12188657	0,00347433	1,1322521	0,6545123
	Logístico	33,45335397	4,89992634	0,00363218	1,1306553	0,6557419
	Power	2,66546536	0,23345528	-	1,1451358	0,6426013
T4	Gompertz	8,42389220	-0,59252980	0,01519100	1,0372938	0,5757362
	Logístico	8,33925834	0,69815346	0,01796278	1,0356225	0,5776025
	Power	3,24862239	0,17891597	-	1,0438147	0,5659502

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*; Inadequado = Estimativas do parâmetro inadequadas para o modelo.

Tabela 5 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2), erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de correlação entre o diâmetro do coleto (DC) observado e estimado ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia*); y = DC (em mm) e x = idade (em dias)

Aroeira-pimenteira (<i>Schinus terebinthifolia</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$	$r_{\hat{y}y}$
T1	Gompertz	8,21413804	0,90646970	0,01407621	0,5399	0,9303
	Logístico	6,66722645	6,81349053	0,02666926	0,5399	0,9303
	Power	0,08768278	0,85199618	-	0,5395	0,9301
T2	Gompertz	5,27380522	0,46315901	0,03094152	0,6507	0,7871
	Logístico	5,21319120	2,59628952	0,03767536	0,6529	0,7855
	Power	0,80328060	0,38925336	-	0,6649	0,7751
T3	Gompertz	6,89208146	0,51059132	0,02022616	0,6896	0,8632
	Logístico	6,56666565	3,18056505	0,02861250	0,6898	0,8632
	Power	0,47874367	0,52752546	-	0,6945	0,8604
T4	Gompertz	6,30592830	0,69712335	0,02164720	0,8015	0,8298
	Logístico	5,92989129	4,51572216	0,03264207	0,7947	0,8330
	Power	0,30188152	0,60461918	-	0,8166	0,8217

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*; Inadequado = Estimativas do parâmetro inadequadas para o modelo.

Tabela 6 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2), erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de correlação entre o diâmetro do coleto (DC) observado e estimado ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de araçá-do-campo (*Psidium guineense*); y = DC (em mm) e x = idade (em dias)

Araçá-do-campo (<i>Psidium guineense</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$	$r_{\hat{y}y}$
T1	Gompertz	7,01508013	1,36224137	0,01365238	0,5006	0,9455
	Logístico	5,29507952	19,59206394	0,02935349	0,4943	0,9472
	Power	0,00737510	1,26681551	-	0,5103	0,9431
T2	Gompertz	8,08548745	1,34462556	0,01212130	0,4772	0,9524
	Logístico	5,77641343	18,62824700	0,02705662	0,4756	0,9528
	Power	0,00654419	1,29533757	-	0,4821	0,9512
T3	Gompertz	6,51018344	1,43233690	0,01498251	0,5158	0,9425
	Logístico	5,05179704	23,55500723	0,03189220	0,5044	0,9451
	Power	0,00632865	1,29438294	-	0,5306	0,9388
T4	Gompertz	4,74381268	1,60161486	0,01828617	0,4307	0,9427
	Logístico	3,89072079	35,38411721	0,03797133	0,4093	0,9484
	Power	0,00469195	1,31498306	-	0,4591	0,9343

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*; Inadequado = Estimativas do parâmetro inadequadas para o modelo.

Tabela 7 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2), erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de correlação entre o diâmetro do coleto (DC) observado e estimado ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de saguaraji (*Colubrina glandulosa*); y = DC (em mm) e x = idade (em dias)

Saguaraji (<i>Colubrina glandulosa</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$	$r_{\hat{y}y}$
T1	Gompertz	5,36152929	1,44578071	0,02333724	0,6317	0,9222
	Logístico	4,98059539	19,38709165	0,03948478	0,6095	0,9277
	Power	0,04082174	0,94856878	-	0,7025	0,9024
T2	Gompertz	5,73109471	1,06164881	0,01938353	0,5685	0,9263
	Logístico	5,30341421	8,76356153	0,03117715	0,5640	0,9275
	Power	0,08749978	0,80434314	-	0,5979	0,9178
T3	Gompertz	6,48228047	0,91681734	0,01814173	0,5251	0,9425
	Logístico	6,01000145	6,59661891	0,02847811	0,5271	0,9421
	Power	0,13718787	0,73794182	-	0,5444	0,9378
T4	Gompertz	5,24478786	1,08616167	0,02541266	0,5091	0,9325
	Logístico	5,06666025	8,00690904	0,03667522	0,5105	0,9321
	Power	0,17175492	0,67324172	-	0,5751	0,9125

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*; Inadequado = Estimativas do parâmetro inadequadas para o modelo.

Tabela 8 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2), erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de correlação entre o diâmetro do coleto (DC) observado e estimado ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de amendoim-bravo (*Pterogyne nitens*); y = DC (em mm) e x = idade (em dias)

Amendoim-bravo (<i>Pterogyne nitens</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$	$r_{\hat{y}y}$
T1	Gompertz	6,86137989	0,56980602	0,00484521	0,3179	0,8677
	Logístico	4,79819518	3,02518948	0,01032866	0,3178	0,8678
	Power	0,28083141	0,46462577	-	0,3259	0,8598
T2	Gompertz	6,19444370	0,47296255	0,00384765	0,3176	0,7831
	Logístico	4,25576975	2,39889286	0,00829776	0,3176	0,7832
	Power	0,40354225	0,36244560	-	0,3242	0,7716
T3	Gompertz	4,31571547	0,41768679	0,00866866	0,2866	0,8950
	Logístico	3,69424387	2,73767951	0,01489688	0,2860	0,8955
	Power	0,23013780	0,50086047	-	0,2902	0,8917
T4	Gompertz	5,49970566	0,54243656	0,00530647	0,3000	0,8524
	Logístico	4,12815425	3,06968519	0,01056302	0,3003	0,8521
	Power	0,23150630	0,47491157	-	0,3031	0,8483

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*; Inadequado = Estimativas do parâmetro inadequadas para o modelo.

Tabela 9 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2), erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de correlação entre a massa seca da parte aérea (MSPA) observada e estimada ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia*); y = MSPA (em g) e x = idade (em dias)

Aroeira-pimenteira (<i>Schinus terebinthifolia</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$	$r_{\hat{y}y}$
T1	Gompertz	5,22172170	1,90119431	0,02027464	0,3663	0,9485
	Logístico	3,60374808	84,81141269	0,04964650	0,3647	0,9490
	Power	0,00034411	1,88478096	-	0,3726	0,9464
T2	Gompertz	2,58026687	1,36462923	0,02984003	0,4179	0,8471
	Logístico	2,43964355	13,77762101	0,04626055	0,4186	0,8466
	Power	0,03529505	0,87701185	-	0,4361	0,8312
T3	Gompertz	25,10372732	1,50803332	0,00679743	0,5812	0,8922
	Logístico	9,73513703	25,52343993	0,02189140	0,5822	0,8918
	Power	0,00391086	1,41440831	-	0,5846	0,8903
T4	Gompertz	4,24184003	1,28820282	0,01534333	0,4929	0,8408
	Logístico	3,12037016	16,06121389	0,03322553	0,4932	0,8406
	Power	0,00675642	1,22441297	-	0,4919	0,8406

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*; Inadequado = Estimativas do parâmetro inadequadas para o modelo.

Tabela 10 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2), erro-padrão residual ($S_{y..x}$) e coeficiente de correlação entre a massa seca da parte aérea (MSPA) observada e estimada ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de araçá-do-campo (*Psidium guineense*); y = MSPA (em g) e x = idade (em dias)

Araçá-do-campo (<i>Psidium guineense</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y..x}$	$r_{\hat{y}y}$
T1	Gompertz	5,69566731	2,35022912	0,02053491	0,5980	0,9245
	Logístico	4,44883177	177,73824604	0,04393514	0,5987	0,9243
	Power	0,00005912	2,18850181	-	0,6180	0,9188
T2	Gompertz	6,99089052	2,37898077	0,01860174	0,6363	0,9242
	Logístico	4,86215193	264,32150924	0,04474974	0,6337	0,9253
	Power	0,00001580	2,45581077	-	0,6492	0,9207
T3	Gompertz	5,44760678	2,93145065	0,02579951	0,5968	0,9352
	Logístico	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado
	Power	0,00001607	2,45373526	-	0,6320	0,9267
T4	Gompertz	2,46326917	3,92615956	0,04122751	0,4462	0,9036
	Logístico	2,35371008	910,63106446	0,06498750	0,4450	0,9042
	Power	0,00007058	2,05826498	-	0,4976	0,8780

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*; Inadequado = Estimativas do parâmetro inadequadas para o modelo.

Tabela 11 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2), erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de correlação entre a massa seca da parte aérea (MSPA) observada e estimada ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de saguaraji (*Colubrina glandulosa*); y = MSPA (em g) e x = idade (em dias)

Saguaraji (<i>Colubrina glandulosa</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$	$r_{\hat{y}y}$
T1	Gompertz	1,59359680	2,27115119	0,02704262	0,3020	0,8654
	Logístico	1,45007065	79,57291278	0,04660342	0,3028	0,8647
	Power	0,00065656	1,52003706	-	0,3146	0,8523
T2	Gompertz	2,16173749	1,64932692	0,01783615	0,2639	0,9040
	Logístico	1,79939900	31,94332300	0,03443778	0,2658	0,9025
	Power	0,00117872	1,42668048	-	0,2680	0,9003
T3	Gompertz	3,19071588	1,62018295	0,01597102	0,2600	0,9444
	Logístico	2,50055430	33,27669586	0,03314275	0,2609	0,9440
	Power	0,00114484	1,48943580	-	0,2654	0,9418
T4	Gompertz	1,79708030	2,23280949	0,03141802	0,3301	0,8759
	Logístico	1,71017818	84,46041117	0,05363585	0,3178	0,8855
	Power	0,00490879	1,15969676	-	0,3695	0,8408

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*; Inadequado = Estimativas do parâmetro inadequadas para o modelo.

Tabela 12 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2), erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de correlação entre a massa seca da parte aérea (MSPA) observada e estimada ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de Amendoim-bravo (*Pterogyne nitens*); y = MSPA (em g) e x = idade (em dias)

Amendoim-bravo (<i>Pterogyne nitens</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$	$r_{\hat{y}y}$
T1	Gompertz	1,12604814	1,25014707	0,02177825	0,2036	0,8222
	Logístico	1,04923437	13,73575434	0,03647870	0,1993	0,8303
	Power	0,01418818	0,84661776	-	0,2125	0,8033
T2	Gompertz	0,63793766	0,71348514	0,02246838	0,1451	0,6759
	Logístico	0,61732114	4,50864563	0,03183251	0,1446	0,6791
	Power	0,04271849	0,52803647	-	0,1474	0,6615
T3	Gompertz	1,00208886	1,37522913	0,02168606	0,1727	0,8407
	Logístico	0,91708887	19,88477089	0,03897541	0,1670	0,8519
	Power	0,00798591	0,93308750	-	0,1818	0,8208
T4	Gompertz	0,93415505	0,79109261	0,01152223	0,1322	0,7791
	Logístico	0,76573898	5,77508699	0,02219421	0,1311	0,7835
	Power	0,01498955	0,74526862	-	0,1336	0,7731

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*; Inadequado = Estimativas do parâmetro inadequadas para o modelo.

Tabela 13 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2), erro-padrão residual ($S_{y..x}$) e coeficiente de correlação entre a massa seca de raízes (MSR) observada e estimada ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia*); y = MSR (em g) e x = idade (em dias)

Aroeira-pimenteira (<i>Schinus terebinthifolia</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y..x}$	$r_{\hat{y}y}$
T1	Gompertz	22,21952668	1,90249620	0,00914029	0,4445	0,9072
	Logístico	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado
	Power	0,00002538	2,39062709	-	0,4450	0,9064
T2	Gompertz	2,83462444	1,15947436	0,02308085	0,5188	0,7824
	Logístico	2,59055074	10,18484875	0,03754562	0,5200	0,7812
	Power	0,03089429	0,90374683	-	0,5221	0,7779
T3	Gompertz	7,15540451	1,40651146	0,01203416	0,7169	0,7928
	Logístico	4,17816058	21,31612294	0,03097909	0,7178	0,7921
	Power	0,00285154	1,43281812	-	0,7145	0,7931
T4	Gompertz	2,30837056	1,44868020	0,02705285	0,4810	0,7826
	Logístico	2,11475620	18,25545432	0,04552868	0,4810	0,7826
	Power	0,01483188	1,02096489	-	0,4894	0,7726

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*; Inadequado = Estimativas do parâmetro inadequadas para o modelo.

Tabela 14 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2), erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de correlação entre a massa seca de raízes (MSR) observada e estimada ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de araçá-do-campo (*Psidium guineense*); y = MSR (em g) e x = idade (em dias)

Araçá-do-campo (<i>Psidium guineense</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$	$r_{\hat{y}y}$
T1	Gompertz	22,90875205	2,18981102	0,00927083	0,4261	0,9362
	Logístico	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado
	Power	0,00000031	3,16794016	-	0,4254	0,9362
T2	Gompertz	17,04547851	2,03008310	0,00902144	0,4322	0,9250
	Logístico	4,78255646	168,05068952	0,03434104	0,4327	0,9248
	Power	0,00000298	2,71120004	-	0,4313	0,9250
T3	Gompertz	21,07330184	2,36217879	0,01072813	0,3932	0,9472
	Logístico	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado
	Power	0,00000008	3,45009286	-	0,3925	0,9471
T4	Gompertz	7,47538742	2,38628811	0,01377704	0,3295	0,9341
	Logístico	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado	Inadequado
	Power	0,00000021	3,18958574	-	0,3306	0,9334

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*; Inadequado = Estimativas do parâmetro inadequadas para o modelo.

Tabela 15 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2), erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de correlação entre a massa seca de raízes (MSR) observada e estimada ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de saguaraji (*Colubrina glandulosa*); y = MSR (em g) e x = idade (em dias)

Saguaraji (<i>Colubrina glandulosa</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$	$r_{\hat{y}y}$
T1	Gompertz	1,85272410	3,72699450	0,04188573	0,3716	0,8859
	Logístico	1,69040660	1130,14494222	0,07373495	0,3316	0,9018
	Power	0,00023004	1,77327029	-	0,4122	0,8568
T2	Gompertz	3,17887024	1,71222660	0,01509103	0,2950	0,9202
	Logístico	2,32811241	45,41950482	0,03376781	0,2960	0,9197
	Power	0,00040208	1,67367070	-	0,2970	0,9187
T3	Gompertz	5,43669031	1,75052160	0,01363883	0,2907	0,9619
	Logístico	3,68407006	51,47829785	0,03221756	0,2953	0,9607
	Power	0,00026953	1,82726065	-	0,2924	0,9613
T4	Gompertz	2,83606364	1,61582333	0,01758805	0,3382	0,9069
	Logístico	2,38182100	29,20484097	0,03341811	0,3426	0,9043
	Power	0,00170517	1,40737476	-	0,3421	0,9042

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*; Inadequado = Estimativas do parâmetro inadequadas para o modelo.

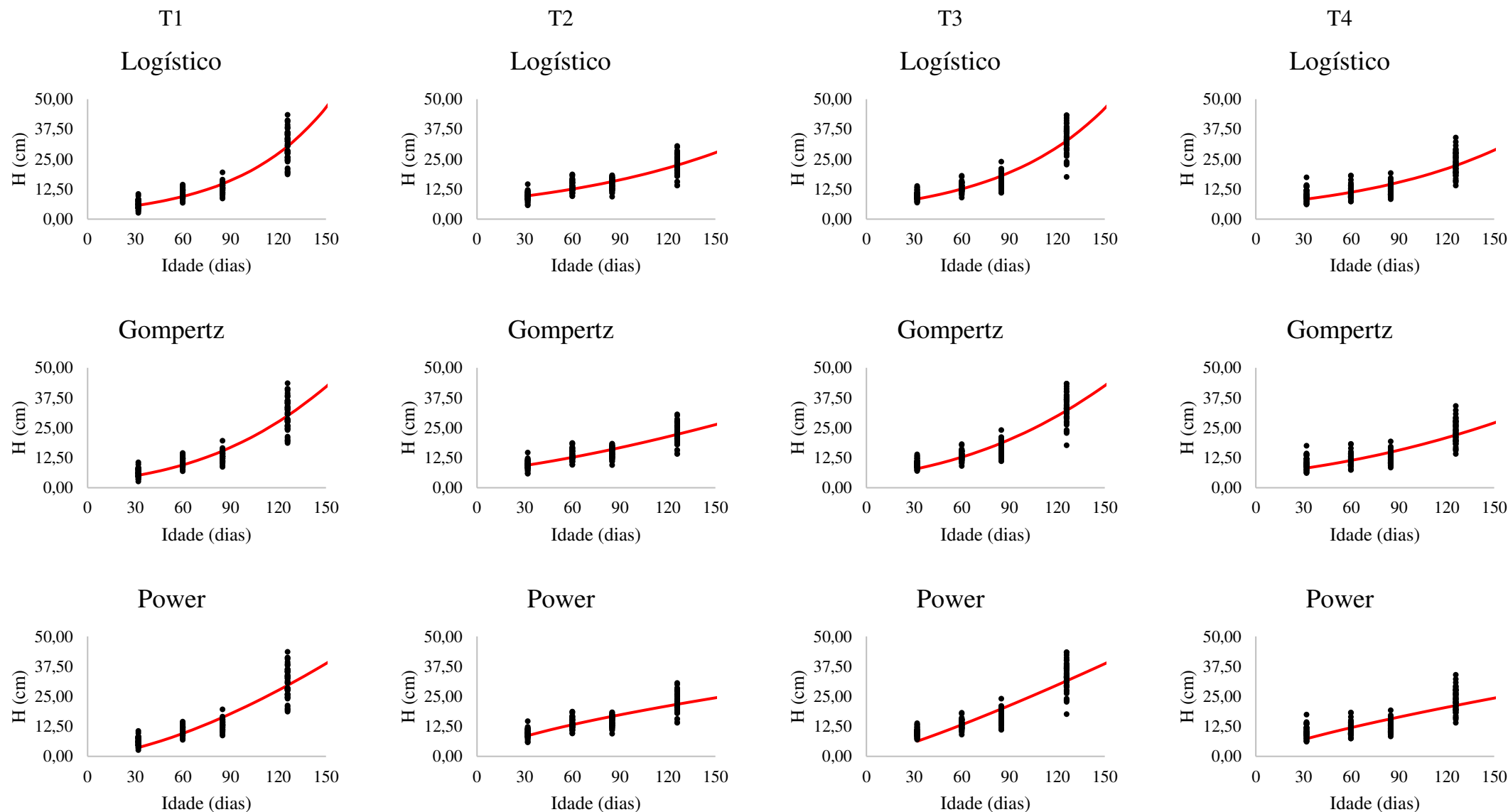
Tabela 16 - Estimativas dos parâmetros dos modelos ajustados (β_0 , β_1 e β_2), erro-padrão residual ($S_{y.x}$) e coeficiente de correlação entre a massa seca de raízes (MSR) observada e estimada ($r_{\hat{y}y}$) de mudas de amendoim-bravo (*Pterogyne nitens*); y = MSR (em g) e x = idade (em dias)

Amendoim-bravo (<i>Pterogyne nitens</i>)						
Tratamento	Modelo	β_0	β_1	β_2	$S_{y.x}$	$r_{\hat{y}y}$
T1	Gompertz	1,73215985	1,47306566	0,01156541	0,1844	0,8443
	Logístico	1,10132547	27,57151933	0,02897636	0,1836	0,8458
	Power	0,00047107	1,48334893	-	0,1848	0,8428
T2	Gompertz	1,23177463	1,25250313	0,01327257	0,1924	0,7973
	Logístico	0,98621407	14,11478543	0,02605283	0,1929	0,7960
	Power	0,00232324	1,15582534	-	0,1918	0,7977
T3	Gompertz	3,72143590	1,46778211	0,00632104	0,1548	0,8453
	Logístico	1,40217636	21,88519568	0,02048559	0,1550	0,8450
	Power	0,00057250	1,41613597	-	0,1551	0,8440
T4	Gompertz	0,87553757	1,57499042	0,01921581	0,1628	0,8239
	Logístico	0,75523707	26,63507347	0,03576078	0,1626	0,8249
	Power	0,00117940	1,26443000	-	0,1647	0,8184

FMA = Fungos micorrízicos arbusculares; T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *S. terebinthifolia* e *P. guineense*; Espécies de ritmo rápido de crescimento = *C. glandulosa* e *P. nitens*; Inadequado = Estimativas do parâmetro inadequadas para o modelo.

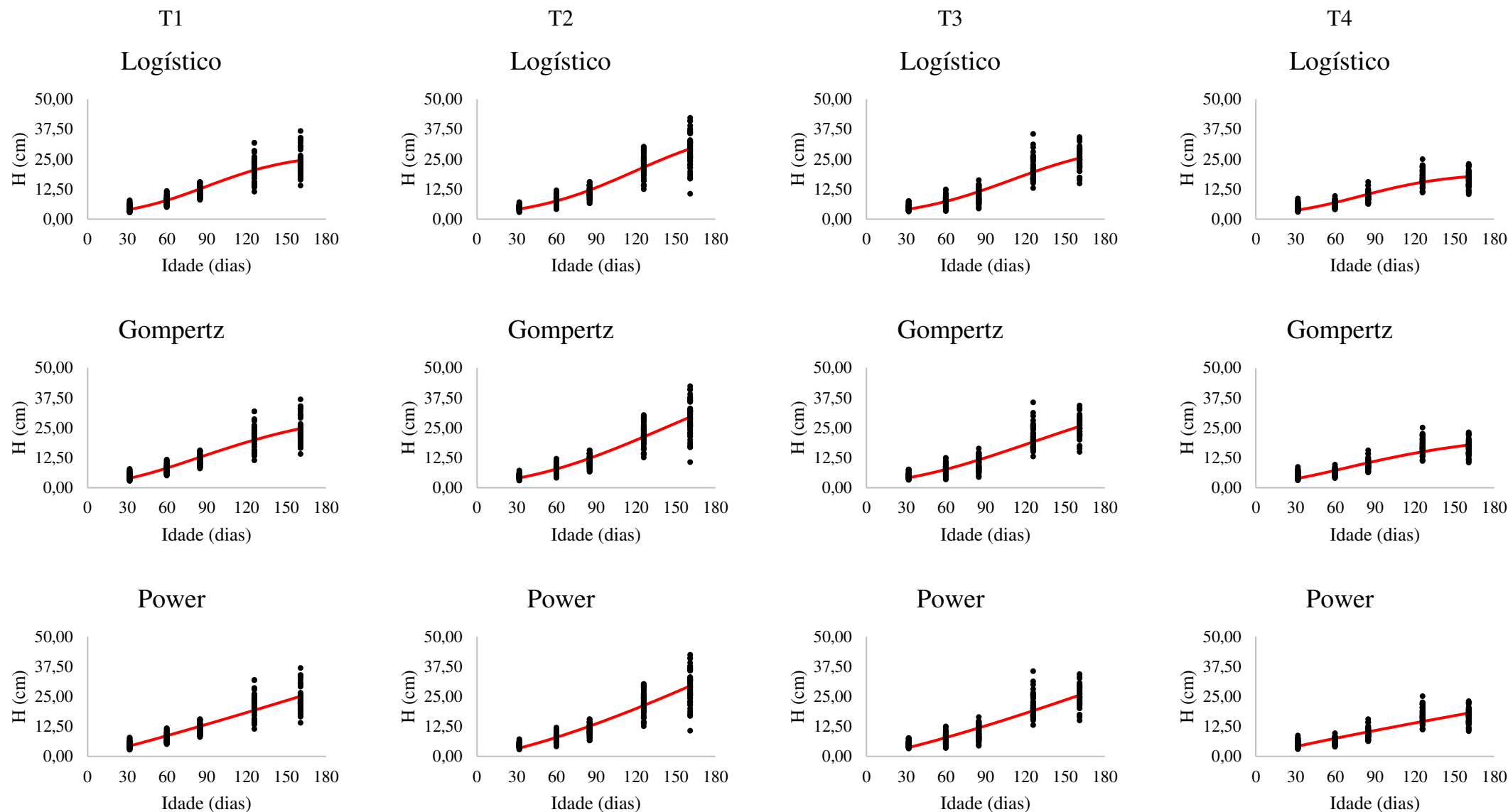
APÊNDICE C – CURVAS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO PARA AS VARIÁVEIS ALTURA DA PARTE AÉREA (H), DIÂMETRO DO COLETO (DC), MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA) E MASSA SECA DE RAÍZES (MSR) DE MUDAS DE AROEIRA-PIMENTEIRA (*Schinus terebinthifolia*), ARAÇÁ-DO-CAMPO (*Psidium guineense*), SAGUARAJI (*Colubrina glandulosa*) E AMENDOIM-BRAVO (*Pterogyne nitens*) EM RESPOSTA A SUBSTRATOS E INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA)

Figura 1 – Curvas de crescimento em altura da parte aérea (H) de mudas de *Schinus terebinthifolia* estimadas pelos modelos Logístico, Gompertz e Power



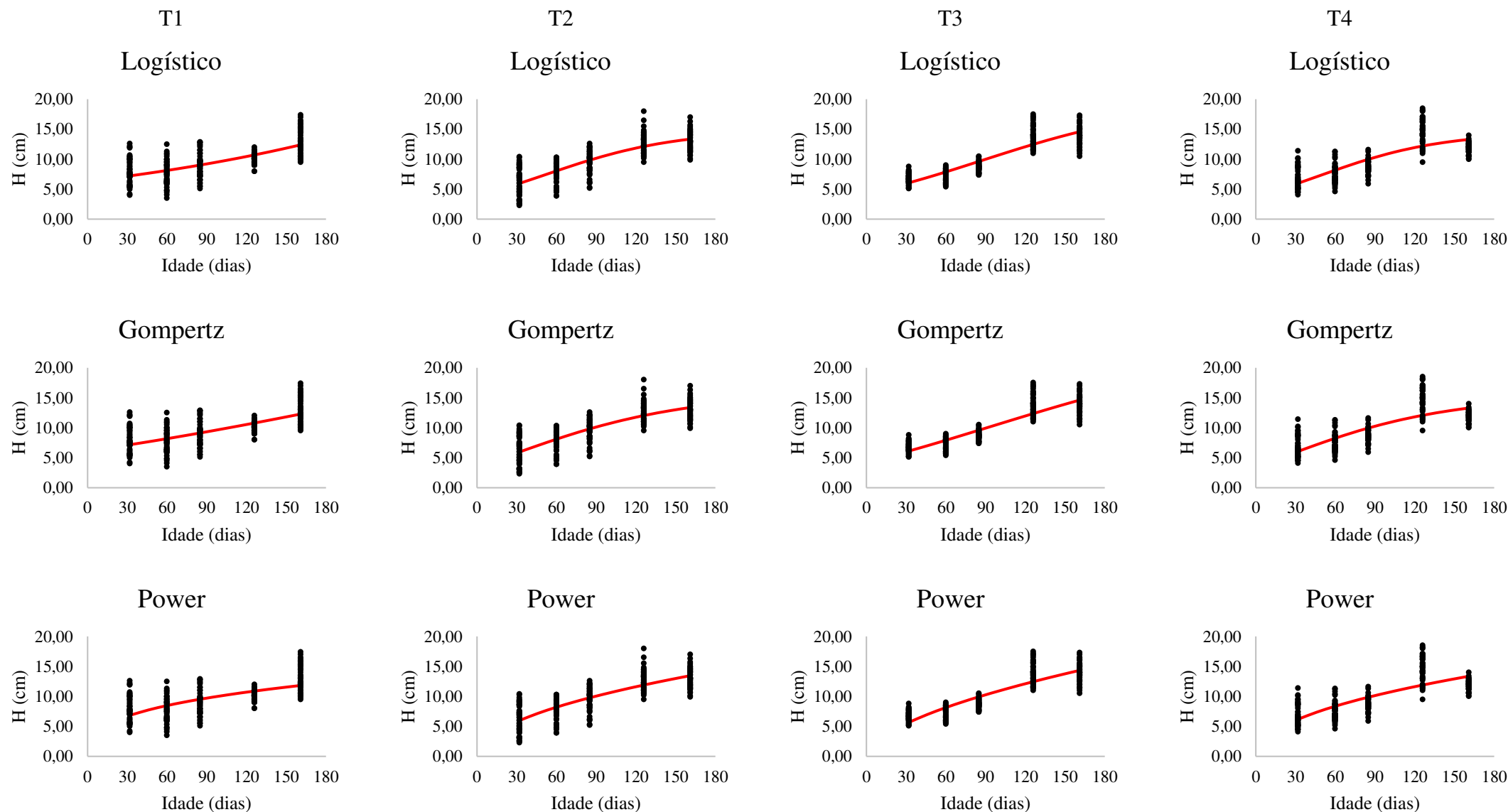
T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Subst. Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Subst. Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Subst. Ouro Verde inoculado com FMA.

Figura 2 – Curvas de crescimento em altura da parte aérea (H) de mudas de *Psidium guineense* estimadas pelos modelos Logístico, Gompertz e Power



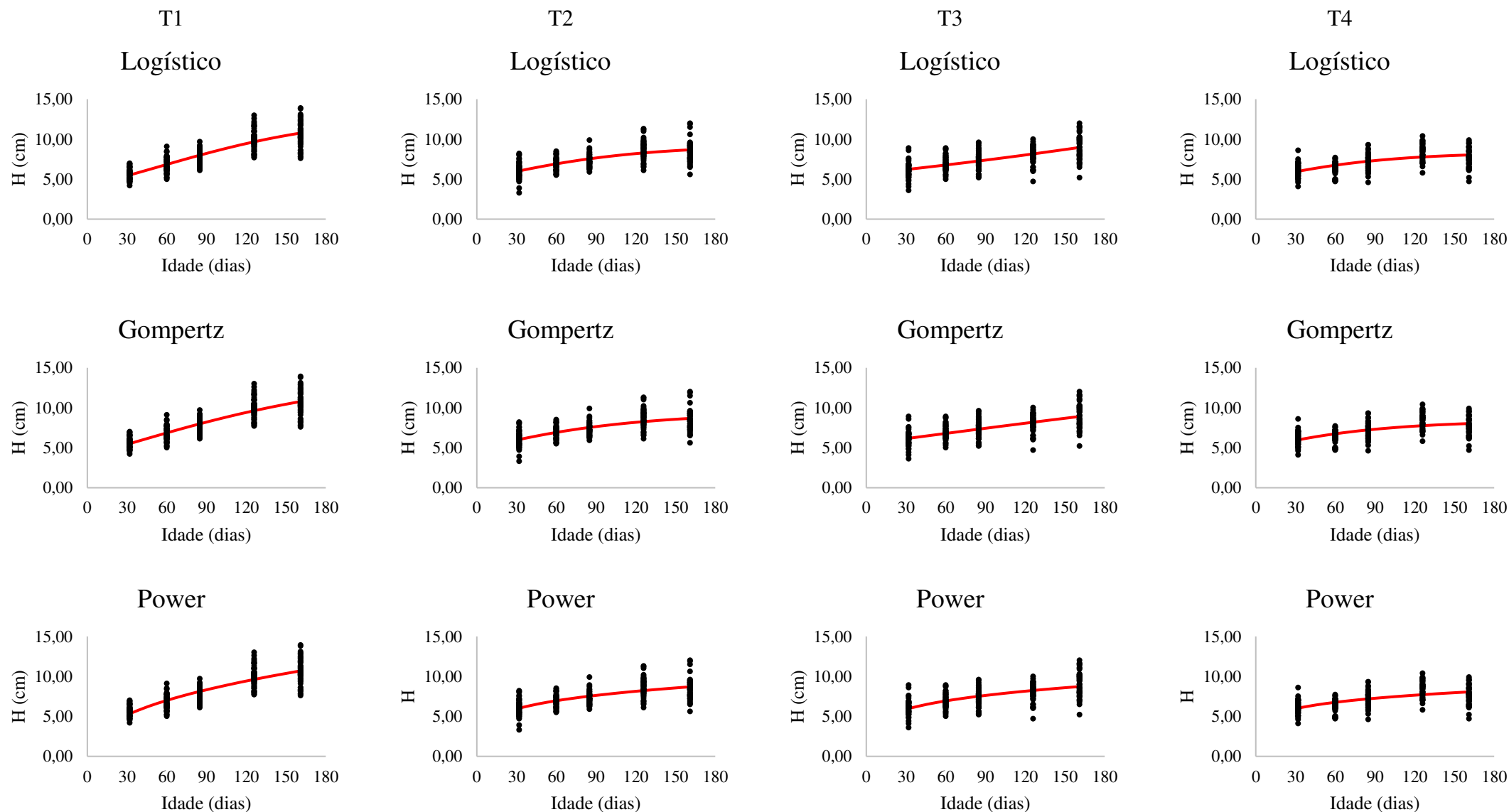
T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Subst. Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Subst. Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Subst. Ouro Verde inoculado com FMA.

Figura 3 – Curvas de crescimento em altura da parte aérea (H) de mudas de *Colubrina glandulosa* estimadas pelos modelos Logístico, Gompertz e Power



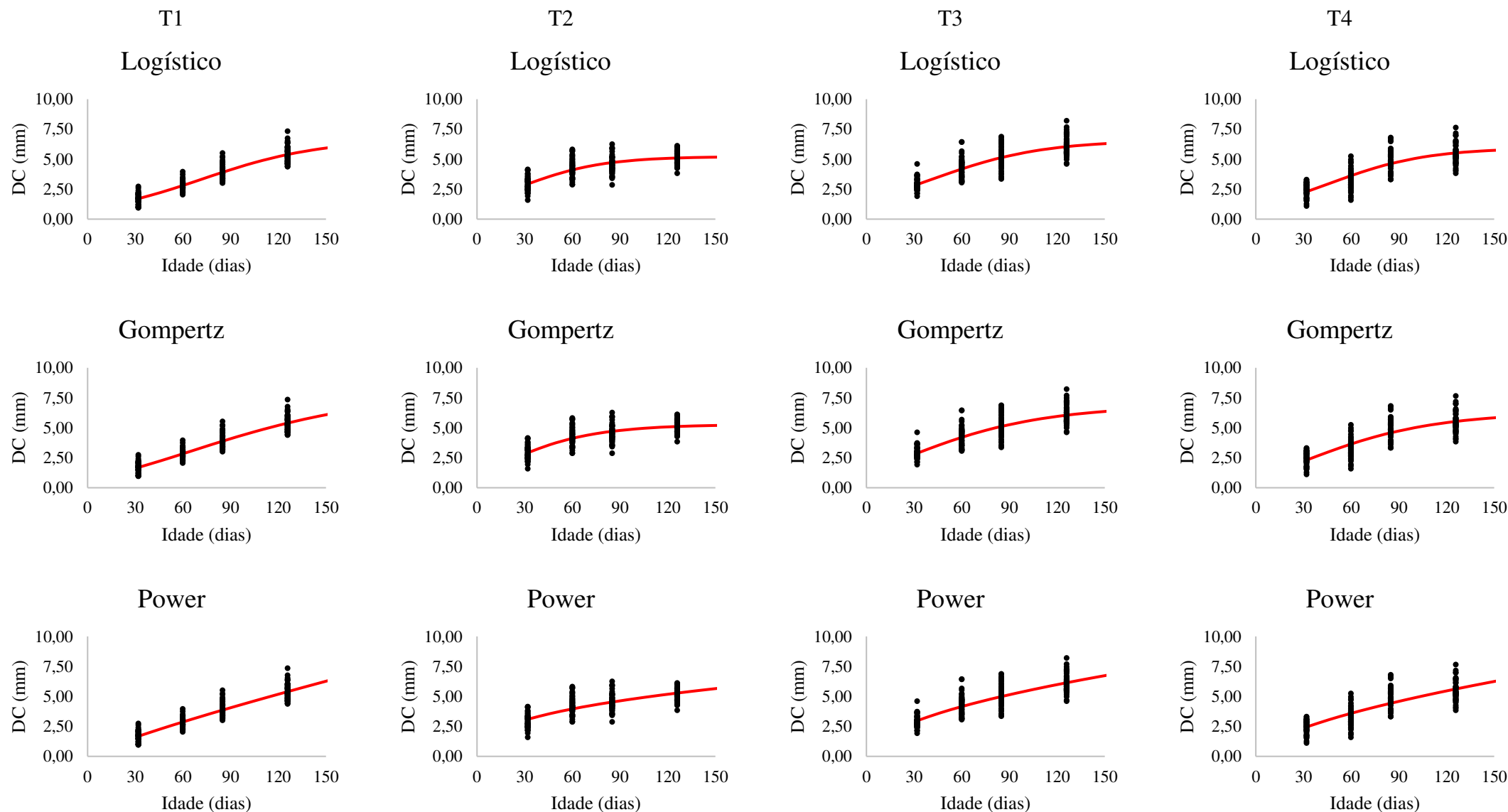
T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Subst. Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Subst. Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Subst. Ouro Verde inoculado com FMA.

Figura 4 – Curvas de crescimento em altura da parte aérea (H) de mudas de *Pterogyne nitens* estimadas pelos modelos Logístico, Gompertz e Power



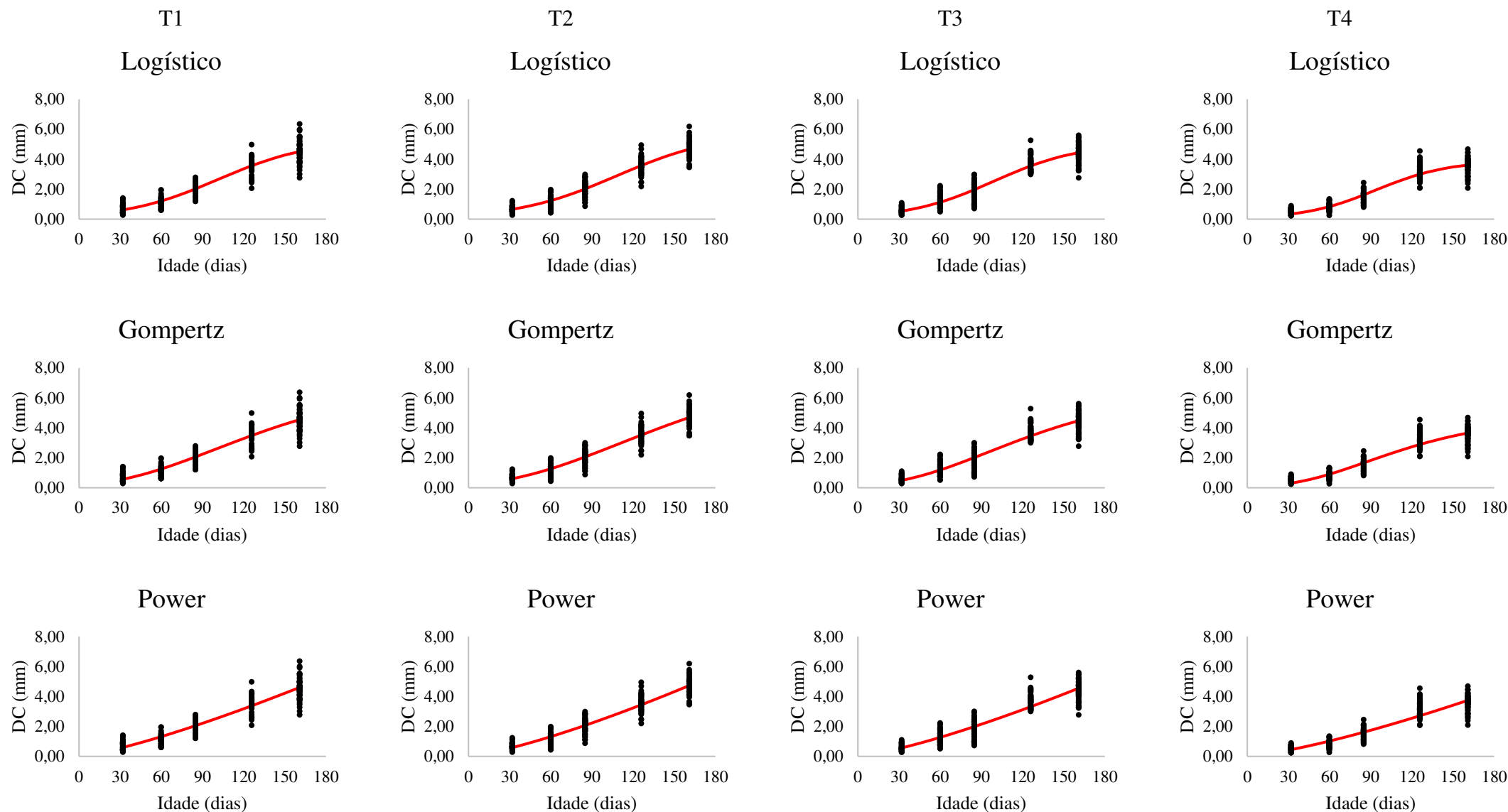
T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Subst. Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Subst. Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Subst. Ouro Verde inoculado com FMA.

Figura 5 – Curvas de crescimento em diâmetro do coleto (DC) de mudas de *Schinus terebinthifolia* estimadas pelos modelos Logístico, Gompertz e Power



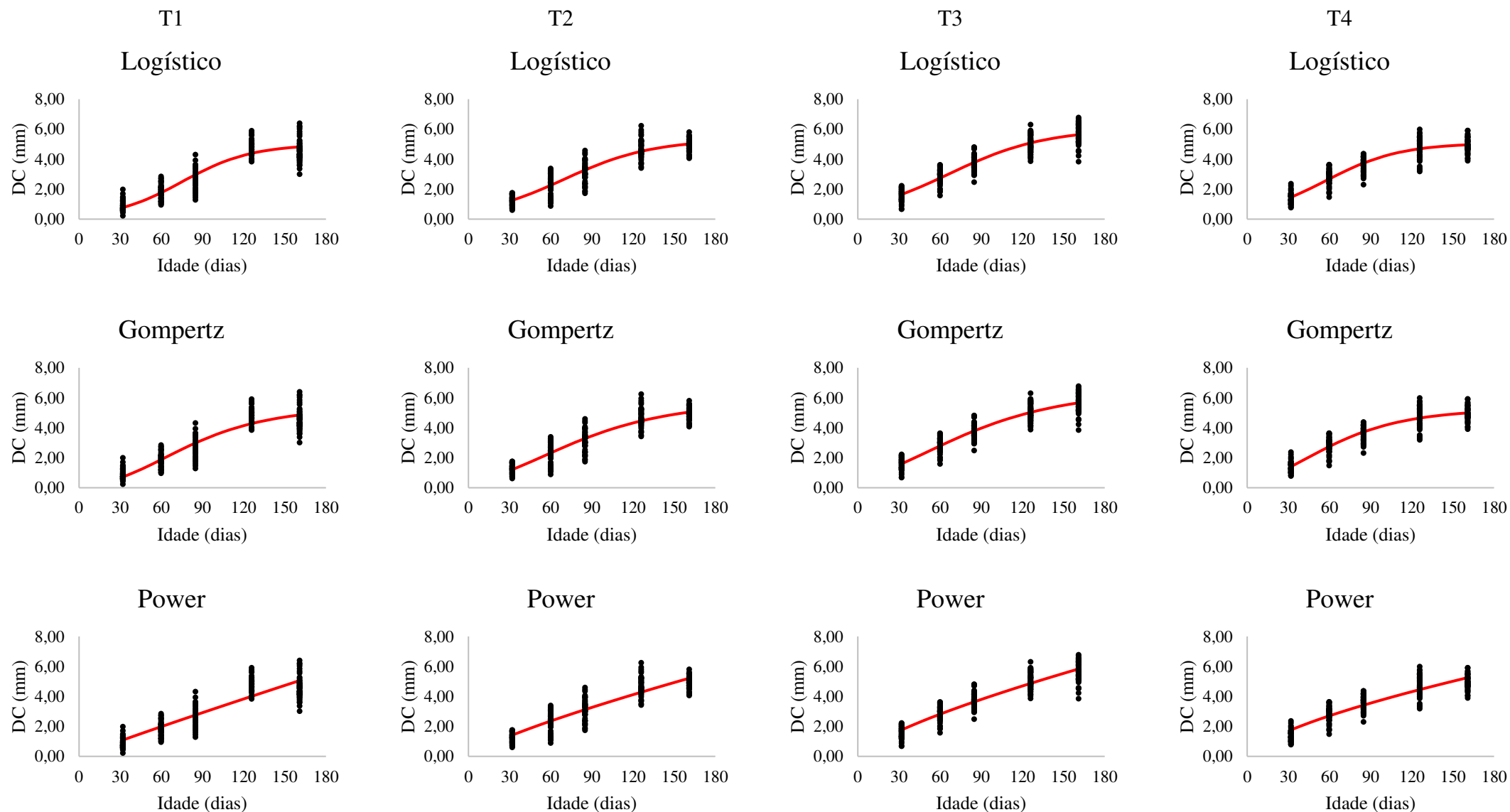
T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Subst. Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Subst. Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Subst. Ouro Verde inoculado com FMA.

Figura 6 – Curvas de crescimento em diâmetro do coleto (DC) de mudas de *Psidium guineense* estimadas pelos modelos Logístico, Gompertz e Power



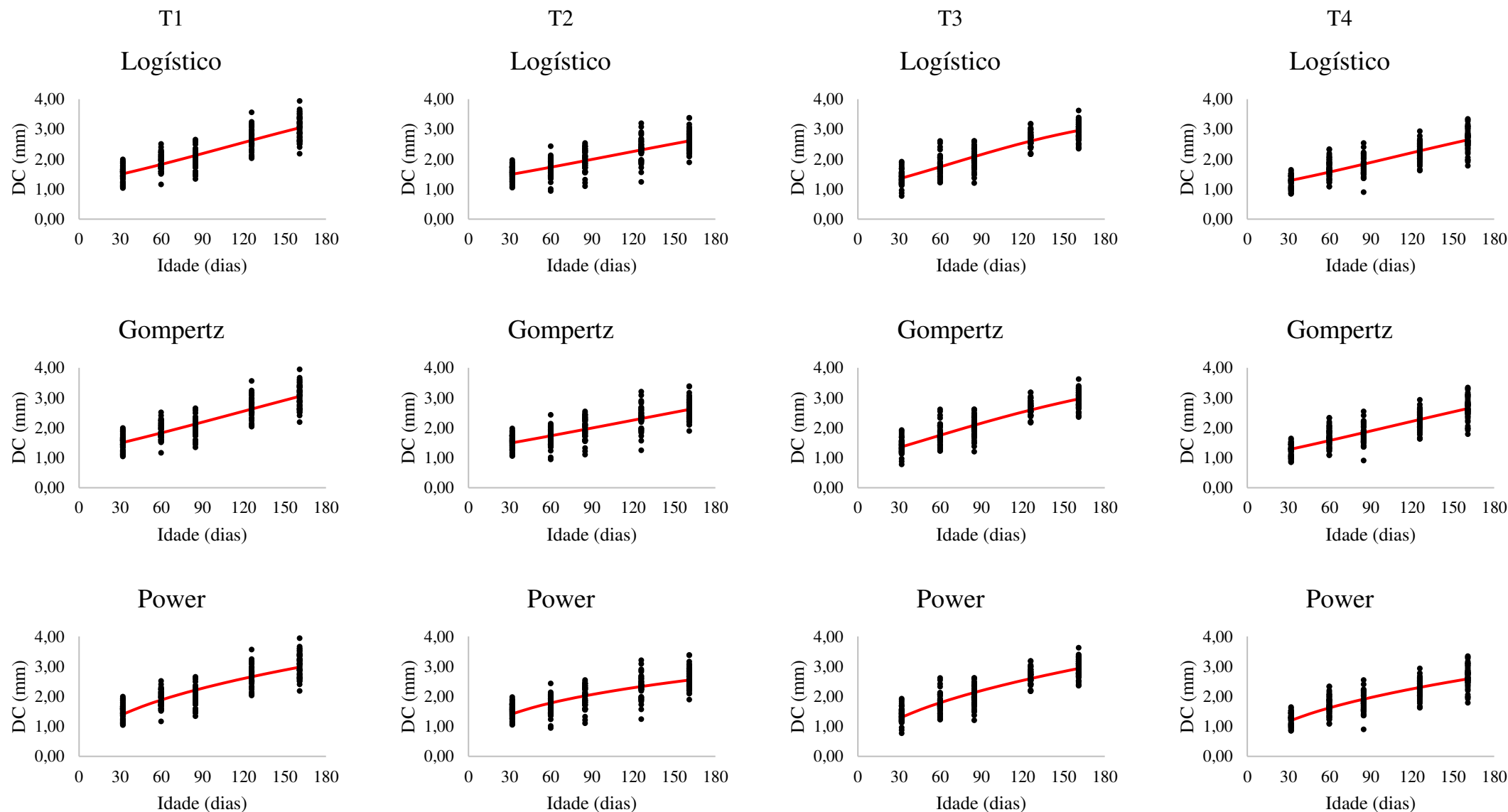
T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Subst. Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Subst. Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Subst. Ouro Verde inoculado com FMA.

Figura 7 – Curvas de crescimento em diâmetro do coleto (DC) de mudas de *Colubrina glandulosa* estimadas pelos modelos Logístico, Gompertz e Power



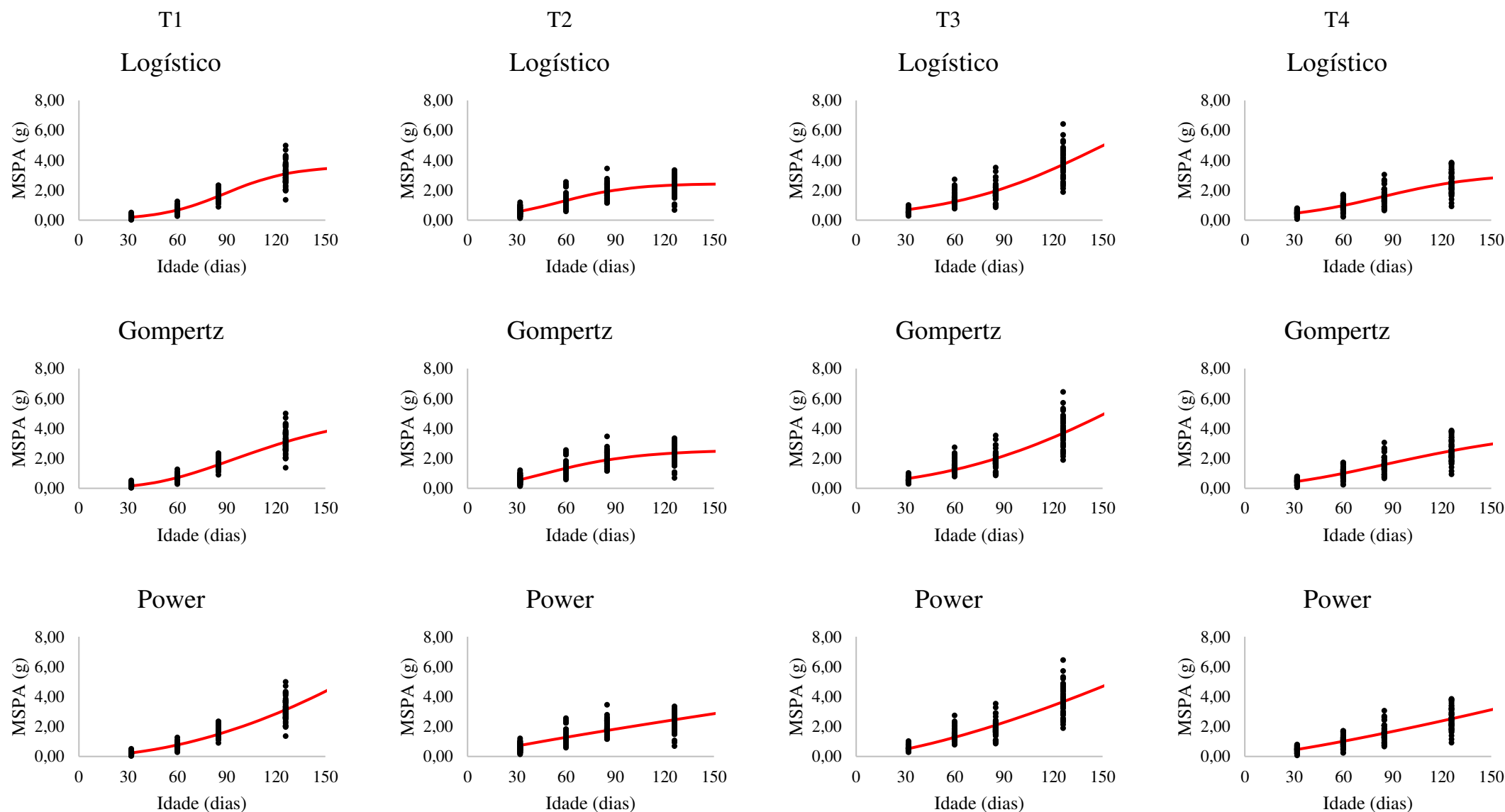
T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Subst. Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Subst. Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Subst. Ouro Verde inoculado com FMA.

Figura 8 – Curvas de crescimento em diâmetro do coleto (DC) de mudas de *Pterogyne nitens* estimadas pelos modelos Logístico, Gompertz e Power



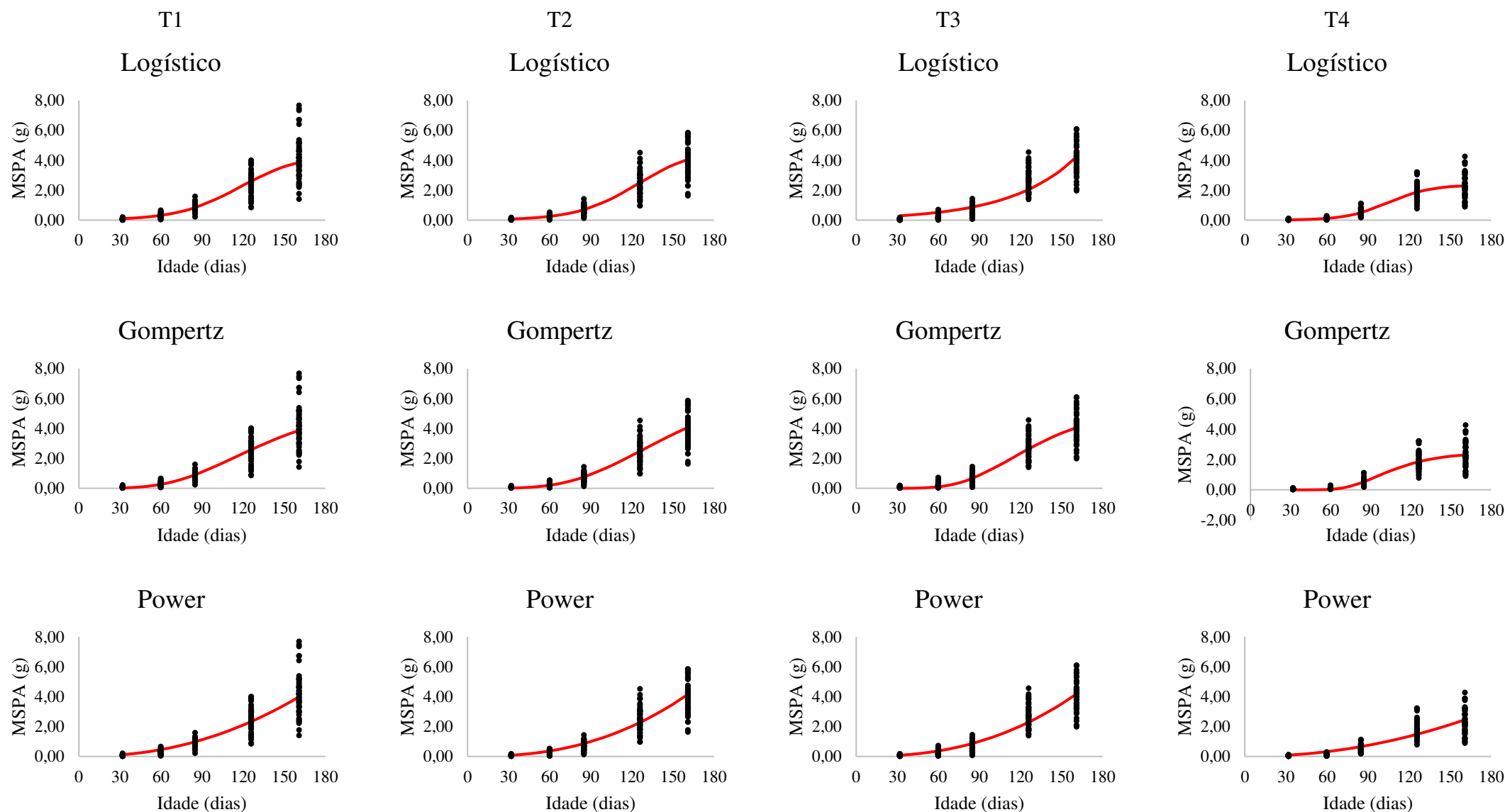
T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Subst. Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Subst. Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Subst. Ouro Verde inoculado com FMA.

Figura 9 – Curvas de produção de massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de *Schinus terebinthifolia* estimadas pelos modelos Logístico, Gompertz e Power



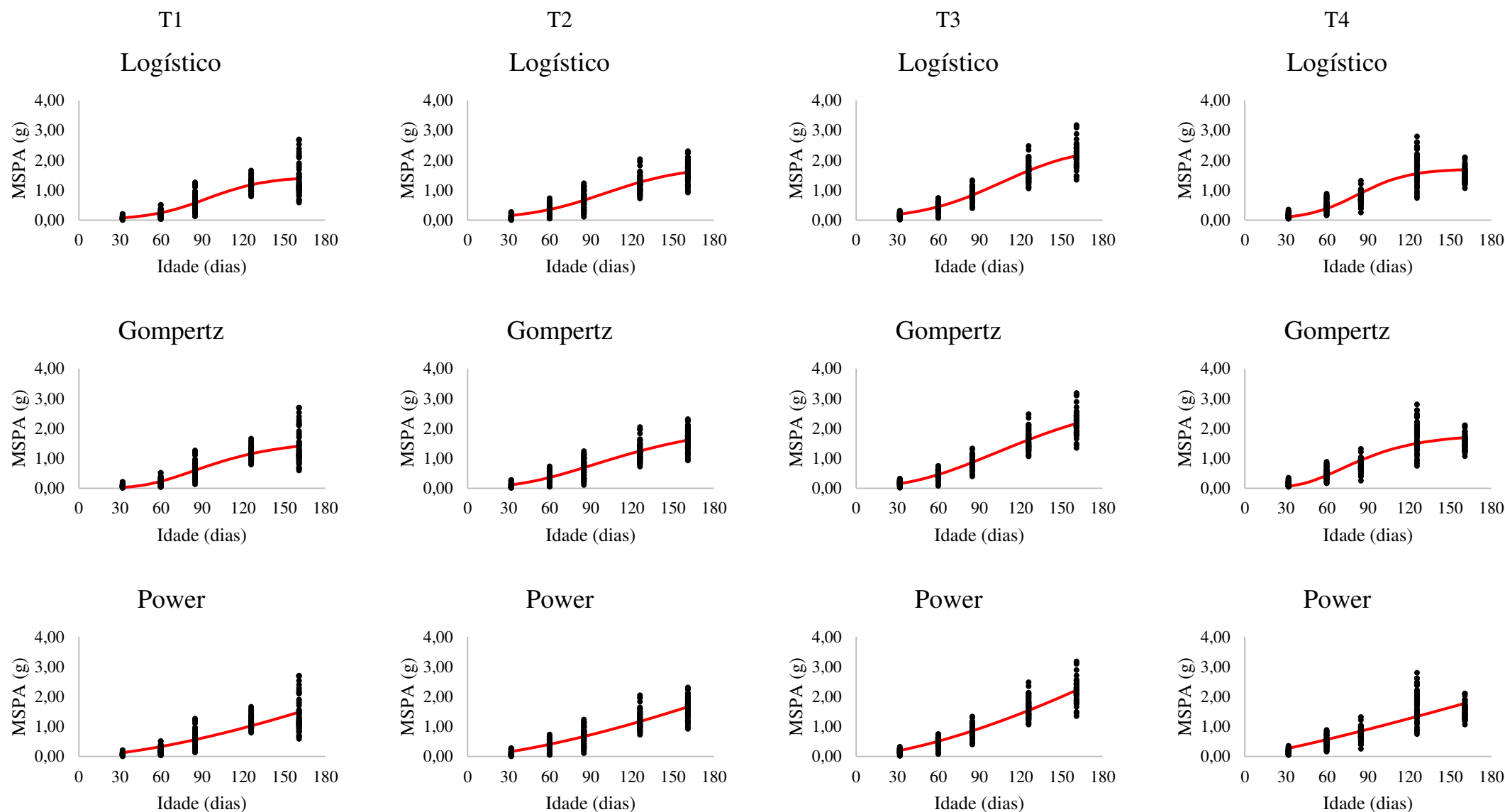
T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Subst. Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Subst. Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Subst. Ouro Verde inoculado com FMA.

Figura 10 – Curvas de produção de massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de *Psidium guineense* estimadas pelos modelos Logístico, Gompertz e Power



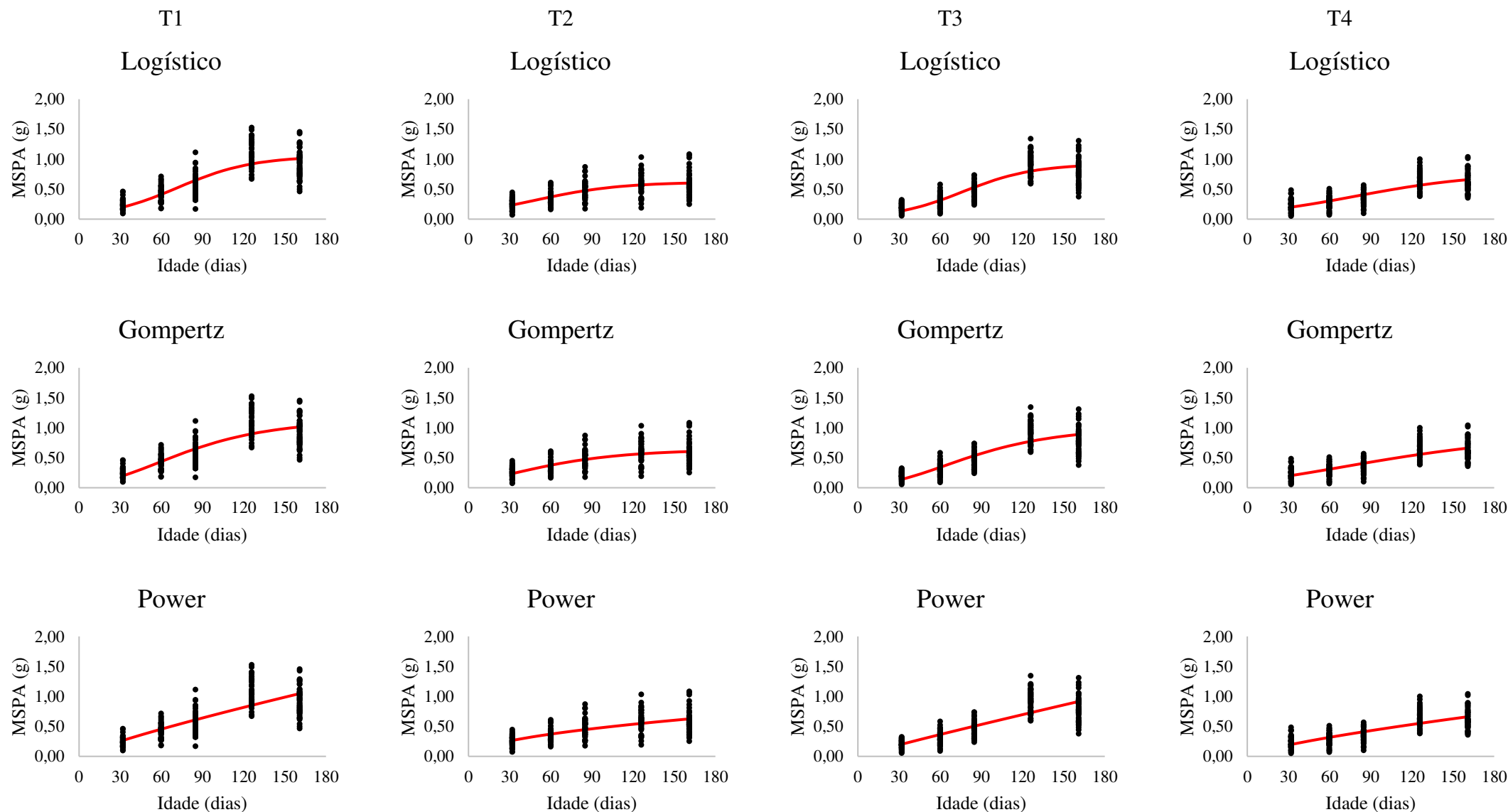
T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Subst. Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Subst. Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Subst. Ouro Verde inoculado com FMA.

Figura 11 – Curvas de produção de massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de *Colubrina glandulosa* estimadas pelos modelos Logístico, Gompertz e Power



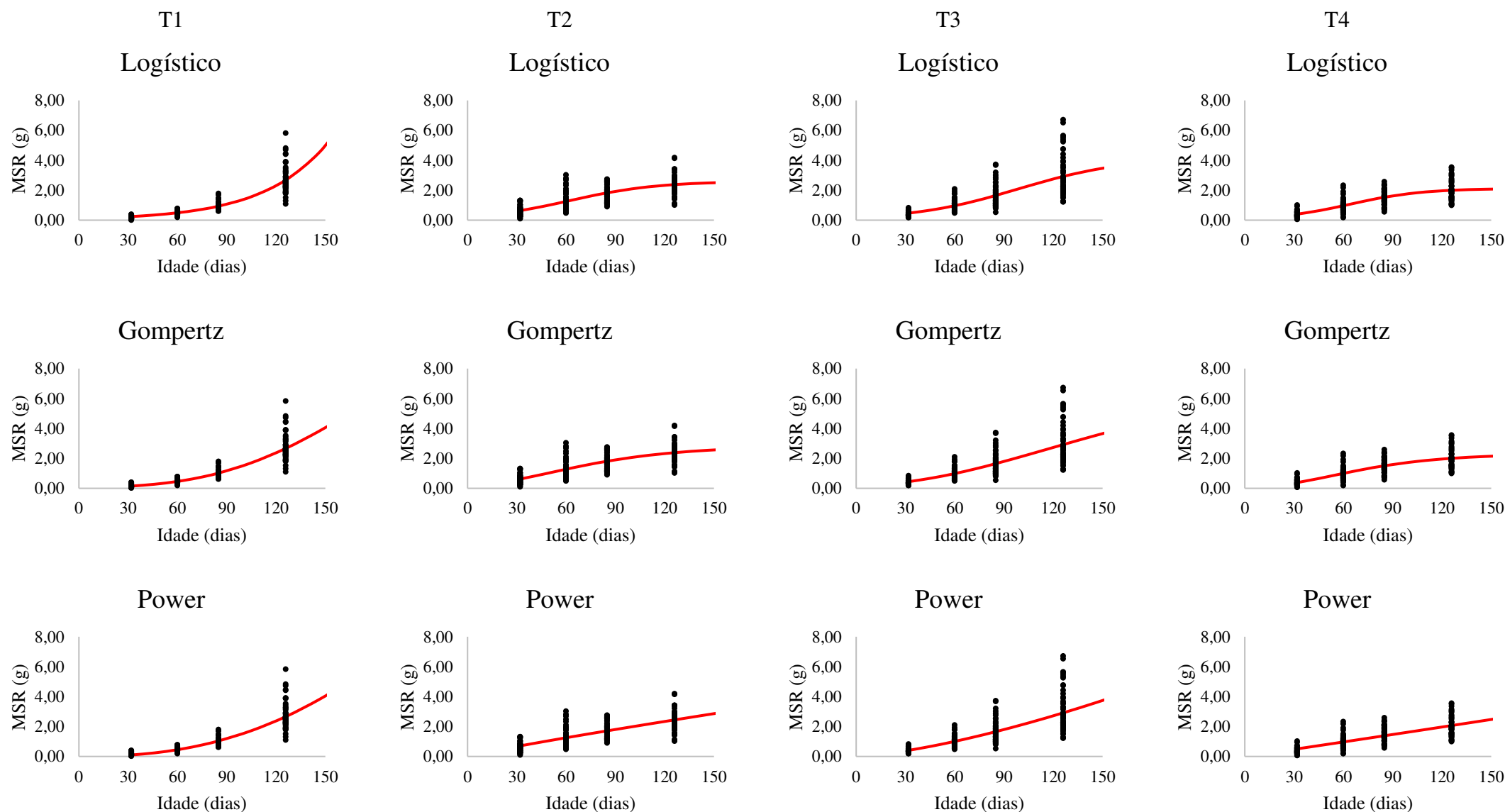
T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Subst. Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Subst. Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Subst. Ouro Verde inoculado com FMA.

Figura 12 – Curvas de produção de massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de *Pterogyne nitens* estimadas pelos modelos Logístico, Gompertz e Power



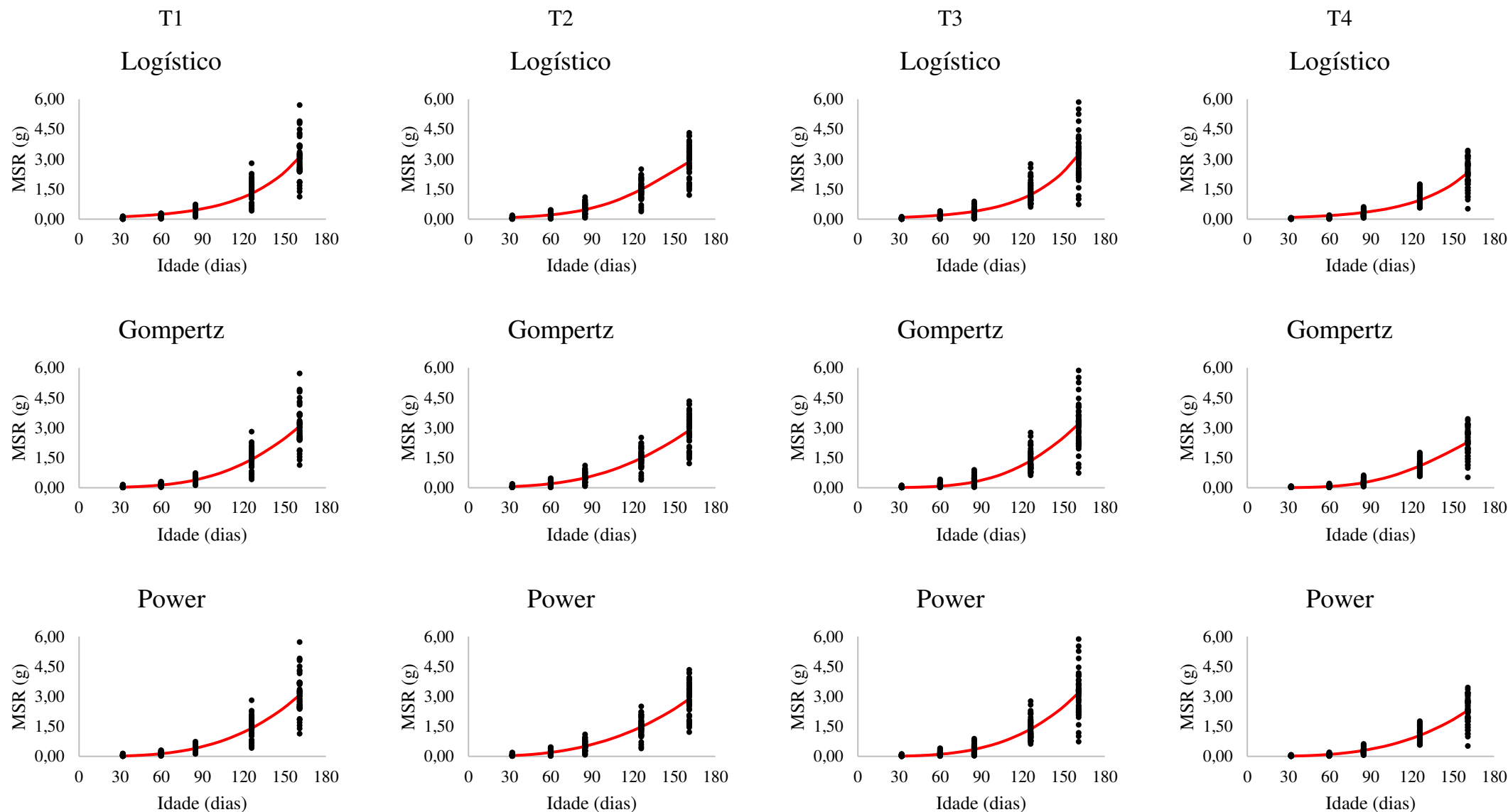
T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Subst. Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Subst. Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Subst. Ouro Verde inoculado com FMA.

Figura 13 – Curvas de produção de massa seca de raízes (MSR) de mudas de *Schinus terebinthifolia* estimadas pelos modelos Logístico, Gompertz e Power



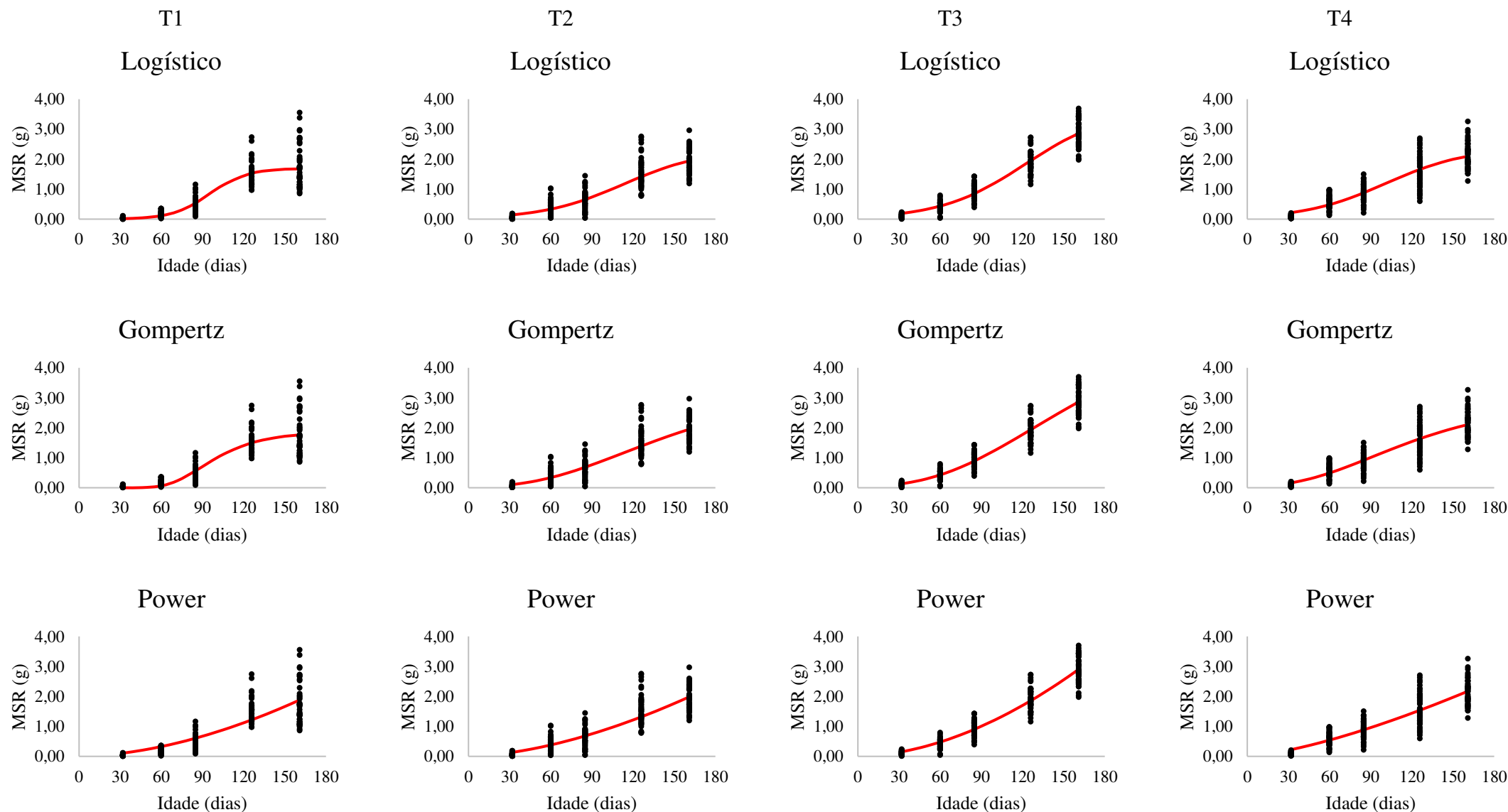
T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Subst. Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Subst. Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Subst. Ouro Verde inoculado com FMA.

Figura 14 – Curvas de produção de massa seca de raízes (MSR) de mudas de *Psidium guineense* estimadas pelos modelos Logístico, Gompertz e Power



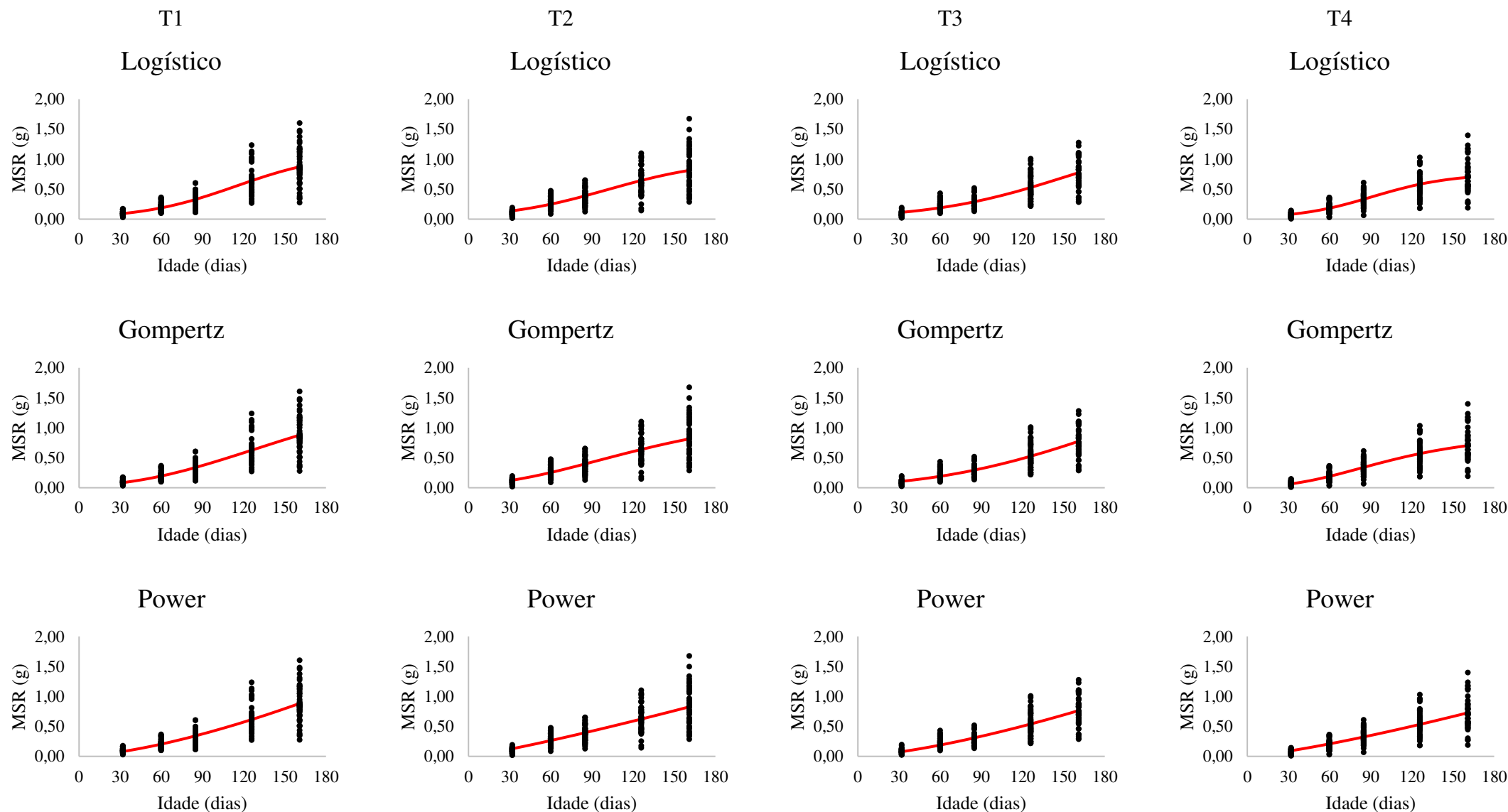
T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Subst. Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Subst. Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Subst. Ouro Verde inoculado com FMA.

Figura 15 – Curvas de produção de massa seca de raízes (MSR) de mudas de *Colubrina glandulosa* estimadas pelos modelos Logístico, Gompertz e Power



T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Subst. Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Subst. Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Subst. Ouro Verde inoculado com FMA.

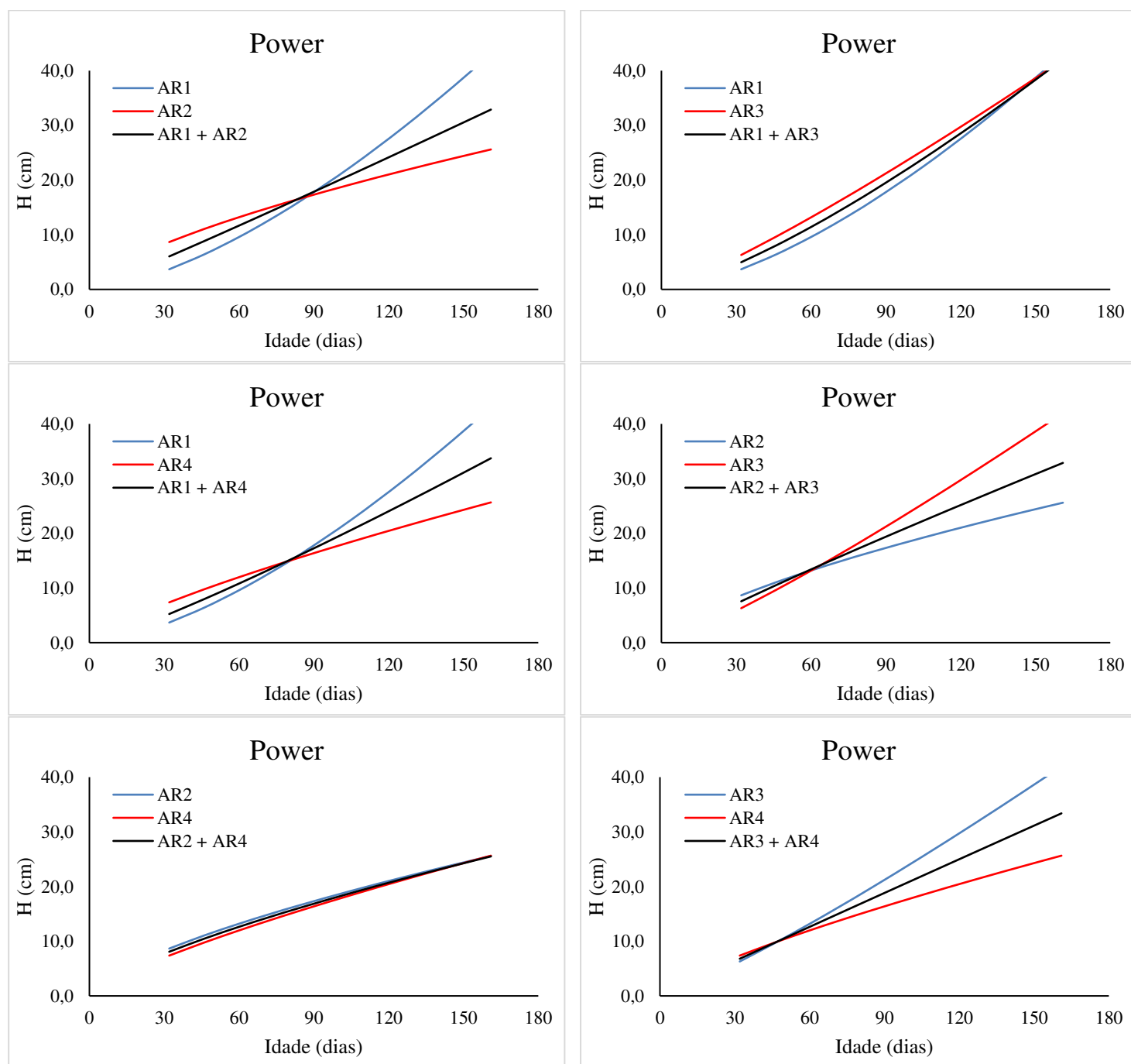
Figura 16 – Curvas de produção de massa seca de raízes (MSR) de mudas de *Pterogyne nitens* estimadas pelos modelos Logístico, Gompertz e Power



T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Subst. Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Subst. Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Subst. Ouro Verde inoculado com FMA.

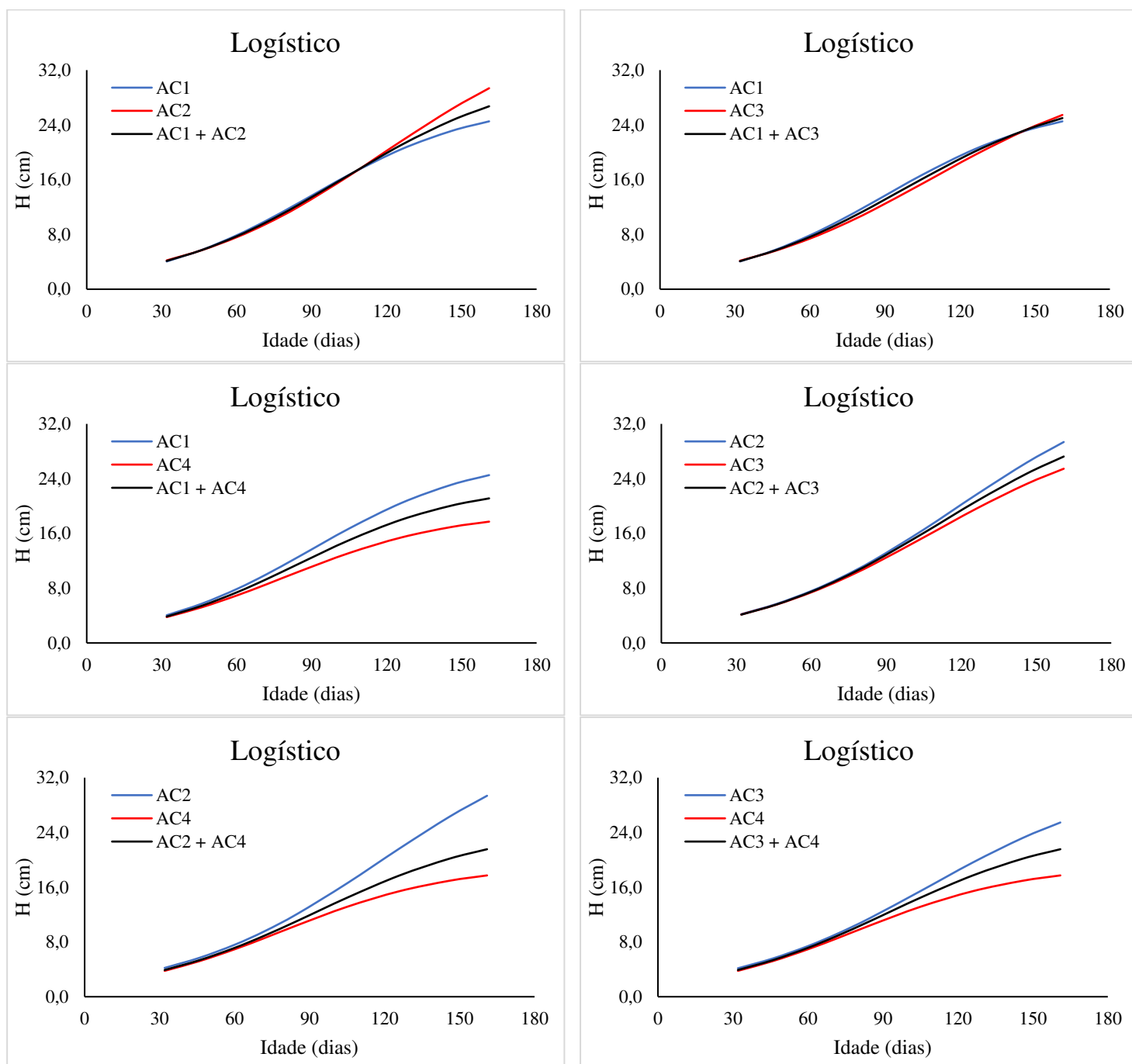
APÊNDICE D – TESTE DE IDENTIDADE DE MODELOS PARA AS VARIÁVEIS ALTURA DA PARTE AÉREA (H), DIÂMETRO DO COLETO (DC), MASSA SECA DA PARTE AÉREA (MSPA) E MASSA SECA DE RAÍZES (MSR) DE MUDAS DE AROEIRA-PIMENTEIRA (*Schinus terebinthifolia*), ARAÇÁ-DO-CAMPO (*Psidium guineense*), SAGUARAJI (*Colubrina glandulosa*) E AMENDOIM-BRAVO (*Pterogyne nitens*) EM RESPOSTA A SUBSTRATOS E INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA)

Figura 1 - Identidade de modelos da altura da parte aérea (H) de mudas de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)



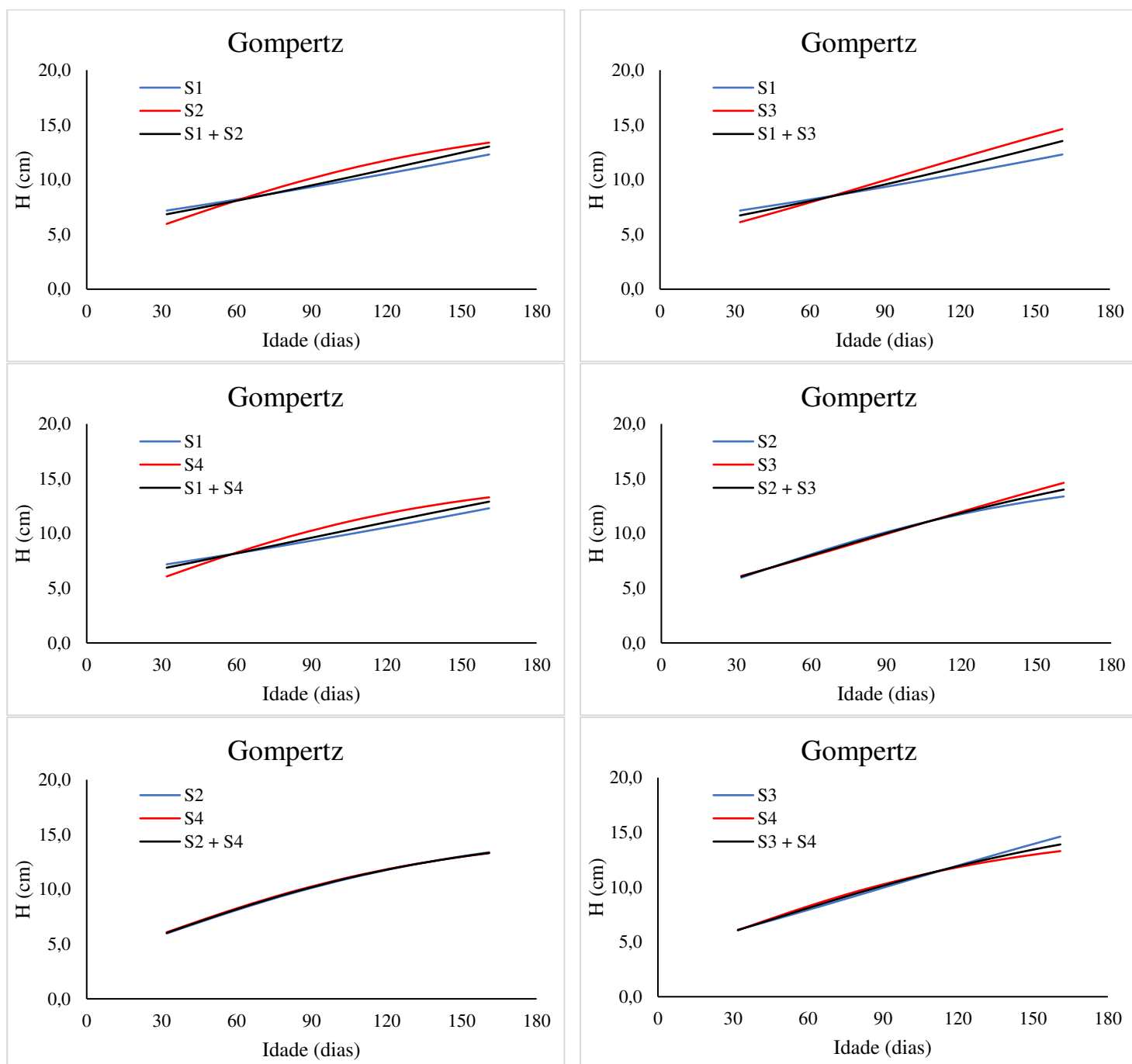
AR1 = Tratamento 1 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **AR2** = Tratamento 2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA); **AR3** = Tratamento 3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **AR4** = Tratamento 4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

Figura 2 - Identidade de modelos da altura da parte aérea (H) de mudas de araçá-do-campo (*Psidium guineense*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)



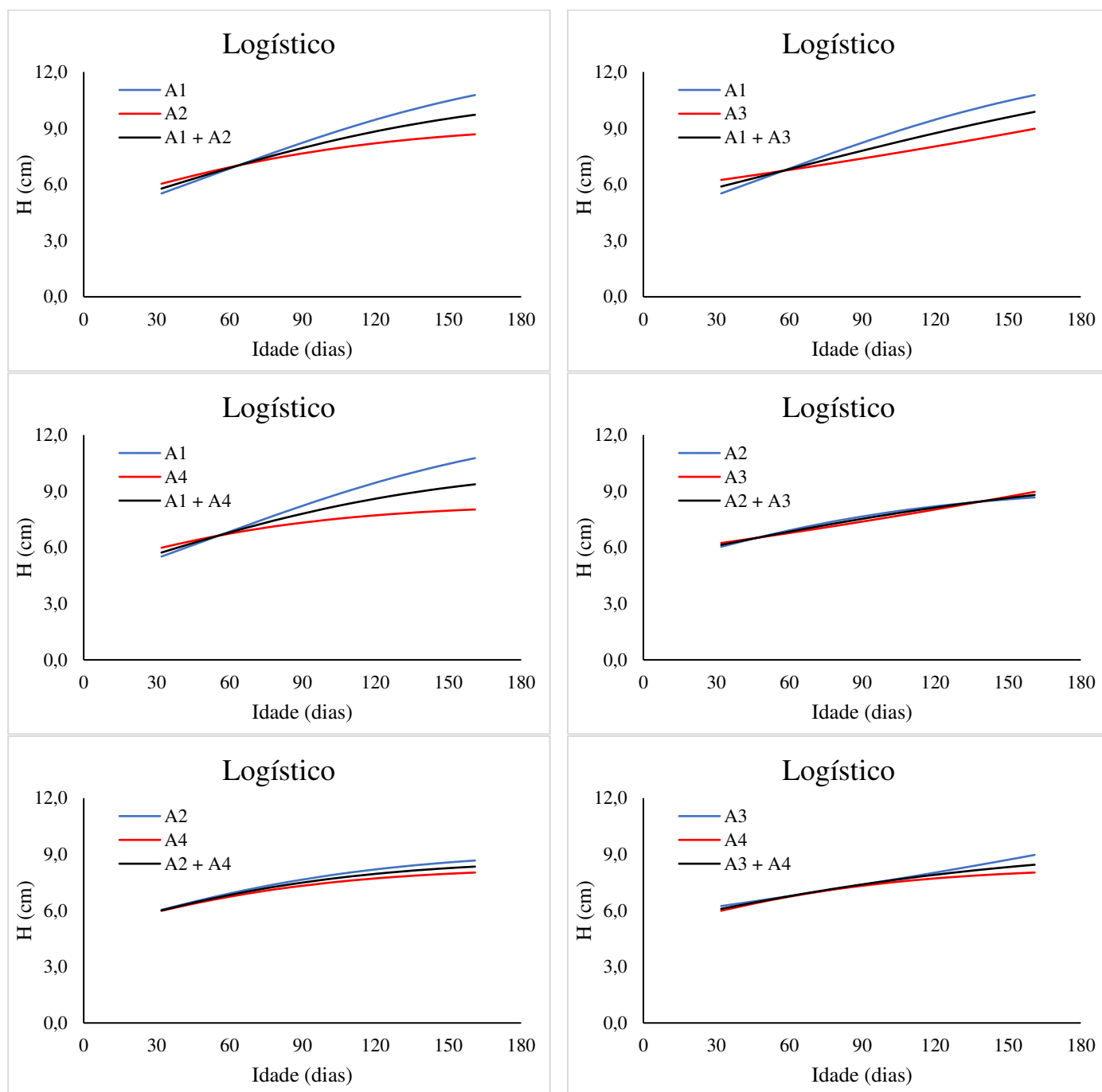
AC1 = Tratamento 1 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **AC2** = Tratamento 2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA); **AC3** = Tratamento 3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **AC4** = Tratamento 4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

Figura 3 - Identidade de modelos da altura da parte aérea (H) de mudas de saguaraji (*Colubrina glandulosa*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)



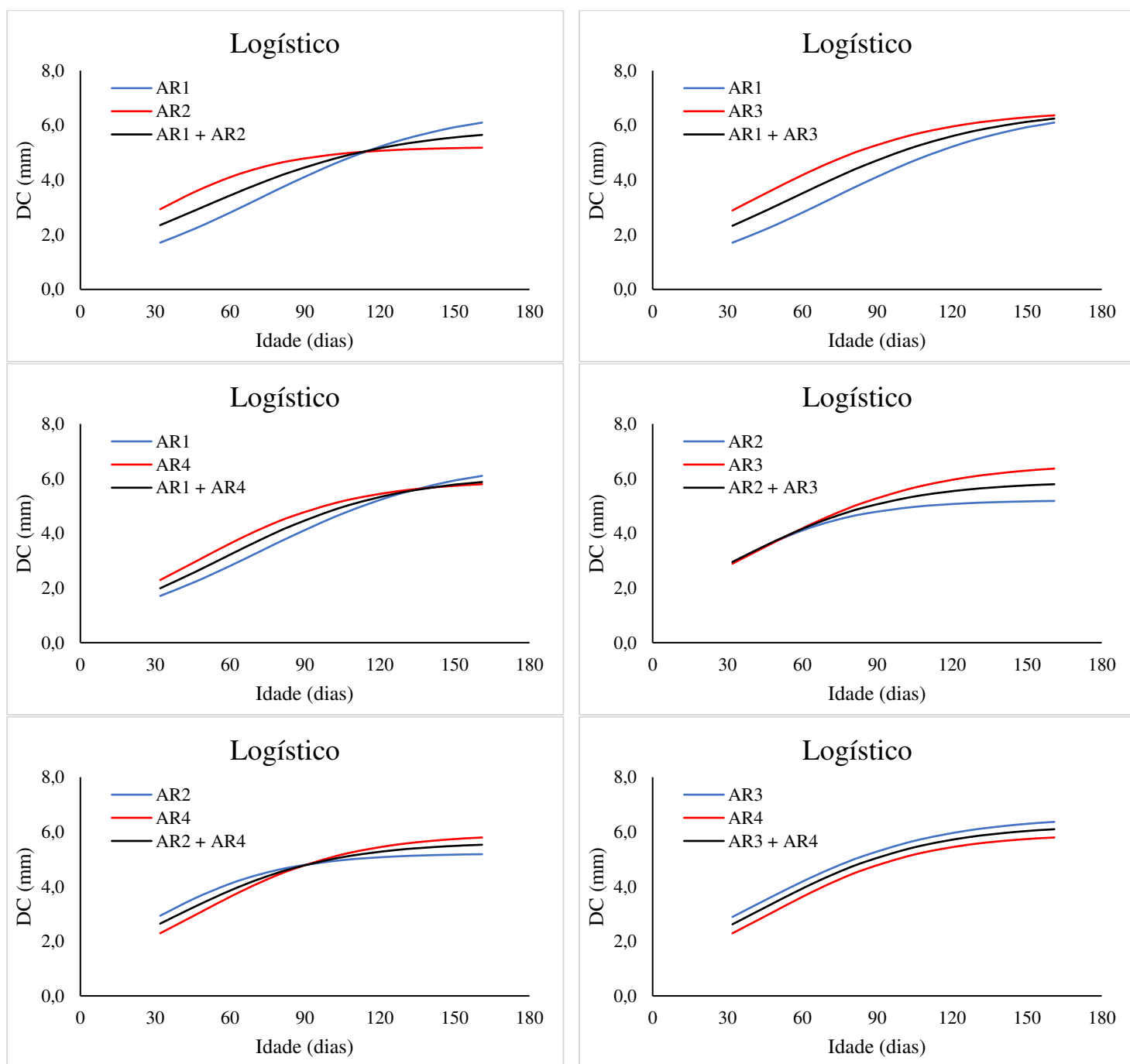
S1 = Tratamento 1 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **S2** = Tratamento 2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA); **S3** = Tratamento 3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **S4** = Tratamento 4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

Figura 4 - Identidade de modelos da altura da parte aérea (H) de mudas de amendoim-bravo (*Pterogyne nitens*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)



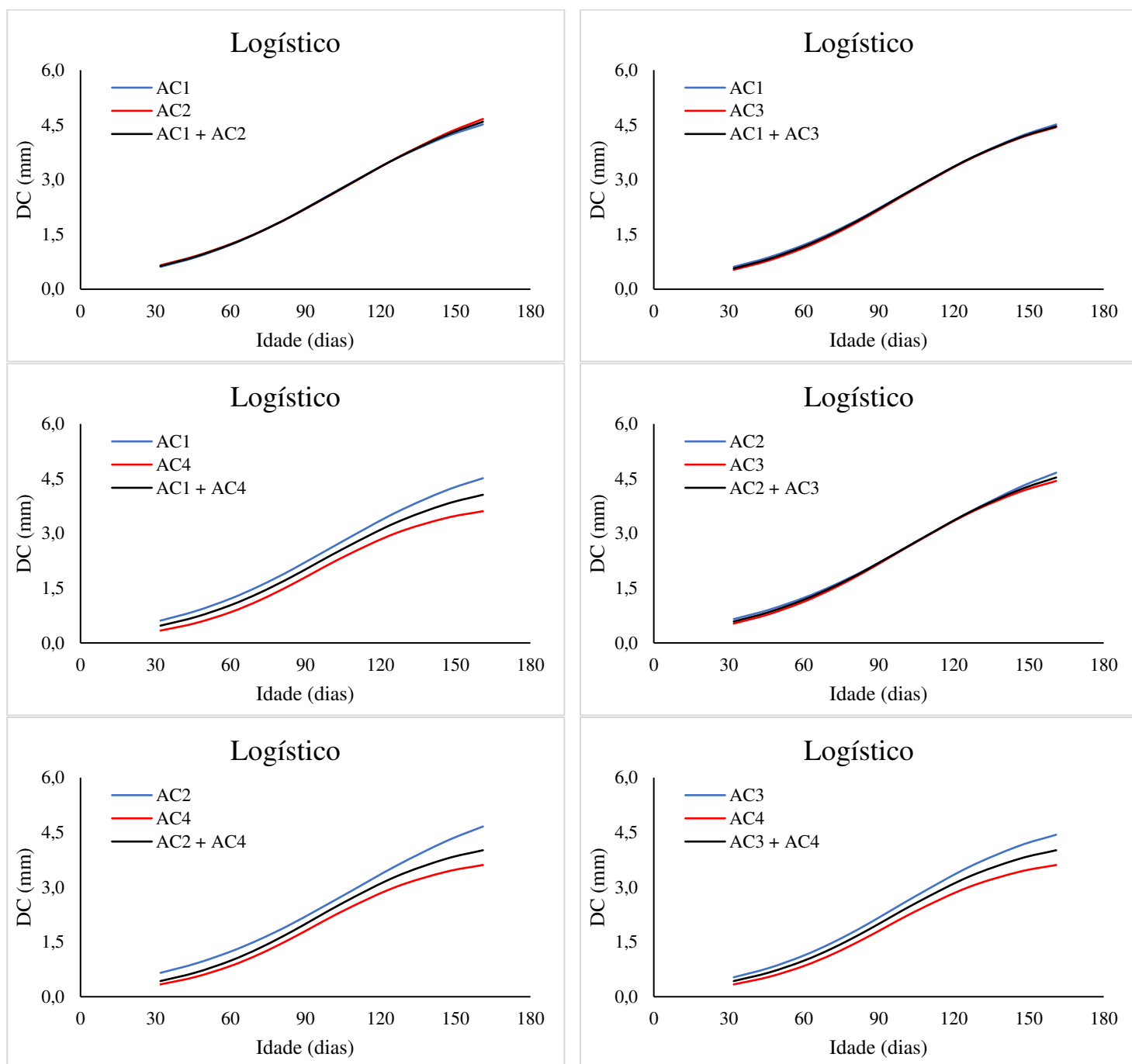
A1 = Tratamento 1 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **A2** = Tratamento 2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA); **A3** = Tratamento 3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **A4** = Tratamento 4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

Figura 5 - Identidade de modelos do diâmetro do coleto (DC) de mudas de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)



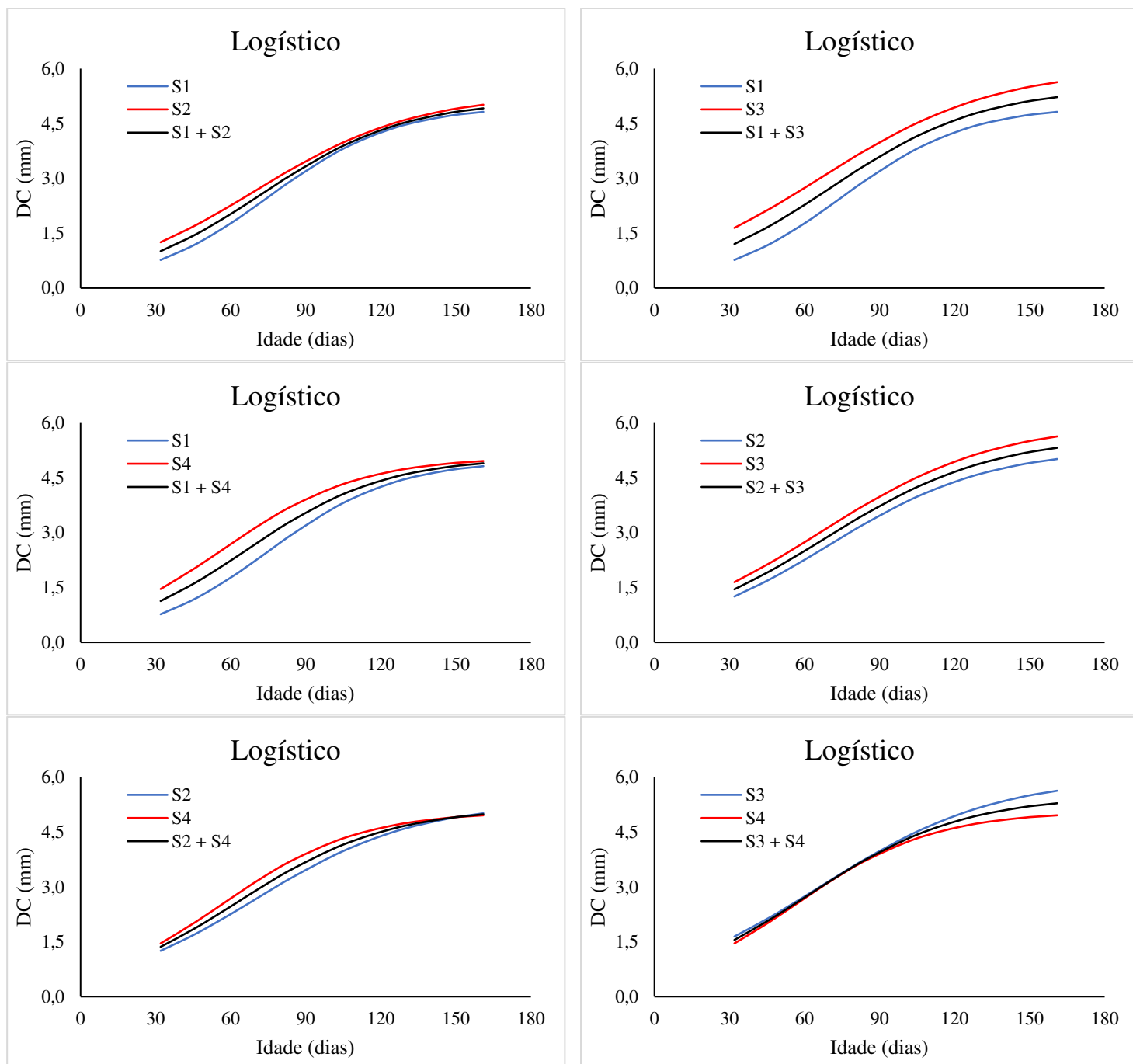
AR1 = Tratamento 1 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **AR2** = Tratamento 2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA); **AR3** = Tratamento 3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **AR4** = Tratamento 4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

Figura 6 - Identidade de modelos do diâmetro do coleto (DC) de mudas de araçá-do-campo (*Psidium guineense*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)



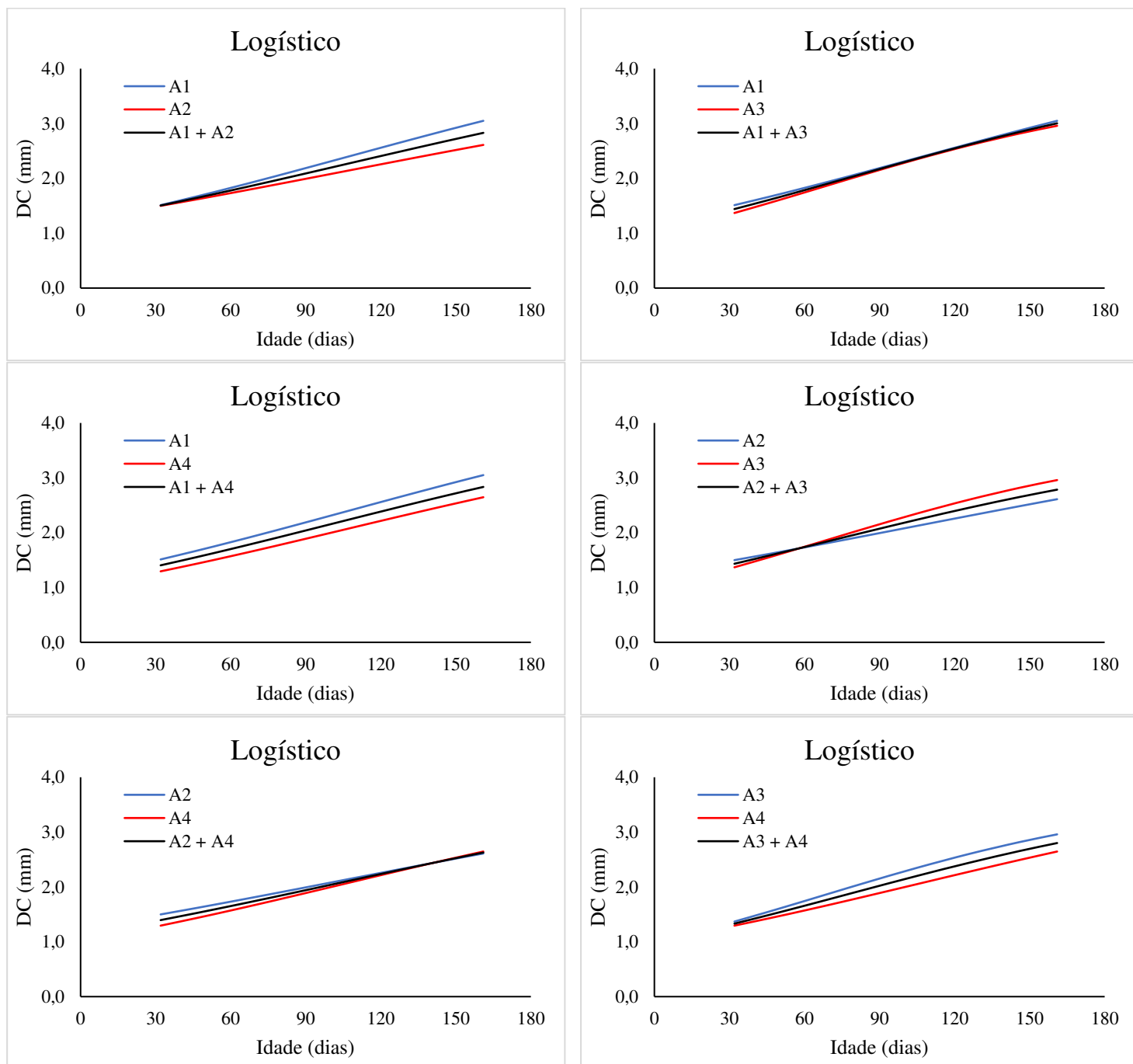
AC1 = Tratamento 1 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **AC2** = Tratamento 2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA); **AC3** = Tratamento 3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **AC4** = Tratamento 4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

Figura 7 - Identidade de modelos do diâmetro do coleto (DC) de mudas de saguaraji (*Colubrina glandulosa*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)



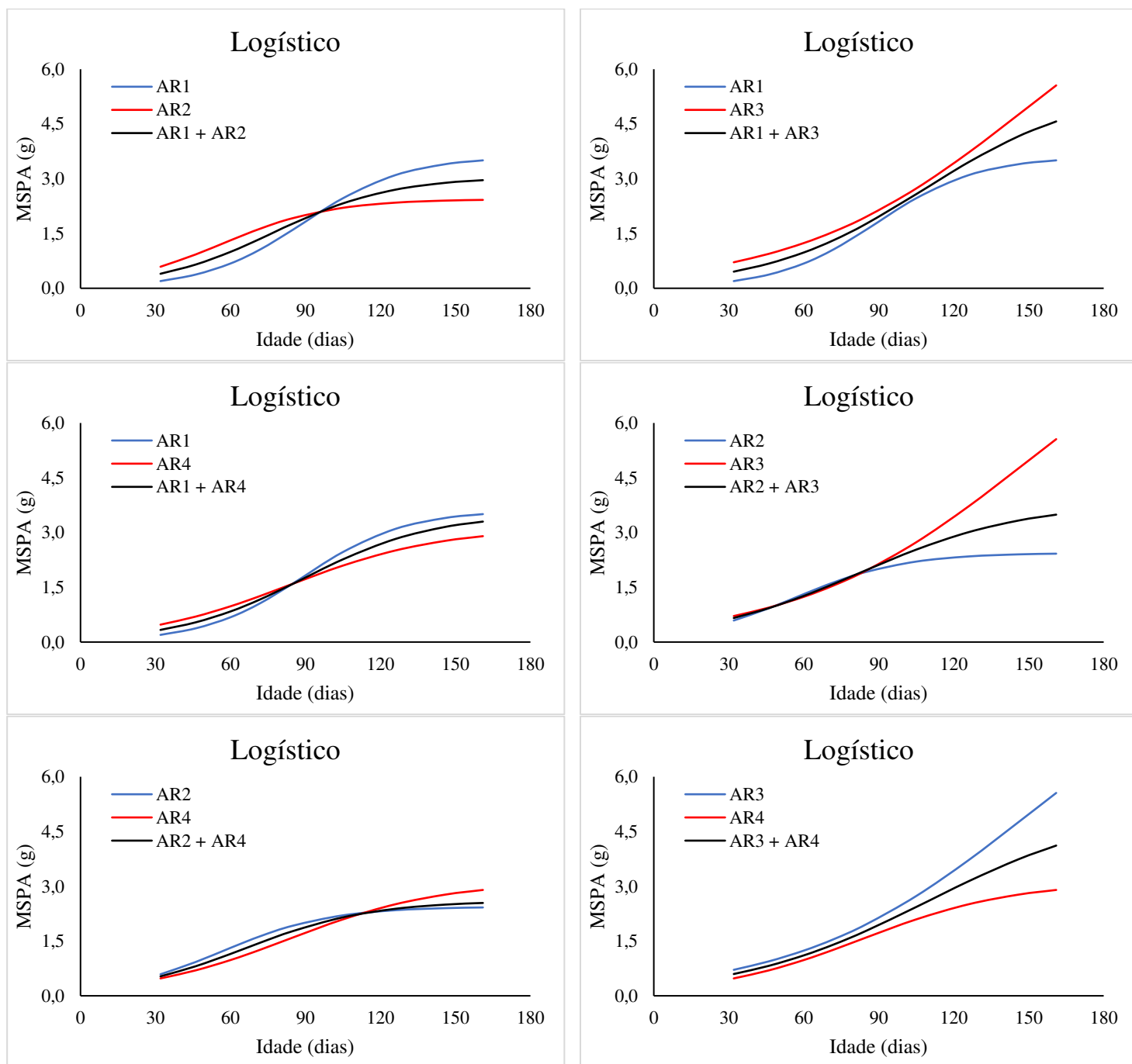
S1 = Tratamento 1 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **S2** = Tratamento 2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA); **S3** = Tratamento 3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **S4** = Tratamento 4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

Figura 8 - Identidade de modelos do diâmetro do coleto (DC) de mudas de amendoim-bravo (*Pterogyne nitens*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)



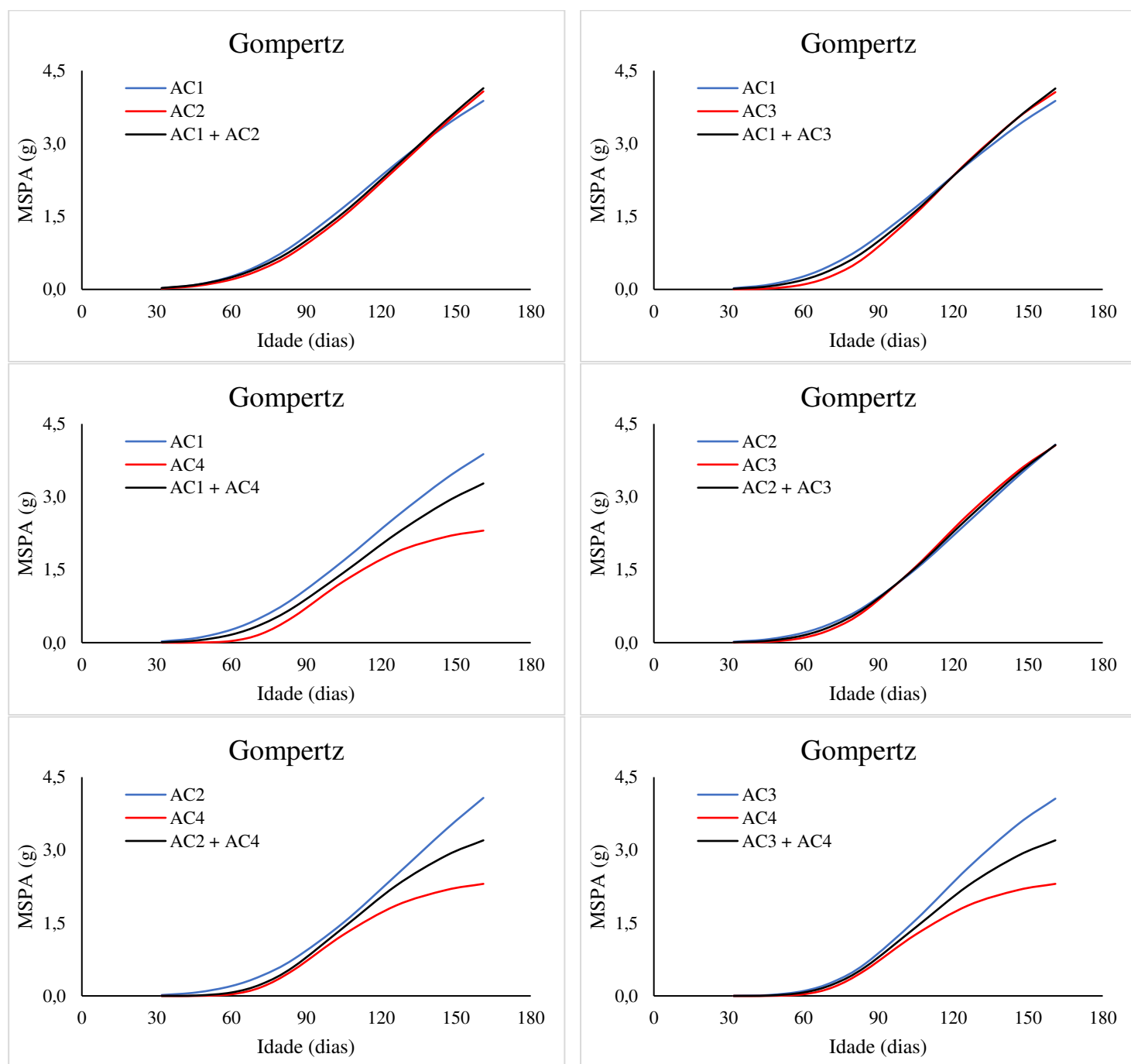
A1 = Tratamento 1 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **A2** = Tratamento 2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA); **A3** = Tratamento 3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **A4** = Tratamento 4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

Figura 9 - Identidade de modelos massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)



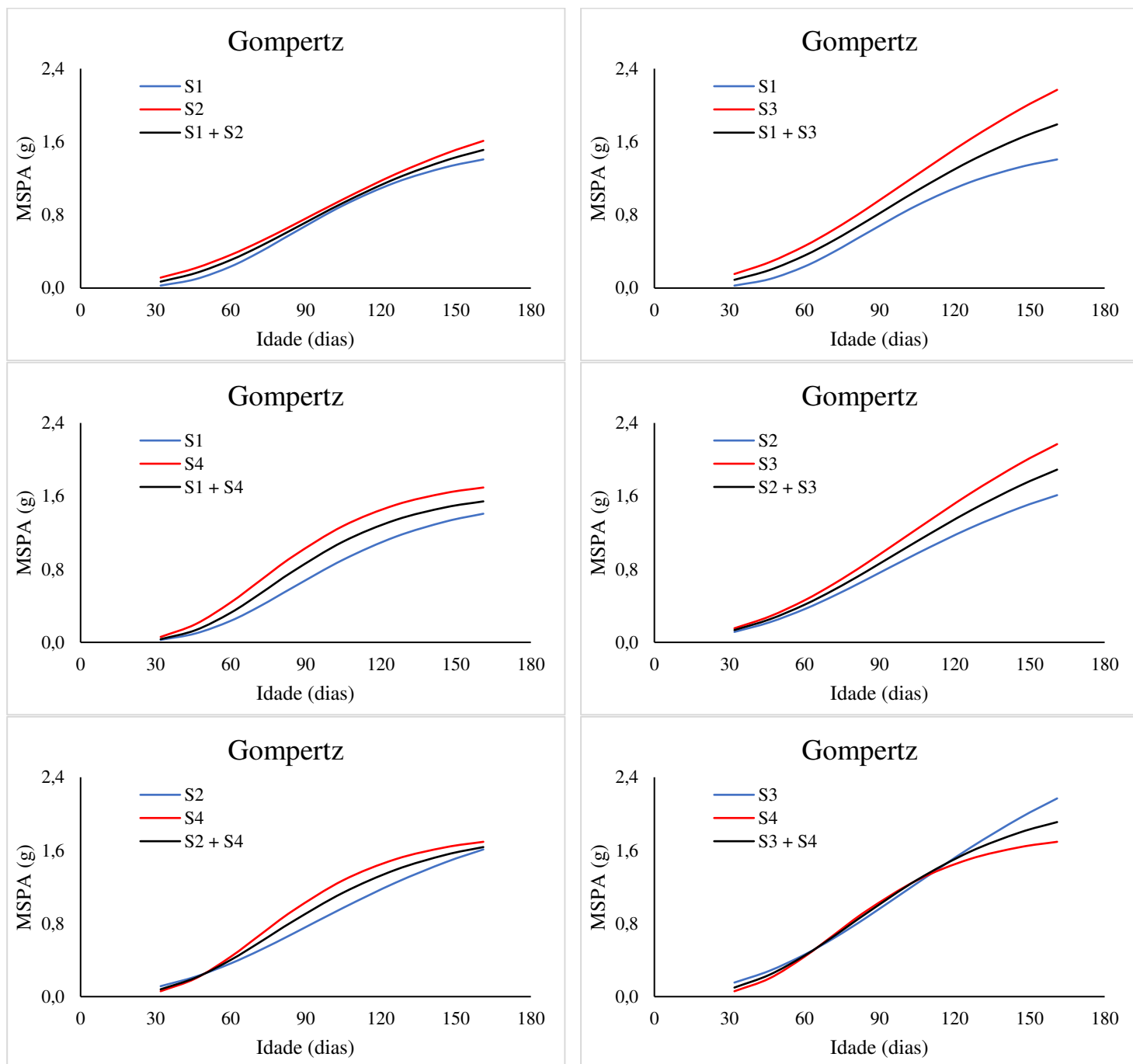
AR1 = Tratamento 1 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **AR2** = Tratamento 2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA); **AR3** = Tratamento 3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **AR4** = Tratamento 4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

Figura 10 - Identidade de modelos massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de araçá-do-campo (*Psidium guineense*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)



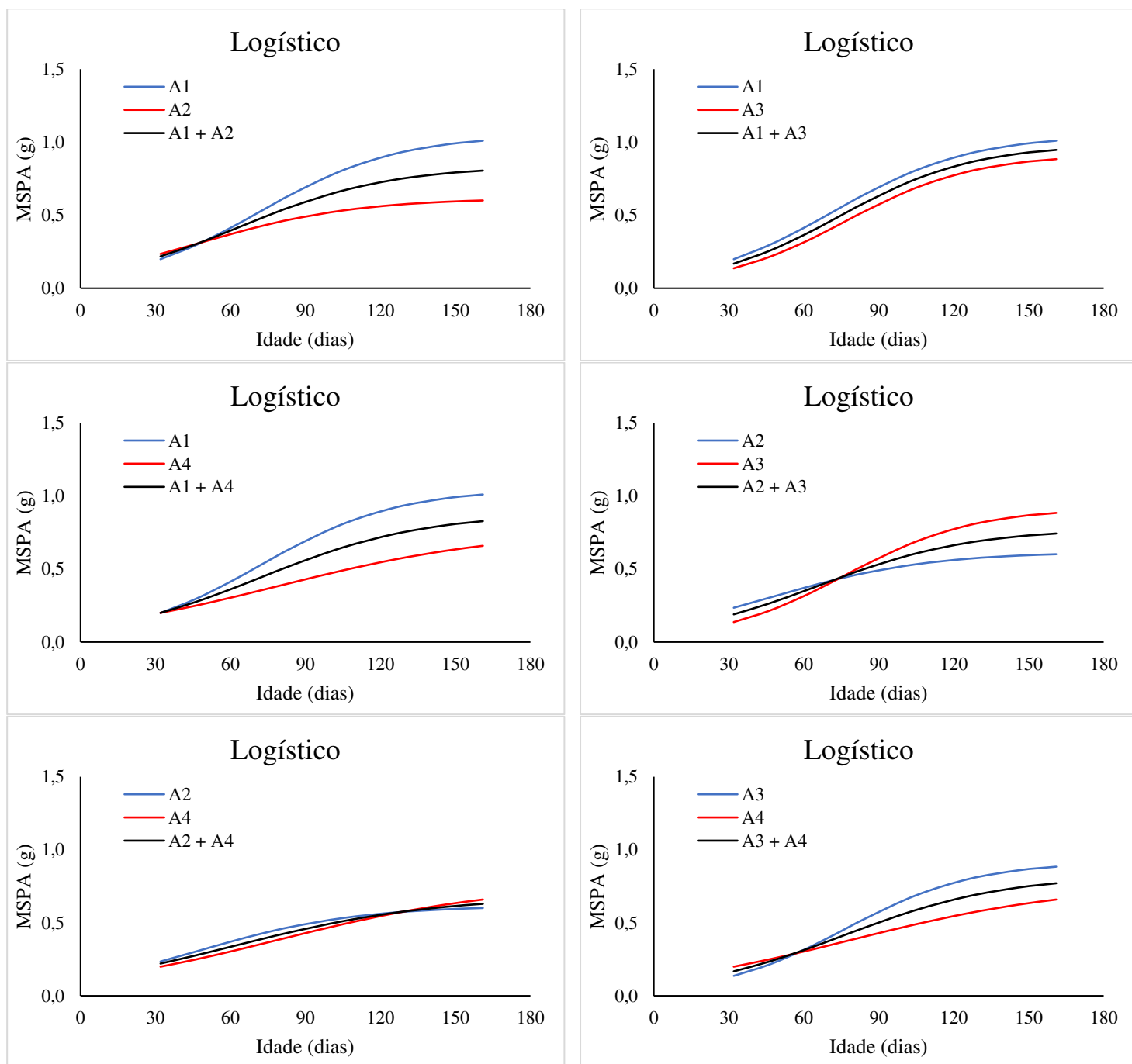
AC1 = Tratamento 1 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **AC2** = Tratamento 2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA); **AC3** = Tratamento 3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **AC4** = Tratamento 4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

Figura 11 - Identidade de modelos massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de saguaraji (*Colubrina glandulosa*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)



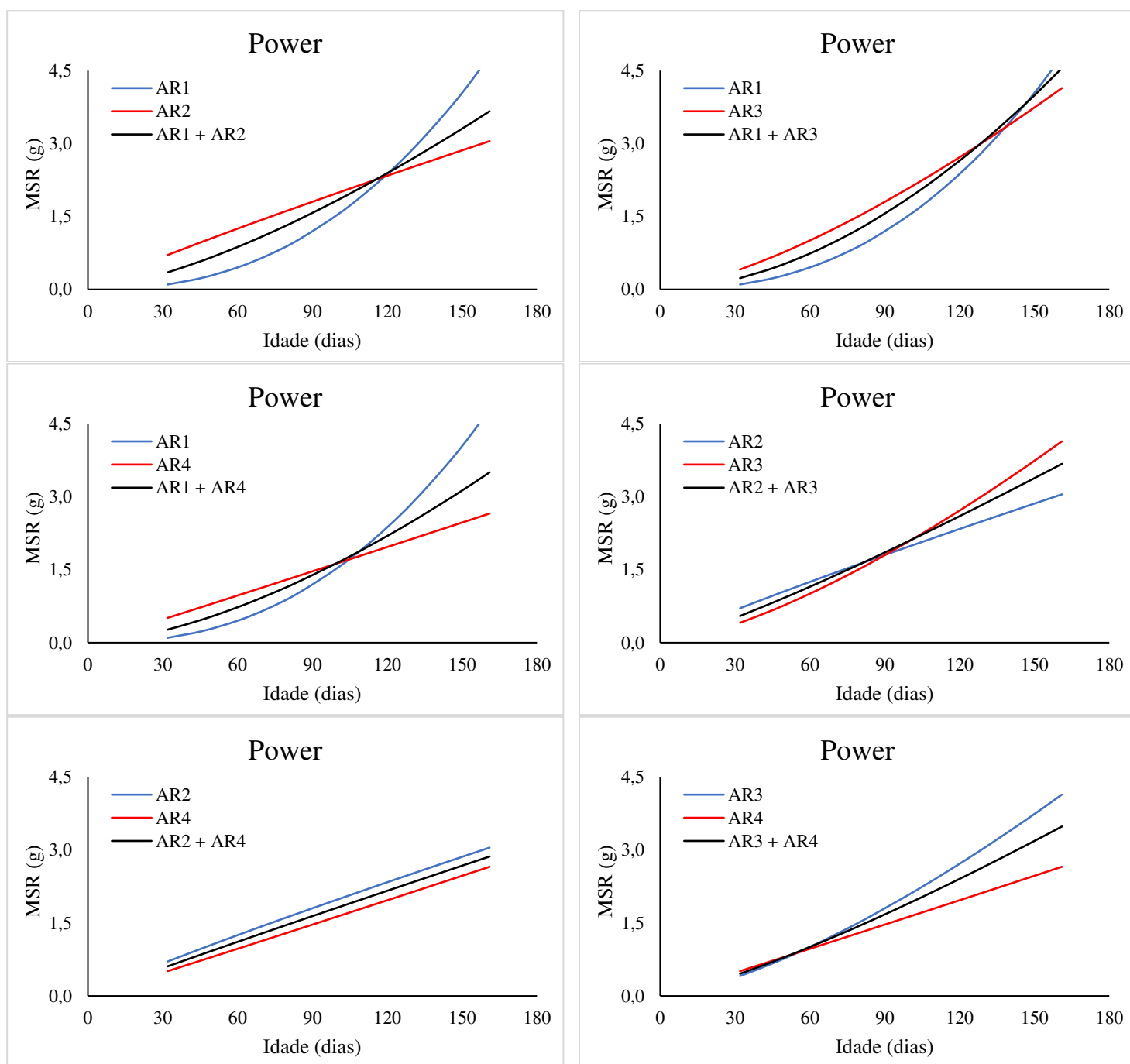
S1 = Tratamento 1 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **S2** = Tratamento 2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA); **S3** = Tratamento 3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **S4** = Tratamento 4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

Figura 12 - Identidade de modelos massa seca da parte aérea (MSPA) de mudas de amendoim-bravo (*Pterogyne nitens*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)



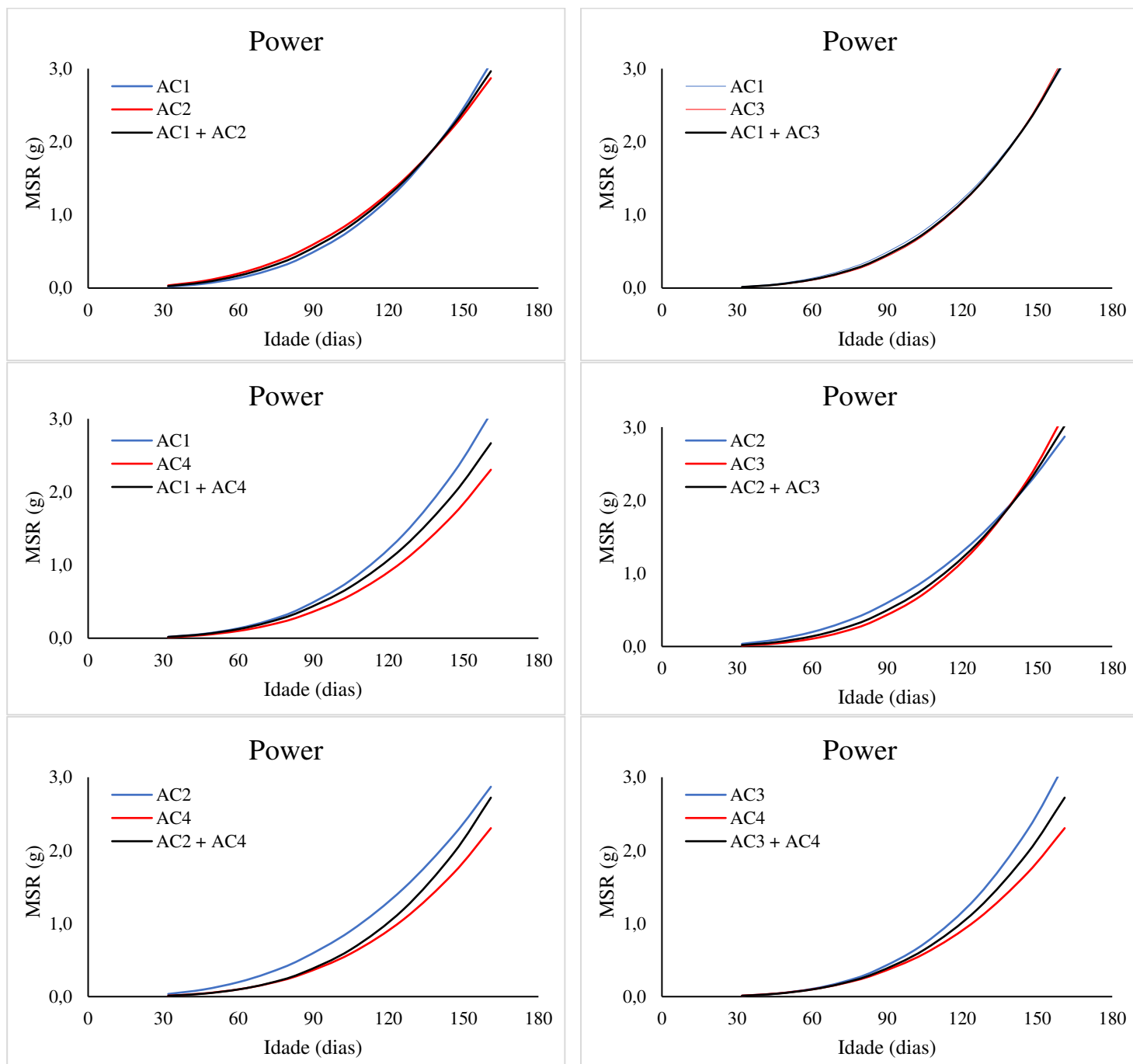
A1 = Tratamento 1 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **A2** = Tratamento 2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA); **A3** = Tratamento 3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **A4** = Tratamento 4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

Figura 13 - Identidade de modelos massa seca de raízes (MSR) de mudas de aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolia*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)



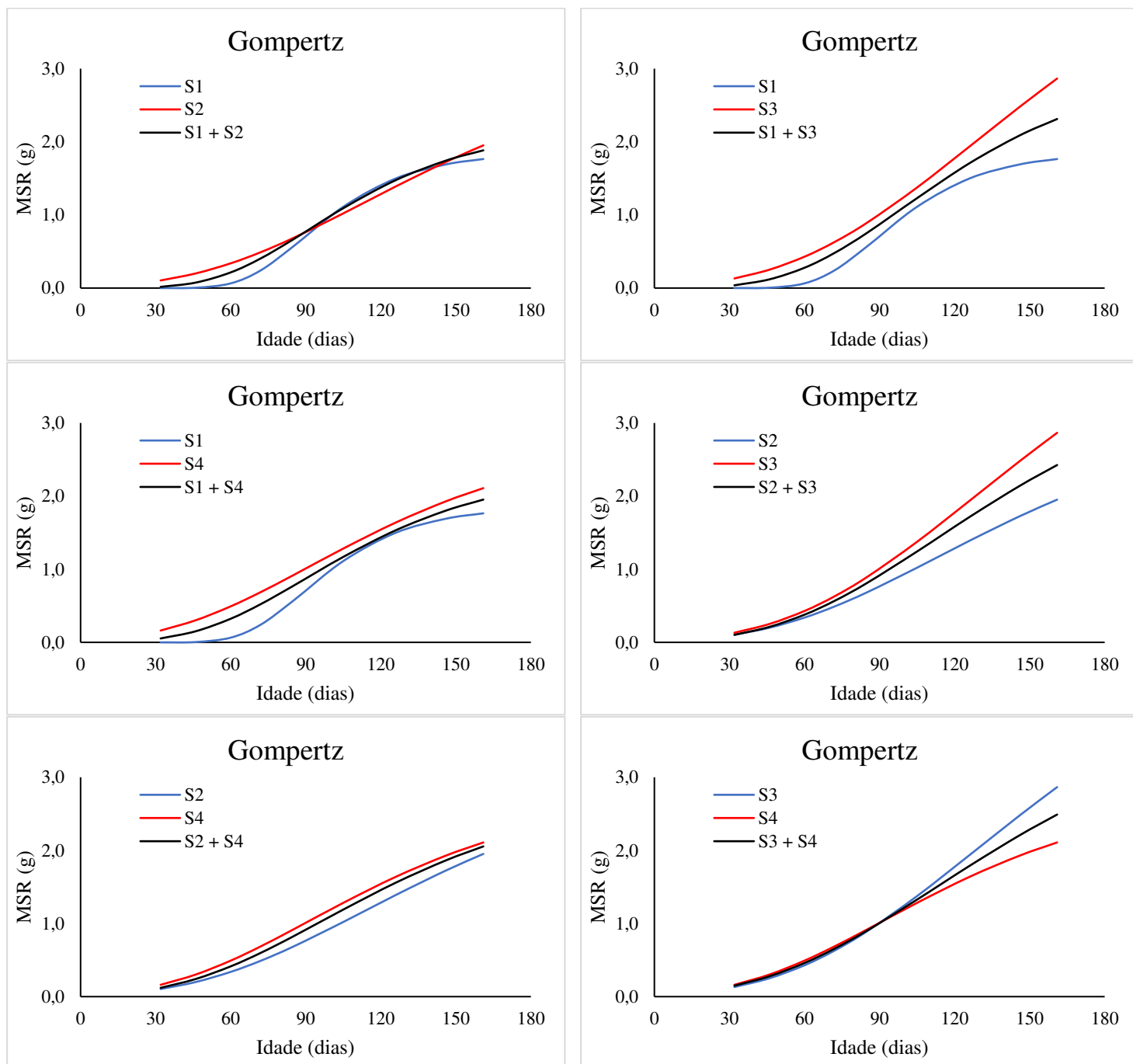
AR1 = Tratamento 1 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **AR2** = Tratamento 2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA); **AR3** = Tratamento 3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **AR4** = Tratamento 4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

Figura 14 - Identidade de modelos massa seca de raízes (MSR) de mudas de araçá-do-campo (*Psidium guineense*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)



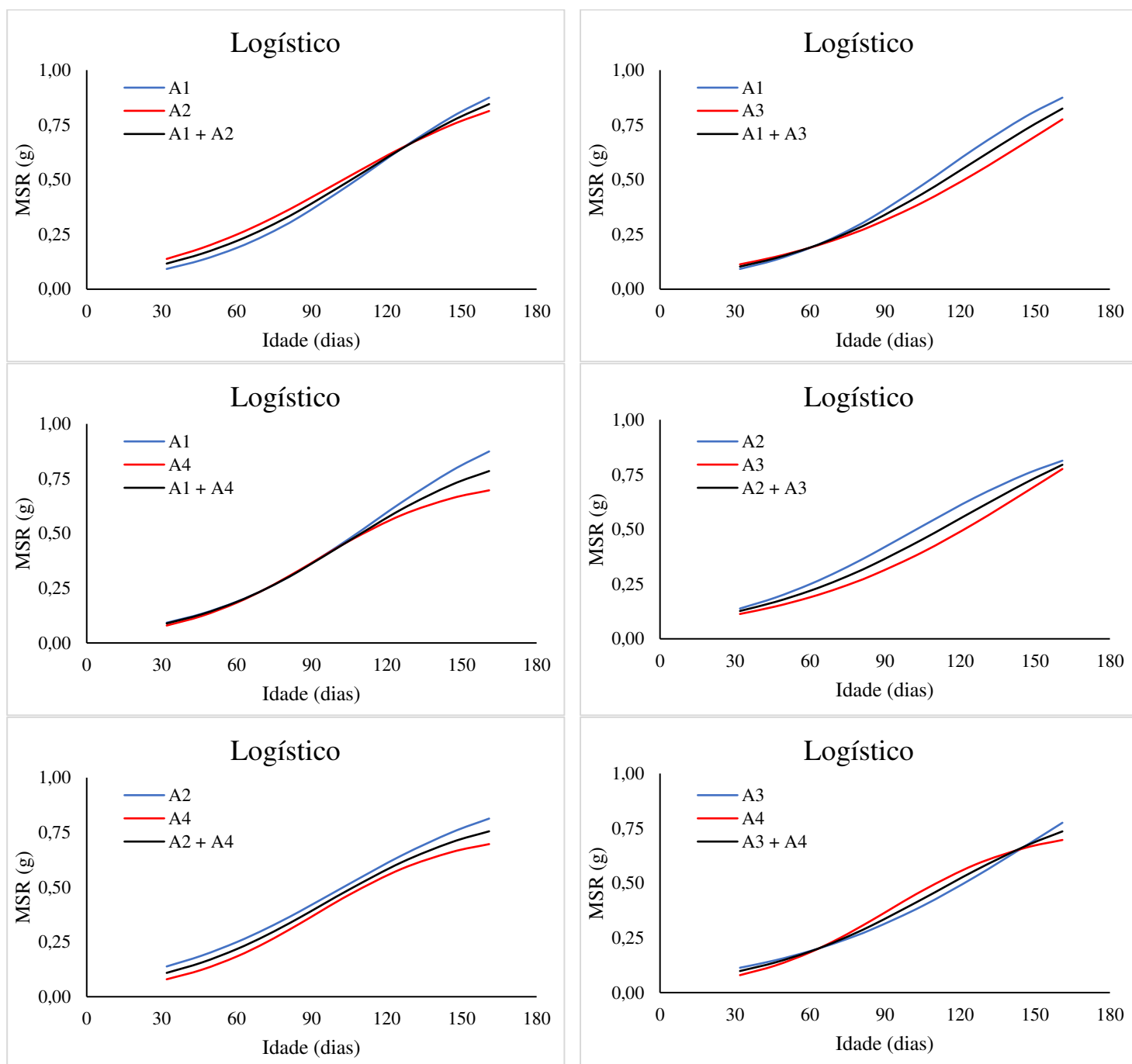
AC1 = Tratamento 1 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **AC2** = Tratamento 2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA); **AC3** = Tratamento 3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **AC4** = Tratamento 4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

Figura 15 - Identidade de modelos massa seca de raízes (MSR) de mudas de saguaraji (*Colubrina glandulosa*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)



S1 = Tratamento 1 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **S2** = Tratamento 2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA); **S3** = Tratamento 3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **S4** = Tratamento 4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

Figura 16 - Identidade de modelos massa seca de raízes (MSR) de mudas de amendoim-bravo (*Pterogyne nitens*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)



A1 = Tratamento 1 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **A2** = Tratamento 2 (substrato Ouro Verde não inoculado com FMA); **A3** = Tratamento 3 (substrato Antuérpia inoculado com FMA); **A4** = Tratamento 4 (substrato Ouro Verde inoculado com FMA).

APÊNDICE E – ESTATÍSTICAS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE PLANTAS POR PARCELA EXPERIMENTAL PARA OS ATRIBUTOS MORFOLÓGICOS ALTURA DA PARTE AÉREA E DIÂMETRO DO COLETO DE MUDAS DE AROEIRA-PIMENTEIRA (*Schinus terebinthifolia*), ARAÇÁ-DO-CAMPO (*Psidium guineense*), SAGUARAJI (*Colubrina glandulosa*) E AMENDOIM-BRAVO (*Pterogyne nitens*) EM RESPOSTA A SUBSTRATO DE CULTIVO E INOCULAÇÃO COM FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (FMA)

Tabela 1 – Estatísticas da análise de variância em função do número de plantas por parcela experimental para o atributo morfológico altura da parte aérea de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica (*S. terebinthifolia*, *P. guineense*, *C. glandulosa* e *P. nitens*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

<i>n</i>	CV%	DMS	<i>p</i> -valor	$\bar{x}$ T1	$\bar{x}$ T2	$\bar{x}$ T3	$\bar{x}$ T4	T1_T2	T1_T3	T1_T4	T2_T3	T2_T4	T3_T4
50	6,85	2,54	0,0003	19,7	16,7	19,7	14,5	*	NS	*	*	NS	*
49	6,94	2,57	0,0004	19,6	16,7	19,7	14,5	*	NS	*	*	NS	*
48	6,60	2,45	0,0005	19,7	16,7	19,7	14,6	*	NS	*	*	NS	*
47	6,88	2,55	0,0004	19,7	16,7	19,7	14,6	*	NS	*	*	NS	*
46	7,10	2,64	0,0022	19,6	16,8	19,7	14,6	*	NS	*	*	NS	*
45	7,15	2,64	0,0007	19,6	16,6	19,6	14,5	*	NS	*	*	NS	*
44	7,44	2,76	0,0010	19,7	16,7	19,8	14,6	*	NS	*	*	NS	*
43	7,29	2,71	0,0010	19,7	16,8	19,8	14,6	*	NS	*	*	NS	*
42	6,84	2,53	0,0005	19,8	16,7	19,5	14,7	*	NS	*	*	NS	*
41	7,33	2,71	0,0009	19,8	16,5	19,6	14,6	*	NS	*	*	NS	*
40	7,17	2,65	0,0022	19,7	16,6	19,6	14,6	*	NS	*	*	NS	*
39	7,16	2,66	0,0006	19,8	16,8	19,6	14,6	*	NS	*	*	NS	*
38	7,69	2,86	0,0009	19,8	16,9	19,5	14,5	NS	NS	*	NS	NS	*
37	7,98	2,97	0,0009	19,9	16,8	19,6	14,7	*	NS	*	NS	NS	*
36	7,65	2,82	0,0019	19,4	16,9	19,6	14,5	NS	NS	*	NS	NS	*
35	7,87	2,93	0,0013	19,6	16,8	19,9	14,6	NS	NS	*	*	NS	*
34	7,98	2,95	0,0041	19,5	16,7	19,7	14,7	NS	NS	*	*	NS	*
33	8,67	3,23	0,0023	20,0	16,6	19,9	14,5	*	NS	*	NS	NS	*
32	8,42	3,10	0,0032	19,6	16,7	19,3	14,6	NS	NS	*	NS	NS	*
31	9,01	3,35	0,0150	19,7	16,7	19,6	14,7	NS	NS	*	NS	NS	*
30	8,69	3,22	0,0051	19,7	16,8	19,5	14,7	NS	NS	*	NS	NS	*
29	8,24	3,07	0,0029	19,8	16,5	19,9	14,8	*	NS	*	*	NS	*
28	8,56	3,18	0,0030	19,9	16,8	19,6	14,6	NS	NS	*	NS	NS	*
27	9,38	3,48	0,0057	19,7	16,8	19,6	14,5	NS	NS	*	NS	NS	*
26	8,38	3,11	0,0015	19,9	16,3	19,8	14,5	*	NS	*	*	NS	*
25	9,66	3,58	0,0057	19,5	16,6	19,8	14,7	NS	NS	*	NS	NS	*
24	9,33	3,45	0,0067	19,6	16,7	19,5	14,7	NS	NS	*	NS	NS	*
23	9,33	3,45	0,0070	19,8	16,7	19,7	14,4	NS	NS	*	NS	NS	*
22	10,48	3,90	0,0107	19,6	16,8	19,8	14,6	NS	NS	*	NS	NS	*
21	10,85	4,01	0,0146	19,6	16,5	19,9	14,5	NS	NS	*	NS	NS	*
20	10,42	3,86	0,0110	19,5	16,8	19,6	14,6	NS	NS	*	NS	NS	*
19	10,34	3,83	0,0159	19,7	16,5	19,8	14,7	NS	NS	*	NS	NS	*
18	10,23	3,81	0,0164	19,9	16,7	19,7	14,7	NS	NS	*	NS	NS	*
17	10,80	4,02	0,0084	19,9	16,5	20,0	14,6	NS	NS	*	NS	NS	*
16	11,77	4,35	0,0231	19,5	16,7	19,7	14,5	NS	NS	*	NS	NS	*
15	11,39	4,23	0,0293	19,4	16,8	19,9	14,6	NS	NS	*	NS	NS	*
14	12,90	4,78	0,0316	19,4	16,8	19,9	14,6	NS	NS	*	NS	NS	*
13	12,84	4,73	0,0423	19,3	16,6	19,6	14,8	NS	NS	NS	NS	NS	*
12	13,71	5,06	0,0434	19,5	16,6	19,6	14,6	NS	NS	NS	NS	NS	NS
11	13,30	4,91	0,0525	19,4	16,6	19,9	14,5	NS	NS	NS	NS	NS	*
10	14,42	5,35	0,0951	19,5	16,7	20,0	14,7	NS	NS	NS	NS	NS	NS
9	14,56	5,34	0,0672	19,4	16,6	19,5	14,4	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Continua...

Continuação...

8	15,78	5,91	0,0537	19,9	16,5	20,3	14,7	NS	NS	NS	NS	NS	NS
7	17,94	6,68	0,1683	19,5	17,1	19,6	14,8	NS	NS	NS	NS	NS	NS
6	20,45	7,58	0,2199	19,7	16,9	19,3	14,8	NS	NS	NS	NS	NS	NS
5	20,47	7,53	0,1354	19,6	16,2	19,9	14,4	NS	NS	NS	NS	NS	NS
4	22,85	8,30	0,1700	19,6	16,2	19,6	13,9	NS	NS	NS	NS	NS	NS
3	26,15	9,73	0,2412	19,7	17,0	19,5	14,7	NS	NS	NS	NS	NS	NS

n = Número de plantas por parcela experimental; CV% = Coeficiente de variação experimental; DMS = Diferença mínima significativa entre os tratamentos, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; p -valor = valor de p para o teste F da análise de variância; $\bar{x}$ T_i = média do atributo morfológico no tratamento i ; $T_i - T_i'$ = contraste entre médias dos tratamentos $T_i - T_i'$; * = diferença entre as médias T_i e T_i' pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); NS = $T_i = T_i'$ pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA.

Tabela 2 – Estatísticas da análise de variância em função do número de plantas por parcela experimental para o atributo morfológico diâmetro do coleto de mudas de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica (*S. terebinthifolia*, *P. guineense*, *C. glandulosa* e *P. nitens*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

n	CV%	DMS	p -valor	$\bar{x}$ T1	$\bar{x}$ T2	$\bar{x}$ T3	$\bar{x}$ T4	T1_T2	T1_T3	T1_T4	T2_T3	T2_T4	T3_T4
50	3,69	0,35	0,0037	4,58	4,29	4,80	4,23	NS	NS	*	*	NS	*
49	3,73	0,35	0,0031	4,58	4,29	4,82	4,21	NS	NS	*	*	NS	*
48	3,55	0,33	0,0037	4,59	4,33	4,79	4,22	NS	NS	*	*	NS	*
47	3,58	0,34	0,0050	4,59	4,30	4,79	4,22	NS	NS	*	*	NS	*
46	3,73	0,35	0,0037	4,58	4,31	4,81	4,23	NS	NS	*	*	NS	*
45	3,63	0,34	0,0037	4,56	4,30	4,77	4,21	NS	NS	*	*	NS	*
44	3,58	0,34	0,0041	4,58	4,32	4,80	4,22	NS	NS	*	*	NS	*
43	3,93	0,37	0,0048	4,59	4,31	4,79	4,21	NS	NS	*	*	NS	*
42	3,79	0,36	0,0063	4,57	4,32	4,79	4,22	NS	NS	NS	*	NS	*
41	4,01	0,38	0,0136	4,58	4,30	4,77	4,24	NS	NS	NS	*	NS	*
40	3,92	0,37	0,0187	4,56	4,31	4,76	4,18	NS	NS	*	*	NS	*
39	4,21	0,40	0,0190	4,59	4,32	4,79	4,22	NS	NS	NS	*	NS	*
38	4,08	0,38	0,0181	4,57	4,31	4,77	4,27	NS	NS	NS	*	NS	*
37	4,44	0,42	0,0143	4,56	4,32	4,81	4,21	NS	NS	NS	*	NS	*
36	4,11	0,39	0,0080	4,58	4,27	4,80	4,21	NS	NS	NS	*	NS	*
35	4,38	0,41	0,0157	4,60	4,29	4,79	4,27	NS	NS	NS	*	NS	*
34	4,20	0,40	0,0103	4,60	4,31	4,83	4,25	NS	NS	NS	*	NS	*
33	4,51	0,42	0,0103	4,58	4,28	4,83	4,23	NS	NS	NS	*	NS	*
32	4,19	0,39	0,0096	4,58	4,27	4,78	4,21	NS	NS	NS	*	NS	*
31	4,40	0,41	0,0058	4,57	4,30	4,84	4,23	NS	NS	NS	*	NS	*
30	4,91	0,46	0,0189	4,58	4,30	4,78	4,19	NS	NS	NS	*	NS	*
29	4,49	0,42	0,0419	4,59	4,27	4,75	4,22	NS	NS	NS	*	NS	*
28	5,06	0,47	0,0354	4,59	4,31	4,76	4,21	NS	NS	NS	NS	NS	*
27	4,70	0,44	0,0398	4,57	4,29	4,79	4,23	NS	NS	NS	*	NS	*
26	5,07	0,48	0,0214	4,57	4,28	4,80	4,20	NS	NS	NS	*	NS	*
25	5,41	0,51	0,0616	4,59	4,30	4,77	4,21	NS	NS	NS	NS	NS	*
24	5,52	0,52	0,0474	4,60	4,32	4,80	4,25	NS	NS	NS	NS	NS	*
23	5,44	0,51	0,0669	4,55	4,32	4,78	4,23	NS	NS	NS	NS	NS	*

Continua...

Continuação...

22	5,39	0,51	0,0282	4,61	4,29	4,81	4,22	NS	NS	NS	*	NS	*
21	5,44	0,51	0,0351	4,57	4,30	4,81	4,23	NS	NS	NS	NS	NS	*
20	5,79	0,54	0,0415	4,56	4,26	4,79	4,20	NS	NS	NS	NS	NS	*
19	5,37	0,51	0,0325	4,61	4,33	4,81	4,23	NS	NS	NS	NS	NS	*
18	6,12	0,58	0,0865	4,58	4,33	4,81	4,22	NS	NS	NS	NS	NS	*
17	6,73	0,63	0,1102	4,59	4,29	4,76	4,24	NS	NS	NS	NS	NS	NS
16	6,41	0,60	0,1071	4,55	4,32	4,77	4,20	NS	NS	NS	NS	NS	NS
15	7,00	0,66	0,1092	4,56	4,30	4,81	4,25	NS	NS	NS	NS	NS	NS
14	6,61	0,62	0,0875	4,52	4,27	4,84	4,26	NS	NS	NS	NS	NS	NS
13	7,36	0,69	0,1753	4,59	4,33	4,75	4,23	NS	NS	NS	NS	NS	NS
12	7,70	0,73	0,1284	4,59	4,34	4,85	4,22	NS	NS	NS	NS	NS	NS
11	7,58	0,71	0,1076	4,55	4,31	4,86	4,25	NS	NS	NS	NS	NS	NS
10	8,10	0,76	0,1651	4,58	4,29	4,82	4,22	NS	NS	NS	NS	NS	NS
9	8,18	0,77	0,1568	4,63	4,31	4,81	4,20	NS	NS	NS	NS	NS	NS
8	8,64	0,81	0,1821	4,61	4,35	4,77	4,16	NS	NS	NS	NS	NS	NS
7	9,33	0,87	0,2712	4,56	4,31	4,75	4,21	NS	NS	NS	NS	NS	NS
6	10,61	0,99	0,2582	4,51	4,26	4,78	4,19	NS	NS	NS	NS	NS	NS
5	11,58	1,08	0,3327	4,56	4,30	4,74	4,27	NS	NS	NS	NS	NS	NS
4	12,73	1,19	0,3861	4,57	4,29	4,74	4,32	NS	NS	NS	NS	NS	NS
3	16,18	1,51	0,3681	4,63	4,23	4,77	4,15	NS	NS	NS	NS	NS	NS

n = Número de plantas por parcela experimental; CV% = Coeficiente de variação experimental; DMS = Diferença mínima significativa entre os tratamentos, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; p -valor = valor de p para o teste F da análise de variância; $\bar{x}$ T_i = média do atributo morfológico no tratamento i ; T_i $T_{i'}$ = contraste entre médias dos tratamentos T_i $T_{i'}$; * = diferença entre as médias T_i e $T_{i'}$ pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); NS = $T_i = T_{i'}$ pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA.

Tabela 3 – Estatísticas da análise de variância em função do número de plantas por parcela experimental para o atributo morfológico altura da parte aérea de mudas de ritmo rápido de crescimento (*S. terebinthifolia* e *P. guineense*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

n	CV%	DMS	p -valor	$\bar{x}$ T1	$\bar{x}$ T2	$\bar{x}$ T3	$\bar{x}$ T4	T1_T2	T1_T3	T1_T4	T2_T3	T2_T4	T3_T4
50	6,28	3,23	< 0,0001	27,5	23,0	27,8	19,7	*	NS	*	*	*	*
49	6,03	3,09	< 0,0001	27,3	23,0	27,8	19,6	*	NS	*	*	*	*
48	5,94	3,05	< 0,0001	27,5	23,1	27,7	19,7	*	NS	*	*	*	*
47	5,99	3,08	< 0,0001	27,5	23,1	27,8	19,7	*	NS	*	*	*	*
46	6,06	3,12	< 0,0001	27,4	23,1	27,8	19,7	*	NS	*	*	*	*
45	6,01	3,09	< 0,0001	27,4	23,0	27,8	19,6	*	NS	*	*	*	*
44	6,27	3,22	< 0,0001	27,5	22,9	27,8	19,7	*	NS	*	*	*	*
43	6,16	3,16	< 0,0001	27,4	23,0	27,8	19,6	*	NS	*	*	*	*
42	5,95	3,06	< 0,0001	27,4	23,0	27,9	19,7	*	NS	*	*	*	*
41	6,24	3,21	< 0,0001	27,4	23,0	27,8	19,7	*	NS	*	*	*	*
40	6,21	3,20	< 0,0001	27,5	23,1	27,7	19,6	*	NS	*	*	*	*
39	6,24	3,21	< 0,0001	27,4	23,1	27,9	19,6	*	NS	*	*	*	*
38	6,15	3,16	< 0,0001	27,4	22,9	27,9	19,7	*	NS	*	*	*	*
37	6,30	3,24	< 0,0001	27,4	23,1	27,8	19,6	*	NS	*	*	*	*

Continua...

Continuação...

36	6,48	3,32	0,0001	27,3	23,1	27,6	19,7	*	NS	*	*	*	*
35	6,36	3,27	< 0,0001	27,4	23,1	27,8	19,5	*	NS	*	*	*	*
34	6,04	3,10	< 0,0001	27,4	22,9	27,9	19,6	*	NS	*	*	*	*
33	6,50	3,33	< 0,0001	27,4	23,0	27,7	19,5	*	NS	*	*	*	*
32	6,21	3,19	< 0,0001	27,3	23,1	27,9	19,7	*	NS	*	*	*	*
31	6,38	3,27	< 0,0001	27,4	23,0	27,7	19,6	*	NS	*	*	*	*
30	6,12	3,14	< 0,0001	27,3	23,0	27,7	19,6	*	NS	*	*	*	*
29	6,26	3,21	< 0,0001	27,5	22,9	27,8	19,6	*	NS	*	*	*	*
28	6,89	3,53	0,0001	27,4	23,0	27,8	19,6	*	NS	*	*	NS	*
27	6,76	3,48	0,0001	27,5	23,0	27,9	19,7	*	NS	*	*	NS	*
26	6,81	3,50	0,0001	27,4	23,1	27,8	19,6	*	NS	*	*	*	*
25	7,07	3,64	0,0002	27,5	23,0	27,9	19,6	*	NS	*	*	NS	*
24	6,95	3,58	0,0001	27,5	22,9	27,9	19,7	*	NS	*	*	NS	*
23	6,99	3,59	0,0001	27,4	23,0	27,8	19,8	*	NS	*	*	NS	*
22	6,70	3,45	0,0003	27,4	23,1	27,9	19,7	*	NS	*	*	NS	*
21	6,87	3,53	0,0002	27,4	23,0	27,7	19,6	*	NS	*	*	NS	*
20	7,06	3,63	0,0001	27,5	23,1	27,8	19,6	*	NS	*	*	NS	*
19	6,61	3,39	0,0001	27,5	23,0	27,6	19,7	*	NS	*	*	NS	*
18	6,94	3,57	0,0001	27,4	23,1	27,9	19,6	*	NS	*	*	NS	*
17	7,37	3,78	0,0003	27,4	22,8	27,8	19,7	*	NS	*	*	NS	*
16	7,56	3,89	0,0005	27,3	23,2	27,8	19,7	*	NS	*	*	NS	*
15	7,18	3,69	0,0002	27,3	23,2	27,9	19,4	*	NS	*	*	*	*
14	7,27	3,73	0,0002	27,3	23,0	27,7	19,7	*	NS	*	*	NS	*
13	7,54	3,89	0,0004	27,4	23,3	27,8	19,6	*	NS	*	*	NS	*
12	8,08	4,14	0,0006	27,5	23,0	27,6	19,6	*	NS	*	*	NS	*
11	7,99	4,11	0,0006	27,4	23,0	27,8	19,9	*	NS	*	*	NS	*
10	8,56	4,40	0,0008	27,7	22,8	27,9	19,7	*	NS	*	*	NS	*
9	7,98	4,09	0,0016	27,1	23,1	27,8	19,8	NS	NS	*	*	NS	*
8	9,49	4,89	0,0037	27,4	23,1	28,0	19,8	NS	NS	*	NS	NS	*
7	9,72	5,00	0,0035	27,2	23,2	27,8	19,9	NS	NS	*	NS	NS	*
6	10,35	5,38	0,0086	27,6	23,4	28,0	20,0	NS	NS	*	NS	NS	*
5	9,82	5,03	0,0076	27,1	23,3	27,6	19,6	NS	NS	*	NS	NS	*
4	11,64	5,97	0,0142	27,7	23,0	27,4	19,6	NS	NS	*	NS	NS	*
3	12,66	6,55	0,0214	27,8	23,0	27,9	19,9	NS	NS	*	NS	NS	*

n = Número de plantas por parcela experimental; CV% = Coeficiente de variação experimental; DMS = Diferença mínima significativa entre os tratamentos, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; p -valor = valor de p para o teste F da análise de variância; $\bar{x}$ T_i = média do atributo morfológico no tratamento i ; $T_i - T_{i'}$ = contraste entre médias dos tratamentos $T_i - T_{i'}$; * = diferença entre as médias T_i e $T_{i'}$ pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); NS = $T_i = T_{i'}$ pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA.

Tabela 4 – Estatísticas da análise de variância em função do número de plantas por parcela experimental para o atributo morfológico diâmetro do coleto de mudas de ritmo rápido de crescimento (*S. terebinthifolia* e *P. guineense*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

<i>n</i>	CV%	DMS	p-valor	$\bar{x}$ T1	$\bar{x}$ T2	$\bar{x}$ T3	$\bar{x}$ T4	T1_T2	T1_T3	T1_T4	T2_T3	T2_T4	T3_T4
50	3,35	0,35	0,0009	5,07	4,85	5,23	4,56	NS	NS	*	*	NS	*
49	3,18	0,33	0,0007	5,08	4,85	5,23	4,56	NS	NS	*	*	NS	*
48	3,52	0,36	0,0021	5,07	4,84	5,22	4,56	NS	NS	*	*	NS	*
47	3,39	0,35	0,0016	5,06	4,86	5,22	4,56	NS	NS	*	*	NS	*
46	3,35	0,35	0,0018	5,06	4,85	5,23	4,56	NS	NS	*	*	NS	*
45	3,43	0,35	0,0015	5,06	4,86	5,23	4,57	NS	NS	*	*	NS	*
44	3,34	0,34	0,0011	5,05	4,85	5,25	4,55	NS	NS	*	*	NS	*
43	3,50	0,36	0,0021	5,06	4,84	5,25	4,55	NS	NS	*	*	NS	*
42	3,42	0,35	0,0016	5,07	4,86	5,24	4,55	NS	NS	*	*	NS	*
41	3,61	0,37	0,0021	5,05	4,84	5,23	4,55	NS	NS	*	*	NS	*
40	3,66	0,38	0,0030	5,06	4,85	5,23	4,55	NS	NS	*	NS	NS	*
39	3,60	0,37	0,0024	5,06	4,84	5,25	4,56	NS	NS	*	*	NS	*
38	3,67	0,38	0,0020	5,07	4,85	5,25	4,53	NS	NS	*	*	NS	*
37	3,81	0,39	0,0020	5,07	4,85	5,25	4,54	NS	NS	*	*	NS	*
36	3,75	0,39	0,0046	5,08	4,85	5,24	4,56	NS	NS	*	NS	NS	*
35	3,77	0,39	0,0048	5,06	4,85	5,22	4,55	NS	NS	*	NS	NS	*
34	3,71	0,38	0,0022	5,05	4,85	5,24	4,55	NS	NS	*	*	NS	*
33	3,86	0,40	0,0029	5,05	4,85	5,25	4,55	NS	NS	*	*	NS	*
32	3,69	0,38	0,0053	5,07	4,84	5,23	4,58	NS	NS	*	*	NS	*
31	4,09	0,42	0,0090	5,07	4,85	5,23	4,57	NS	NS	*	NS	NS	*
30	4,04	0,42	0,0049	5,06	4,84	5,22	4,53	NS	NS	*	NS	NS	*
29	4,04	0,42	0,0062	5,08	4,86	5,25	4,53	NS	NS	*	NS	NS	*
28	3,92	0,41	0,0063	5,07	4,86	5,24	4,54	NS	NS	*	NS	NS	*
27	4,41	0,46	0,0090	5,07	4,83	5,24	4,57	NS	NS	*	NS	NS	*
26	3,99	0,41	0,0032	5,07	4,84	5,26	4,54	NS	NS	*	*	NS	*
25	4,11	0,42	0,0140	5,07	4,85	5,22	4,56	NS	NS	*	NS	NS	*
24	4,37	0,45	0,0061	5,07	4,85	5,27	4,57	NS	NS	*	NS	NS	*
23	4,59	0,47	0,0158	5,06	4,85	5,25	4,53	NS	NS	*	NS	NS	*
22	4,54	0,47	0,0205	5,06	4,85	5,24	4,55	NS	NS	*	NS	NS	*
21	4,59	0,48	0,0207	5,07	4,85	5,24	4,59	NS	NS	*	NS	NS	*
20	4,82	0,50	0,0180	5,04	4,84	5,23	4,56	NS	NS	NS	NS	NS	*
19	4,60	0,47	0,0265	5,03	4,87	5,18	4,53	NS	NS	*	NS	NS	*
18	4,98	0,52	0,0347	5,07	4,84	5,24	4,56	NS	NS	NS	NS	NS	*
17	5,03	0,52	0,0280	5,07	4,85	5,22	4,55	NS	NS	*	NS	NS	*
16	5,43	0,56	0,0709	5,06	4,86	5,21	4,56	NS	NS	NS	NS	NS	*
15	5,47	0,56	0,0338	5,04	4,84	5,25	4,52	NS	NS	NS	NS	NS	*
14	5,49	0,57	0,0675	5,08	4,84	5,23	4,58	NS	NS	NS	NS	NS	*
13	5,38	0,56	0,0446	5,06	4,85	5,25	4,51	NS	NS	NS	NS	NS	*
12	5,71	0,59	0,0540	5,09	4,85	5,24	4,57	NS	NS	NS	NS	NS	*
11	6,33	0,65	0,0910	5,05	4,80	5,26	4,56	NS	NS	NS	NS	NS	*
10	6,55	0,68	0,1532	5,08	4,84	5,25	4,60	NS	NS	NS	NS	NS	NS
9	6,47	0,67	0,1896	5,03	4,91	5,19	4,59	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Continua...

Continuação...

8	6,66	0,69	0,1225	5,06	4,84	5,22	4,54	NS	NS	NS	NS	NS	NS
7	7,96	0,82	0,2197	5,05	4,90	5,22	4,52	NS	NS	NS	NS	NS	NS
6	8,65	0,89	0,2727	5,08	4,85	5,14	4,57	NS	NS	NS	NS	NS	NS
5	8,36	0,86	0,2265	5,04	4,83	5,20	4,63	NS	NS	NS	NS	NS	NS
4	9,55	0,99	0,2427	5,10	4,89	5,23	4,57	NS	NS	NS	NS	NS	NS
3	10,72	1,11	0,2319	5,09	4,87	5,27	4,50	NS	NS	NS	NS	NS	NS

n = Número de plantas por parcela experimental; CV% = Coeficiente de variação experimental; DMS = Diferença mínima significativa entre os tratamentos, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; p -valor = valor de p para o teste F da análise de variância; $\bar{x}$ T_i = média do atributo morfológico no tratamento i ; $T_i - T_i'$ = contraste entre médias dos tratamentos $T_i - T_i'$; * = diferença entre as médias T_i e T_i' pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); NS = $T_i = T_i'$ pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA.

Tabela 5 – Estatísticas da análise de variância em função do número de plantas por parcela experimental para o atributo morfológico altura da parte aérea de mudas de ritmo lento de crescimento (*C. glandulosa* e *P. nitens*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

n	CV%	DMS	p -valor	$\bar{x}$ T1	$\bar{x}$ T2	$\bar{x}$ T3	$\bar{x}$ T4	T1_T2	T1_T3	T1_T4	T2_T3	T2_T4	T3_T4
50	5,35	1,22	0,0007	11,9	10,4	11,6	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
49	5,18	1,18	0,0006	12,0	10,4	11,5	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
48	5,46	1,25	0,0006	11,9	10,4	11,6	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
47	5,47	1,25	0,0007	12,0	10,4	11,6	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
46	5,40	1,23	0,0010	12,0	10,3	11,5	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
45	5,53	1,26	0,0011	11,9	10,4	11,6	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
44	5,63	1,28	0,0012	11,9	10,4	11,6	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
43	5,63	1,28	0,0008	11,9	10,4	11,6	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
42	5,64	1,29	0,0009	11,9	10,4	11,6	9,5	*	NS	*	NS	NS	*
41	5,69	1,30	0,0012	11,9	10,4	11,6	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
40	5,36	1,22	0,0008	11,9	10,4	11,5	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
39	5,58	1,27	0,0008	11,9	10,4	11,6	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
38	5,42	1,24	0,0008	11,9	10,4	11,6	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
37	5,66	1,29	0,0011	11,9	10,4	11,6	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
36	5,70	1,30	0,0012	11,9	10,4	11,5	9,5	*	NS	*	NS	NS	*
35	5,68	1,29	0,0009	11,9	10,3	11,6	9,6	*	NS	*	*	NS	*
34	6,09	1,39	0,0015	11,9	10,4	11,6	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
33	5,84	1,33	0,0016	12,0	10,4	11,6	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
32	5,86	1,33	0,0015	11,9	10,3	11,6	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
31	5,96	1,36	0,0029	11,9	10,4	11,6	9,5	*	NS	*	NS	NS	*
30	6,03	1,38	0,0020	12,0	10,4	11,6	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
29	5,84	1,33	0,0015	11,9	10,4	11,6	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
28	6,25	1,43	0,0023	11,9	10,3	11,7	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
27	6,46	1,47	0,0053	11,8	10,4	11,6	9,5	NS	NS	*	NS	NS	*
26	6,23	1,42	0,0045	11,9	10,4	11,5	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
25	5,95	1,35	0,0026	11,9	10,4	11,5	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
24	6,23	1,42	0,0029	12,0	10,4	11,5	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
23	6,33	1,44	0,0027	12,0	10,4	11,6	9,6	*	NS	*	NS	NS	*

Continua...

Continuação...

22	6,37	1,45	0,0081	11,8	10,4	11,5	9,6	NS	NS	*	NS	NS	*
21	6,34	1,44	0,0043	11,9	10,4	11,5	9,5	*	NS	*	NS	NS	*
20	7,02	1,59	0,0067	11,9	10,3	11,6	9,5	*	NS	*	NS	NS	*
19	7,27	1,66	0,0091	11,9	10,3	11,7	9,5	NS	NS	*	NS	NS	*
18	6,67	1,52	0,0068	11,9	10,4	11,5	9,6	NS	NS	*	NS	NS	*
17	7,44	1,70	0,0071	12,0	10,4	11,6	9,5	NS	NS	*	NS	NS	*
16	7,49	1,71	0,0173	11,9	10,4	11,5	9,7	NS	NS	*	NS	NS	*
15	7,27	1,66	0,0111	12,0	10,3	11,5	9,6	*	NS	*	NS	NS	*
14	7,37	1,68	0,0099	11,9	10,3	11,6	9,6	NS	NS	*	NS	NS	*
13	8,06	1,83	0,0186	11,9	10,4	11,5	9,6	NS	NS	*	NS	NS	*
12	8,39	1,91	0,0224	11,9	10,4	11,5	9,5	NS	NS	*	NS	NS	*
11	8,97	2,04	0,0299	11,9	10,3	11,7	9,5	NS	NS	*	NS	NS	*
10	8,97	2,05	0,0408	11,9	10,4	11,6	9,6	NS	NS	*	NS	NS	NS
9	9,42	2,14	0,0458	11,9	10,5	11,6	9,5	NS	NS	*	NS	NS	NS
8	9,37	2,14	0,0254	12,2	10,3	11,4	9,6	NS	NS	*	NS	NS	NS
7	10,05	2,29	0,0619	11,9	10,3	11,7	9,6	NS	NS	NS	NS	NS	NS
6	11,77	2,67	0,0935	11,9	10,3	11,5	9,5	NS	NS	NS	NS	NS	NS
5	11,48	2,59	0,0949	11,9	10,1	11,4	9,6	NS	NS	NS	NS	NS	NS
4	13,05	2,96	0,1296	12,0	10,4	11,3	9,6	NS	NS	NS	NS	NS	NS
3	14,66	3,31	0,1694	11,8	10,3	11,7	9,4	NS	NS	NS	NS	NS	NS

n = Número de plantas por parcela experimental; CV% = Coeficiente de variação experimental; DMS = Diferença mínima significativa entre os tratamentos, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; p -valor = valor de p para o teste F da análise de variância; $\bar{x}$ T_i = média do atributo morfológico no tratamento i ; T_i $T_{i'}$ = contraste entre médias dos tratamentos T_i $T_{i'}$; * = diferença entre as médias T_i e $T_{i'}$ pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); NS = $T_i = T_{i'}$ pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA.

Tabela 6 – Estatísticas da análise de variância em função do número de plantas por parcela experimental para o atributo morfológico diâmetro do coleto de mudas de ritmo lento de crescimento (*C. glandulosa* e *P. nitens*) em resposta a substrato de cultivo e inoculação com fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

n	CV%	DMS	p -valor	$\bar{x}$ T1	$\bar{x}$ T2	$\bar{x}$ T3	$\bar{x}$ T4	T1_T2	T1_T3	T1_T4	T2_T3	T2_T4	T3_T4
50	3,87	0,33	0,0033	4,07	3,76	4,35	3,90	NS	NS	NS	*	NS	*
49	3,94	0,33	0,0024	4,09	3,73	4,37	3,91	*	NS	NS	*	NS	*
48	4,11	0,35	0,0039	4,09	3,77	4,36	3,88	NS	NS	NS	*	NS	*
47	4,09	0,35	0,0030	4,10	3,76	4,34	3,89	*	NS	NS	*	NS	*
46	4,32	0,37	0,0064	4,09	3,76	4,38	3,88	NS	NS	NS	*	NS	*
45	4,24	0,36	0,0030	4,10	3,75	4,38	3,90	NS	NS	NS	*	NS	*
44	4,37	0,37	0,0103	4,08	3,77	4,36	3,90	NS	NS	NS	*	NS	*
43	4,44	0,38	0,0091	4,10	3,76	4,37	3,89	NS	NS	NS	*	NS	*
42	4,16	0,35	0,0043	4,09	3,75	4,38	3,88	NS	NS	NS	*	NS	*
41	4,27	0,36	0,0030	4,05	3,75	4,37	3,89	NS	NS	NS	*	NS	*
40	4,37	0,37	0,0080	4,10	3,77	4,35	3,88	NS	NS	NS	*	NS	*
39	4,73	0,40	0,0087	4,08	3,73	4,35	3,89	NS	NS	NS	*	NS	*
38	4,86	0,41	0,0222	4,08	3,75	4,36	3,90	NS	NS	NS	*	NS	*
37	4,66	0,39	0,0126	4,09	3,76	4,38	3,89	NS	NS	NS	*	NS	*

Continua...

Continuação...

36	4,84	0,41	0,0177	4,09	3,76	4,37	3,90	NS	NS	NS	*	NS	*
35	4,75	0,40	0,0193	4,08	3,77	4,38	3,89	NS	NS	NS	*	NS	*
34	4,79	0,41	0,0108	4,09	3,78	4,37	3,92	NS	NS	NS	*	NS	*
33	5,00	0,42	0,0172	4,08	3,77	4,40	3,88	NS	NS	NS	*	NS	*
32	5,15	0,44	0,0192	4,08	3,77	4,40	3,88	NS	NS	NS	*	NS	*
31	5,16	0,44	0,0184	4,09	3,76	4,37	3,89	NS	NS	NS	*	NS	*
30	5,09	0,43	0,0204	4,09	3,76	4,36	3,88	NS	NS	NS	*	NS	*
29	5,08	0,43	0,0256	4,10	3,72	4,38	3,89	NS	NS	NS	*	NS	*
28	5,11	0,43	0,0186	4,10	3,77	4,39	3,88	NS	NS	NS	*	NS	*
27	5,90	0,50	0,0375	4,10	3,74	4,34	3,88	NS	NS	NS	*	NS	NS
26	5,56	0,47	0,0291	4,07	3,75	4,36	3,89	NS	NS	NS	*	NS	NS
25	5,92	0,50	0,0380	4,08	3,73	4,35	3,88	NS	NS	NS	*	NS	NS
24	6,07	0,51	0,0484	4,09	3,76	4,37	3,90	NS	NS	NS	*	NS	NS
23	6,09	0,52	0,0723	4,08	3,76	4,36	3,90	NS	NS	NS	*	NS	NS
22	5,97	0,50	0,0514	4,09	3,73	4,37	3,90	NS	NS	NS	*	NS	NS
21	6,31	0,53	0,0540	4,09	3,73	4,35	3,88	NS	NS	NS	*	NS	NS
20	6,21	0,52	0,0870	4,10	3,76	4,33	3,91	NS	NS	NS	*	NS	NS
19	7,18	0,61	0,0826	4,06	3,76	4,37	3,87	NS	NS	NS	*	NS	NS
18	6,86	0,58	0,1055	4,09	3,80	4,40	3,90	NS	NS	NS	*	NS	NS
17	7,42	0,63	0,0668	4,09	3,72	4,39	3,86	NS	NS	NS	*	NS	NS
16	6,98	0,59	0,0707	4,06	3,76	4,41	3,90	NS	NS	NS	*	NS	NS
15	8,31	0,69	0,2056	4,05	3,75	4,29	3,82	NS	NS	NS	NS	NS	NS
14	7,93	0,67	0,1287	4,10	3,77	4,37	3,90	NS	NS	NS	NS	NS	NS
13	7,89	0,67	0,1556	4,02	3,76	4,36	3,92	NS	NS	NS	NS	NS	NS
12	8,57	0,72	0,0995	4,12	3,71	4,36	3,87	NS	NS	NS	NS	NS	NS
11	8,80	0,74	0,1831	4,09	3,77	4,31	3,87	NS	NS	NS	NS	NS	NS
10	9,00	0,76	0,2190	4,04	3,77	4,33	3,92	NS	NS	NS	NS	NS	NS
9	10,16	0,87	0,2466	4,08	3,84	4,46	3,89	NS	NS	NS	NS	NS	NS
8	9,66	0,82	0,2815	4,10	3,78	4,33	3,89	NS	NS	NS	NS	NS	NS
7	10,90	0,91	0,3168	4,07	3,79	4,28	3,88	NS	NS	NS	NS	NS	NS
6	12,17	1,02	0,2776	4,12	3,69	4,32	3,91	NS	NS	NS	NS	NS	NS
5	13,95	1,18	0,2883	4,11	3,73	4,40	3,85	NS	NS	NS	NS	NS	NS
4	14,82	1,25	0,4173	4,08	3,79	4,29	3,95	NS	NS	NS	NS	NS	NS
3	16,54	1,41	0,2346	4,11	3,78	4,47	3,87	NS	NS	NS	NS	NS	NS

n = Número de plantas por parcela experimental; CV% = Coeficiente de variação experimental; DMS = Diferença mínima significativa entre os tratamentos, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; p -valor = valor de p para o teste F da análise de variância; $\bar{x}$ T_i = média do atributo morfológico no tratamento i ; $T_i - T_{i'}$ = contraste entre médias dos tratamentos $T_i - T_{i'}$; * = diferença entre as médias T_i e $T_{i'}$ pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); NS = $T_i = T_{i'}$ pelo teste de Tukey ($p > 0,05$); T1 = Substrato Antuérpia não inoculado com FMA; T2 = Substrato Ouro Verde não inoculado com FMA; T3 = Substrato Antuérpia inoculado com FMA; T4 = Substrato Ouro Verde inoculado com FMA.