

LUCAS SÉRGIO DE SOUSA LOPES

**ANÁLISE DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS EM EXPERIMENTO COM MEDIDAS
REPETIDAS NO TEMPO**

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

Orientador: Helio Garcia Leite
Coorientador: Rafael Rode

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2020**

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

T

L864a
2020
Lopes, Lucas Sérgio de Sousa, 1994-
Análise de métodos estatísticos em experimento com
medidas repetidas no tempo / Lucas Sérgio de Sousa Lopes. –
Viçosa, MG, 2020.
113 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Helio Garcia Leite.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.80-89.

1. Análise de variância. 2. Análise de regressão. 3. Pinus
taeda. 4. Espaçamento. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Engenharia Florestal. Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal. II. Título.

CDD 22. ed. 634.96

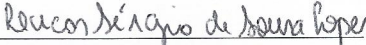
LUCAS SÉRGIO DE SOUSA LOPES

**ANÁLISE DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS EM EXPERIMENTO COM
MEDIDAS REPETIDAS NO TEMPO**

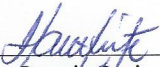
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de fevereiro de 2020.

Assentimento:



Lucas Sérgio de Sousa Lopes
Autor



Helio Garcia Leite
Orientador

*Aos meus pais Lucia e Mário,
Aos maiores incentivadores, vô Luiz, vó Maria e tia Luciane
Dedico!*

AGRADECIMENTOS

A Deus, nosso senhor, que me permitiu chegar até aqui.

Aos meus pais, Lucia e Mario, pelo apoio, carinho e incentivos constantes.

Ao meu orientador Helio Garcia Leite, por toda confiança, paciência e disponibilidade em compartilhar o seu conhecimento.

Ao meus coorientadores, Rafael Rode e Carlos Pedro Boechat, pelos conhecimentos repassados nas salas de aula e contribuições ao trabalho.

Ao Daniel Binoti pela disponibilidade em participar da banca examinadora com suas contribuições.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Florestal da UFV, em especial Alexandre e Dilson por toda a prestatividade e disponibilidade de sempre.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de estudos concedida.

A Melinda Alves por todo apoio, carinho e compreensão durante esta etapa.

A minha família viçosense, Ivaldo, Gabriela, Fernanda, Júlia, Jadson, Fernanda, Bruna, Gustavo, Gabriel, Sindy, Debora, Cátia, Gian, Fardin, Amana, Maria Tereza, Thales e Aline pela amizade e apoio essenciais na jornada de pós-graduação.

A todos os meus familiares e amigos que me apoiaram e incentivaram durante esses dois anos de pós-graduação.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

“Amar e mudar as coisas me interessa mais.”

Belchior

RESUMO

LOPES, Lucas Sérgio de Sousa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2020. **Análise de métodos estatísticos em experimento com medidas repetidas no tempo.** Orientador: Helio Garcia Leite. Coorientador Rafael Rode.

O objetivo principal do presente estudo foi comparar diferentes métodos estatísticos e indicar a melhor alternativa para análise de dados de experimentos com medidas quantitativas repetidas no tempo. Para isso utilizamos um banco de dados obtido de um experimento de espaçamento conduzido em um povoamento de *Pinus taeda* L instalado no município de Otacílio Costa/Santa Catarina. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com três repetições e 9 tratamentos (espaçamentos) em cada bloco (1,5 x 2 m; 1,5 x 2,5 m; 1,5 x 3 m; 2,5 x 2 m; 2,5 x 2,5 m; 2,5 x 3 m; 3,5 x 2 m; 3,5 x 2,5 m; 3,5 x 3 m). A mensuração das árvores ocorreu anualmente nas idades de 3 a 16 anos. Foram testados três métodos estatísticos para avaliar o efeito dos espaçamentos: Análise de variância (ANOVA) e testes de significância de médias (Com análises específicas para cada idade e considerando como subparcela o tempo); métodos multivariados (combinação entre duas técnicas multivariadas: Análise de componentes principais e método de agrupamento de Tocher) e análise de regressão para a produção de madeira. As tendências médias de crescimento em diâmetro a 1,3 m de altura, altura total, volume comercial do fuste, área seccional média, área basal e volume por hectare mostram que as maiores produções são obtidas nos menores espaçamentos. A elaboração de *rankings* comparativos entre os métodos demonstrou que há discordância entre os resultados gerados por cada método estatístico, uma vez que cada um dos métodos formou agrupamentos distintos. O problema em considerar as discrepâncias entre o agrupamento gerados pelos métodos distintos para uma mesma variável reside na tomada de decisão quanto a que espaçamento adotar. Concluiu-se que para estudos de análise dos efeitos dos espaçamentos em experimentos silviculturais, deve-se considerar a influência do método estatístico aplicado e que a análise de dados de experimentos com variáveis quantitativas empregando análise de variância e teste de médias deve ser evitada. A análise de regressão se mostrou o método mais adequado para avaliar o efeito dos espaçamentos na produção de madeira.

Palavras-chave: Análise de variância. Identidade de modelos. Análise de regressão. Pinus. Espaçamento.

ABSTRACT

LOPES, Lucas Sérgio de Sousa, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2020. **Analysis of statistical methods in experiment with measures repeated in time.** Advisor: Helio Garcia Leite. Co-adviser: Rafael Rode.

The main objective of this study was to compare different statistical methods and indicate the best alternative for analyzing data from experiments with quantitative measures repeated over time. For this, we used a database obtained from a spacing experiment conducted in a stand of *Pinus taeda* L installed in the municipality of Otacílio Costa / Santa Catarina. The experimental design used was in randomized blocks with three replications and 9 treatments (spacings) in each block (1.5 x 2 m; 1.5 x 2.5 m; 1.5 x 3 m; 2.5 x 2 m; 2.5 x 2.5 m; 2.5 x 3 m; 3.5 x 2 m; 3.5 x 2.5 m; 3.5 x 3 m). The measurement of the trees occurred annually at the ages of 3 to 16 years. Three statistical methods were tested to evaluate the spacing effect: Analysis of variance (ANOVA) and tests of significance of averages (With specific analyzes for each age and considering time as a subplot); multivariate methods (combination of two multivariate techniques: principal component analysis and Tocher's grouping method) and regression analysis for wood production. The average growth trends in diameter at 1.3 m in height, total height, commercial volume of the bole, average sectional area, basal area and volume per hectare show that the highest yields are obtained in the smallest spacing. The elaboration of comparative rankings between the methods demonstrated that there is a discrepancy between the results generated by each statistical method, since each of the methods formed different clusters. The problem in considering the discrepancies between the grouping generated by the different methods for the same variable lies in the decision making as to what spacing to adopt. It was concluded that for studies of analysis of the effects of spacing in silvicultural experiments, the influence of the applied statistical method must be considered and that the analysis of data from experiments with quantitative variables using analysis of variance and test of means should be avoided. Regression analysis proved to be the most appropriate method to assess the effect of spacing on wood production.

Keywords: Analysis of variance. Models identity. Regression analysis. *Pinus*. Spacing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema metodológico mais empregado para análise de experimentos de espaçamento em povoamentos equianêos	16
Figura 2 - Croqui simplificado do experimento de espaçamento de <i>Pinus taeda</i> L.....	19
Figura 3 - Esquema ilustrativo da aplicação do método de agrupamento por otimização de Tocher.....	24
Figura 4 - Tendências médias de crescimento de seis variáveis de <i>Pinus taeda</i> L. em diferentes espaçamentos em um experimento instalado na região sul do Brasil.	28
Figura 5 – Dispersão dos escores de nove espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L, em relação aos dois primeiros componentes principais obtidos a partir das variáveis dendrométricas e de povoamento de <i>Pinus taeda</i> L. por idade	55
Figura 6 - Incremento médio anual – IMA (linha pontilhada); incremento corrente anual – ICA e idade técnica de corte – ITC (em anos) para nove espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L obtidos a partir do modelo de Gompertz.....	73
Figura 7 - Distribuição diamétrica para os 9 espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L. avaliados na idade de 16 anos.	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativas dos parâmetros estimados do modelo de Schumacher e Hall (1933) para estimativa $\ln V = \beta_0 + \beta_1 \ln dap + \beta_2 \ln ht$ do volume comercial do fuste de árvores de <i>Pinus</i>	21
Tabela 2 - Médias por tratamento e por idade de diâmetro a 1,3 m de altura – dap (cm) para <i>Pinus taeda</i> L, considerando um delineamento em blocos casualizados	30
Tabela 3 - Médias por tratamento e por idade de diâmetro a 1,3 m de altura – dap (cm) para <i>Pinus taeda</i> L, considerando um experimento de parcelas subdivididas	31
Tabela 4 - Ranking comparativo entre os métodos ANOVA em cada idade e ANOVA em parcelas subdivididas para dos nove espaçamentos a partir das médias discriminadas pelo teste Tukey $\alpha=5\%$, para a variável diâmetro a 1,3 m de altura (dap)	32
Tabela 5 - Médias por tratamento e por idade de altura total – Ht (m) para <i>Pinus taeda</i> L, considerando um delineamento em blocos casualizados.....	34
Tabela 6 - Médias por tratamento e por idade de altura total – Ht (m) para <i>Pinus taeda</i> L, considerando um experimento de parcelas subdivididas.....	35
Tabela 7 - Ranking comparativo entre os métodos ANOVA em cada idade e ANOVA em parcelas subdivididas para dos nove espaçamentos a partir das médias discriminadas pelo teste Tukey $\alpha=5\%$, para a variável altura total (ht).....	36
Tabela 8 - Médias por tratamento e por idade de volume comercial do fuste sem casca – V (m ³) para <i>Pinus taeda</i> L, considerando um delineamento em blocos casualizados	38
Tabela 9 - Médias por tratamento e por idade de volume comercial do fuste sem casca – V (m ³) para <i>Pinus taeda</i> L, considerando um experimento de parcelas subdivididas	39
Tabela 10 - Ranking comparativo entre os métodos ANOVA em cada idade e ANOVA em parcelas subdivididas para dos nove espaçamentos a partir das médias discriminadas pelo teste Tukey $\alpha=5\%$, para a variável volume comercial do fuste sem casca (v)	40
Tabela 11 - Médias por tratamento e por idade de área seccional – g (m ²) para <i>Pinus taeda</i> L, considerando um delineamento em blocos casualizados.....	42
Tabela 12 - Médias por tratamento e por idade de área seccional – g (m ²) para <i>Pinus taeda</i> L, considerando um experimento de parcelas subdivididas.....	43
Tabela 13 - Ranking comparativo entre os métodos ANOVA em cada idade e ANOVA em parcelas subdivididas para dos nove espaçamentos a partir das médias discriminadas pelo teste Tukey $\alpha=5\%$, para a variável área seccional média	44

Tabela 14 - Médias por tratamento e por idade de área basal – AB (m ² /ha) para <i>Pinus taeda</i> L, considerando um delineamento em blocos casualizados.....	46
Tabela 15 - Médias por tratamento e por idade de área basal – AB (m ² /ha) para <i>Pinus taeda</i> L, considerando um experimento de parcelas subdivididas.....	47
Tabela 16 - Ranking comparativo entre os métodos ANOVA em cada idade e ANOVA em parcelas subdivididas para dos nove espaçamentos a partir das médias discriminadas pelo teste Tukey $\alpha=5\%$, para a variável área basal – AB (m ² /ha)	48
Tabela 17 - Médias por tratamento e por idade de volume por área – Vha (m ³ /ha) para <i>Pinus taeda</i> L, considerando um delineamento em blocos casualizados	50
Tabela 18 - Médias por tratamento e por idade de volume por área – Vha (m ³ /ha) para <i>Pinus taeda</i> L, considerando um experimento de parcelas subdivididas	51
Tabela 19 - Ranking comparativo entre os métodos ANOVA em cada idade e ANOVA em parcelas subdivididas para dos nove espaçamentos a partir das médias discriminadas pelo teste Tukey $\alpha=5\%$, para a variável volume por área – Vha (m ³ /ha)	52
Tabela 20 - Agrupamento dos nove espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 3 anos do método de Tocher	58
Tabela 21 - Agrupamento dos nove espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 4 anos do método de Tocher	58
Tabela 22 - Agrupamento dos nove espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 5 anos do método de Tocher	59
Tabela 23 - Agrupamento dos nove espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 6 anos do método de Tocher	59
Tabela 24 - Agrupamento dos nove espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 7 anos do método de Tocher	60
Tabela 25 - Agrupamento dos nove espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 8 anos do método de Tocher	60
Tabela 26 - Agrupamento dos nove espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 9 anos do método de Tocher	62
Tabela 27 - Agrupamento dos nove espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 10 anos do método de Tocher	62
Tabela 28 - Agrupamento dos nove espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 11 anos do método de Tocher	63
Tabela 29 - Agrupamento dos nove espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 12 anos do método de Tocher	63

Tabela 30 - Agrupamento dos nove espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 13 anos do método de Tocher	64
Tabela 31 - Agrupamento dos nove espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 14 anos do método de Tocher	65
Tabela 32 - Agrupamento dos nove espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 15 anos do método de Tocher	66
Tabela 33 - Agrupamento dos nove espaçamentos de <i>Pinus taeda</i> L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 16 anos do método de Tocher	67
Tabela 34 - Ranking dos agrupamentos formados pelo método de Tocher, ANOVA e teste de significância para os nove espaçamentos, considerando a variável volume por área – Vha (m ³ /ha)	69
Tabela 35 - Estimativas dos parâmetros do modelo de Gompertz; coeficiente de correlação entre os volumes sem casca observados e estimados na escala original de medida, em m ³ ha ⁻¹ , (ryy) e erro-padrão residual das estimativas (Sy. x) ajustadas para <i>Pinus taeda</i> L, y = m ³ ha ⁻¹	70
Tabela 36 - Matriz de p-valores para o teste de identidade das equações geradas pelo modelo de Gompertz. para volume por área (m ³ ha ⁻¹) em cada par de espaçamento de <i>Pinus taeda</i> L.	72
Tabela 37 - Ranking comparativo entre os quatro métodos estatísticos utilizados para avaliar os nove espaçamentos, nas idades de 12 a 16 anos.....	75

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1 Gênero Pinus no Brasil	14
2.2 Experimentos de espaçamento	15
2.3 Métodos estatísticos univariados	16
2.3.1 Análise de variância (ANOVA)	16
2.3.2 Análise de regressão	17
2.4 Métodos estatísticos multivariados	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Caracterização da área de estudo e do experimento.....	19
3.2 Métodos estatísticos.....	21
3.2.1 Análise de variância (ANOVA) e testes de significância de médias.....	21
3.2.2 Métodos multivariados.....	22
3.2.3 Análise de regressão	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1 Relações entre variáveis e espaçamentos	27
4.2 Análise de variância univariada e significância	29
4.3 Análise multivariada	53
4.4 Análise de regressão	70
4.5 Considerações gerais sobre as abordagens	76
5. CONCLUSÕES	79
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
7. APÊNDICES.....	90

1. INTRODUÇÃO

A densidade de plantio e as características do local são determinantes para o crescimento de árvores em povoamentos equiâneos (CARDOSO *et al.*, 2013). Segundo Patiño-Valera (1986) o potencial para a produção de madeira de uma determinada área é definido pela qualidade daquele local, ao passo que, o crescimento alcançado está relacionado, entre outros fatores, como a densidade do plantio. Por isso, é comum a condução de pesquisas visando determinar o espaçamento e o arranjo espacial para diferentes genótipos em diferentes locais e características.

As pesquisas com espaçamento têm sido conduzidas para diferentes espécies com o intuito de expressar como as principais variáveis dendrométricas e de povoamento respondem as distintas condições de densidade inicial (BALDWIN *et al.*, 2000; LEITE *et al.*, 2006a; ELOY *et al.*, 2014). Diversos trabalhos comparando diferentes espaçamentos é conduzida a partir de um protocolo de experimentos em blocos ao acaso, com medições anuais. Os dados obtidos nesses experimentos têm sido analisados, principalmente, empregando análise de variância (ANOVA) seguida da aplicação de testes de significância (SANQUETTA *et al.*, 2003; LEITE *et al.*, 2006a; HÉBERT *et al.*, 2016).

Em princípio a ANOVA seguida da aplicação de testes de significância é uma abordagem frágil, que permite apenas inferir sobre a igualdade dos efeitos devido ao espaçamento de plantio e arranjo espacial testados no experimento (SHARMA *et al.*, 2002; NOGUEIRA *et al.*, 2008; CARDOSO *et al.*, 2013; NAGAR *et al.*, 2015).

Em alguns casos a ANOVA seguida da aplicação de testes de médias tem sido substituída pela análise de regressão (BINKLEY *et al.*, 2017a). Nesse caso, por exemplo, testes de identidade de modelos têm sido utilizados na comparação dos efeitos devido a espaçamento (CERQUEIRA *et al.*, 2019). Além desses testes, o emprego de regressão permite estimar a produção e a produtividade média para cada tratamento e comparar estas estimativas em relação ao espaçamento (ou a qualquer outro tratamento, como subsolagem e fertilização), desde que estejam disponíveis pelo menos três (3) medições das parcelas experimentais (PEREIRA *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2017a). Mas ainda há um predomínio expressivo da ANOVA e testes de significância.

Grande parte das pesquisas na área florestal envolvem tratamentos ou fatores quantitativos. Nesses casos se o número de níveis dos tratamentos for maior que 3, a análise de regressão é o método indicado (DEMETRIO, 2001; PAULA, 2006). Seu uso permite avaliar o efeito e, em determinados casos, encontrar um nível ótimo para o que está sendo testado (OLIVEIRA NETO *et al.*, 2010; GAZOLA *et al.*, 2015). Uma sugestão que sempre pode ser

seguida na análise de dados é: Quando o fator for qualitativo, utiliza-se análise de variância e caso necessário, teste de significância. Para fatores qualitativos com dois níveis, teste F e para fator quantitativo com mais de dois níveis, análise de regressão e seus desdobramentos. E em alguns casos a análise multivariada pode ser considerada (SANTOS *et al.*, 2006; CASTRO *et al.*, 2013).

Embora haja um grande número de pesquisas com espaçamentos utilizando diversas técnicas estatísticas em suas análises, não há trabalhos que sintetizem quais conclusões são geradas e seu impacto em tomadas de decisão, por exemplo. Assim, o objetivo do presente estudo foi comparar diferentes métodos estatísticos e indicar a melhor alternativa para análise de dados de experimentos com medidas quantitativas repetidas no tempo. Para isto utilizamos um banco de dados obtido de um experimento de espaçamento conduzido em um povoamento de *Pinus taeda* L. A hipótese avaliada foi: $H_{0(1)}$: A análise de dados de experimentos com variáveis quantitativas empregando análise de variância e testes de médias; métodos multivariados e análise de regressão conduzem a mesma interpretação e conclusões sobre efeitos do espaçamento, versus $H_{a(1)}$: Não $H_{0(1)}$.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Gênero *Pinus* no Brasil

Dentre as espécies *Pinus* de maior destaque em termos de reflorestamento no Brasil, estão: *Pinus elliottii* e *Pinus taeda* L (IBA, 2019). O cultivo em grande escala começou com os incentivos fiscais governamentais que ocorreram nas décadas de 1960 a 1980, com intuito de fortalecer o setor de celulose e papel e de amenizar as pressões na exploração de espécies nativas (DOSSA *et al.*, 2002; SHIMIZU, 2008).

Nas décadas mais recentes o uso e aplicação da madeira do gênero *Pinus* cresceu substancialmente, transformando sua madeira em matéria-prima essencial para o setor produtivo, desempenhando relevante importância para a economia brasileira (VASQUEZ *et al.*, 2007; ARAÚJO *et al.*, 2017).

A área de cultivo de *Pinus* no Brasil era de 1,6 milhões de hectares em 2018, concentrados principalmente na região Sul do país (IBA, 2019; IBGE, 2018). As condições edáficas e climáticas do Brasil permitiram a adaptação e sucesso dos reflorestamentos com *Pinus*, garantindo taxas de produtividade média superior a países como Estados Unidos, Canadá e China, contribuindo para a liderança do Brasil no ranking global de produtividade florestal (BORDERS; BAILEY, 2001; IBA, 2017).

Os reflorestamentos de *Pinus* passaram a sustentar diversas cadeias produtivas no Brasil (papel e celulose, siderurgia e carvão vegetal e madeira sólida) principalmente na região Sul do país. Isto justifica a necessidade de compreender sobre os componentes fundamentais para o seu manejo adequado, como seu crescimento e produção (VASQUEZ *et al.*, 2007).

2.2 Experimentos de espaçamento

O desenvolvimento de uma árvore está associado a diferentes fatores relacionados ao ambiente (luz, temperatura, solos e água) e ao povoamento, como a densidade e desbastes (SCOLFORO, 1997; BALLONI; SIMÕES, 1980). Tais elementos inerentes ao povoamento influem diretamente nas características dendrométricas das árvores, na qualidade dos produtos obtidos e no sortimento gerado e na qualidade dos produtos gerados (ANDRADE *et al.*, 2007; BINKLEY *et al.*, 2017).

Dois fatores estão intrinsecamente relacionados com o desenvolvimento das árvores de um povoamento equiâneo: a densidade de plantio e as características do local (CARDOSO *et al.*, 2013). Segundo Patiño-Valera (1986), o potencial para a produção de madeira de uma determinada área é definido pela qualidade dos fatores de crescimento daquele local, ao passo que, o crescimento alcançado está relacionado, entre outros fatores, com a densidade de plantio.

O crescimento de uma floresta está intrinsecamente relacionado às condições de competição por luz e nutrientes disponíveis no solo a qual as árvores estão condicionadas (SILVA, 1990). Em espaçamentos mais adensados, a utilização da luz captada pelo dossel das árvores tende a ser mais eficiente do que nos espaçamentos mais amplos (AKERS *et al.*, 2013). Essa eficiência permite maior interceptação da radiação solar, conseqüentemente, gerando maior biomassa por área nas maiores densidades (CHMURA; TJOELKER, 2008).

O espaçamento inicial tem influência direta nas práticas silviculturais, nas taxas de mortalidade e dominância das árvores, no manejo e na colheita, impactando nos custos de produção e na produtividade (SANQUETTA *et al.*, 2003; CORDEIRO *et al.*, 2018).

A escolha do espaçamento é importante para o sucesso do empreendimento florestal. Por isso muitas pesquisas concentraram-se na avaliação do comportamento das variáveis dendrométricas e de povoamento de *Pinus* em diferentes condições de densidade inicial (BALDWIN *et al.*, 2000; LEITE *et al.*, 2006a; ELOY *et al.*, 2014).

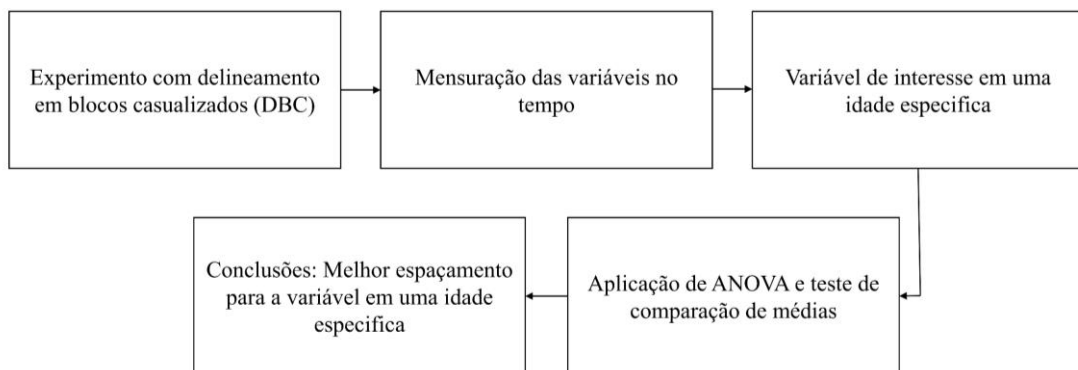
As primeiras pesquisas com espaçamentos de *Pinus* no Brasil limitavam-se a avaliar relações entre o espaço vital e variáveis como diâmetro a altura de 1,3 m (*dap*), volume individual e por área (GOMES *et al.*, 1997; SANQUETTA *et al.*, 2003; SANQUETTA *et al.*, 2004). Posteriormente, novas investigações passaram a utilizar horizontes de avaliação maiores,

superiores a 20 anos, demonstrando que para plantios maduros, a densidade inicial pouco influencia em variáveis como volume por área (BALDWIN *et al.*, 2000; SHARMA *et al.*, 2002).

O esquema metodológico mais utilizado para tais avaliações de experimentos de espaçamento, em síntese, baseia-se na instalação de um experimento com delineamento experimental em blocos casualizados, sendo as variáveis dendrométricas obtidas através de mensurações anuais nas unidades experimentais. Na maioria das vezes os dados obtidos são submetidos à análise de variância (ANOVA) seguida da aplicação de testes de médias (ARAÚJO *et al.*, 2014).

Um esquema de análise usual utilizado na avaliação de experimentos em que um dos fatores é o espaçamento e, ou, arranjo espacial de plantio está resumido na Figura 1. A idade específica indicada nesta figura é na maioria das vezes aquela da última medição disponível no experimento. Embora a aplicação da ANOVA seja informativa, os resultados discriminam apenas as diferenças entre os meios de tratamento avaliados (SHARMA *et al.*, 2002).

Figura 1 - Esquema metodológico mais empregado para análise de experimentos de espaçamento em povoamentos equianêos



2.3 Métodos estatísticos univariados

2.3.1 Análise de variância (ANOVA)

A análise de variância (ANOVA) é um procedimento estatístico utilizado para

2.3.2 Análise de regressão

Em alguns casos é desejável conhecer os efeitos que algumas variáveis exercem sobre outras. Mesmo que não exista relação causal entre as variáveis podemos relacioná-las por meio de uma expressão estatística, que pode ser útil para se estimar o valor de uma das variáveis quando conhecemos os valores das outras sob determinadas condições (HOFFMANN; VIEIRA 1987).

A palavra regressão foi incorporada na linguagem estatística por Francis Galton para designar a expressão de uma variável como função de uma ou mais variáveis, posteriormente Karl Pearson validou experimentalmente o termo, através da observação das relações entre altura de grupos de familiares (CECON *et al.*, 2012; ALDRICH, 2013). A análise de regressão diz respeito ao estudo da dependência de uma variável, a variável dependente, em relação a uma ou mais variáveis, as variáveis explanatórias, visando estimar e, ou, prever o valor médio (da população) da primeira em termos dos valores conhecidos ou fixados (em amostragens repetidas) das segundas (GUJARATI; PORTER, 2011).

No campo florestal, a análise de regressão é uma ferramenta indispensável aos gestores, uma vez que permite a obtenção indireta, por meio de estimativas, de variáveis de interesse, como altura total (MENDONÇA *et al.*, 2015) volume comercial das árvores (SILVA *et al.*, 2009) forma do fuste (LEITE *et al.*, 2011), produção quantificada em volume por área e também os sistemas de equação para predição ou projeção do crescimento e produção florestal (SANTOS *et al.*, 2017a).

Os modelos utilizados para predição e, ou, projeção da produção de povoamentos florestais são classificados em três tipos:

Modelos de crescimento e produção em nível de povoamento: explicam o crescimento do povoamento como um todo, através de variáveis como idade, área basal e sítio. Tais modelos podem representar relações funcionais como produção = $f(\text{idade})$, bem como, produção volumétrica em função de variáveis como idade e idade e índice de sítio (CAMPOS; LEITE, 2017).

Modelos de distribuição de diâmetros (MDD): esses modelos estimam o número de árvores por hectare por classe de diâmetro nas idades presentes e futuras (BURKHART *et al.*, 1981). Os MDD permitem que as alterações ocorridas em um período de tempo na estrutura diamétrica sejam descritas (LEITE *et al.*, 2005; SOARES *et al.*, 2007). A partir daí, utilizando-se de uma equação de *taper* ou razão volumétrica, é possível estimar a produção por classe de diâmetro, sendo significativo para situações em que há interesse em multiprodutos de madeira (NOGUEIRA *et al.*, 2006; CAMPOS; LEITE, 2017).

Modelos de árvores individuais (MAI): são aqueles cuja unidade de modelagem é a própria árvore, que é utilizada para simular o crescimento das variáveis dendrométricas (como *dap*; altura total e volume do fuste) e a probabilidade de mortalidade (CAMPOS; LEITE, 2017; SHARMA *et al.*, 2019). A classificação dos modelos de árvores individuais se divide em modelos é dependente do tipo do índice de competição adotado, podendo ser dependente da distância (CASTRO *et al.*, 2014), semi-independente da distância (REIS *et al.*, 2016) e independente da distância (MARTINS *et al.*, 2011).

2.4 Métodos estatísticos multivariados

Os métodos estatísticos utilizados para analisar dados de delineamentos experimentais podem ser classificados em dois grandes grupos: a estatística univariada, que se reporta a estatística, avaliando as variáveis de maneira isolada e um outro grupo que se reporta as variáveis de forma conjunta – a estatística multivariada (VICINI, 2005).

Em problemas com grande quantidade de informações, os métodos tradicionais de caráter descritivos e univariados podem não revelar muitas interpretações, devido suas limitações em representar associações complexas existentes no fenômeno estudado (LOESCH; HOELTGEBAUM, 2017). Nestes casos, o tratamento do problema a partir de uma abordagem estatística multivariada é interessante (HADLER; SIMAR, 2007).

A denominação de análise multivariada recaí sobre todas as técnicas estatísticas que analisam de forma simultânea mais de duas variáveis (HAIR *et al.*, 2009). As estatísticas multivariadas são definidas por CORRAR *et al.* (2014) como qualquer método estatístico cuja abordagem permita a realização de uma análise simultânea dos dados experimentais para um ou mais indivíduos (populações ou amostras) assinalados por mais de duas variáveis correlacionadas, sendo que tais variáveis podem ser quantitativas (discretas ou contínuas) ou qualitativas (ordinais ou nominais). No entanto, segundo HAIR *et al.* (2009) para ser considerada genuinamente multivariada, todas as variáveis devem ser aleatórias e inter-relacionadas e seus distintos efeitos não podem ser interpretados de forma independente.

Nos métodos multivariados é feita uma exploração conjunta das variáveis envolvidas, de modo a determinar a influência ou importância de cada uma, estando as demais presentes (CORRAR *et al.*, 2014). Segundo Mingoti (2013) as técnicas de estatística multivariada estão divididas em dois grupos: um primeiro consistindo em técnicas exploratórias de sintetização (ou simplificação) da estrutura de variabilidade dos dados, e um segundo, consistindo em técnicas de inferência estatística.

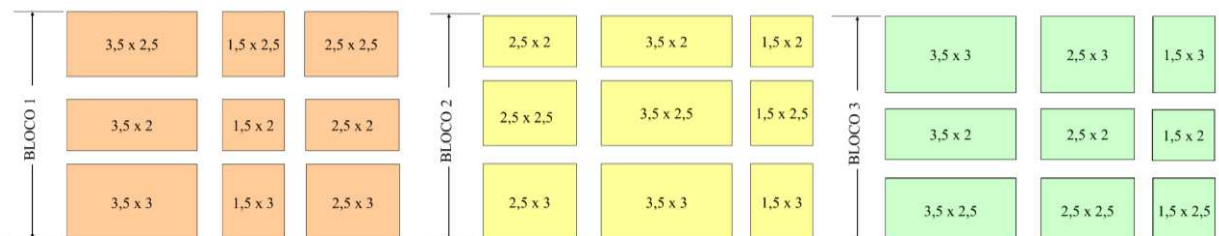
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo e do experimento

Para a realização da presente pesquisa, foram utilizados dados de um experimento de espaçamento com a espécie *Pinus taeda* L instalado no município de Otacílio Costa/Santa Catarina (27° 29' 15" Sul, 50° 7' 4" Oeste) na região do planalto serrano sul-catarinense. A classificação climática da região, de acordo com Köppen-Geiger é de clima temperado (Cfb) com temperatura média anual de 16,3°C e pluviosidade média anual de 1519 mm (ALVARES *et al.*, 2013). O tipo de solo predominante é o Cambissolo álico Tb A, de coloração brunada ou vermelho-amarelada com textura argilosa, fortemente ácidos e dotados de baixa fertilidade natural (MENDES *et al.*, 2012). A região está inserida no bioma da Mata Atlântica, com predominância de Floresta Ombrófila Mista. No entanto, atualmente, grande parte da área do município é coberta por reflorestamentos de caráter comercial, principalmente com o gênero *Pinus* (MENDES *et al.*, 2012).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com três repetições e 9 tratamentos (espaçamentos) em cada bloco (Figura 2). A mensuração das árvores ocorreu anualmente nas idades de 3 a 16 anos.

Figura 2 - Croqui simplificado do experimento de espaçamento de *Pinus taeda* L.



Cada unidade experimental foi composta por 60 árvores. Ao longo dos 14 anos foram medidos os diâmetros a 1,3 m de altura (*dap*) e altura total (*Ht*) de todas as árvores. O volume dessas das árvores foi estimado anualmente utilizando equações volumétricas obtidas com o ajuste do modelo de Schumacher e Hall (1933).

$$\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln dap + \beta_2 \ln ht + \varepsilon \quad (\text{Eq. 1})$$

em que: \ln = logaritmo neperiano; V = volume comercial do fuste (madeira + casca) em m^3 ; dap = diâmetros a 1,3 m de altura com casca, em cm; ht = altura total, em m; β_0 a β_2 = parâmetros

do modelo; ε = erro aleatório, $\varepsilon \sim NID(\theta, \sigma^2)$. As equações de volume já estavam disponíveis durante a condução deste presente estudo e se encontram listadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Estimativas dos parâmetros estimados do modelo de Schumacher e Hall (1933) para estimativa $\ln(V) = \beta_0 + \beta_1 \ln dap + \beta_2 \ln ht$ do volume comercial do fuste de árvores de Pinus

Idade (anos)	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	$\widehat{\beta}_2$
3 - 6	-9,37848601	1,75019691	0,93239067
7	-9,85121896	1,70324486	1,20595256
8	-9,64570406	1,8568112	0,93918127
9	-10,4122253	1,75587955	1,33650468
10	-9,85455369	1,82642313	1,04309612
11	-10,9762832	1,81723791	1,45145149
12	-10,3776779	2,10501707	0,93626055
13	-10,4716084	1,98686937	1,08634211
14	-9,96355491	2,00105649	0,90012221
15	-10,4681472	2,04510891	1,01334886
16	-10,1983421	2,17088353	0,80081256

As equações da Tabela 1 foram utilizadas para totalizar as unidades experimentais, sendo obtidos, para cada idade, as seguintes variáveis: diâmetro a 1,3m de altura (*dap*); altura total (*ht*); volume individual do fuste (*V*); área seccional média (*g*); área basal (*AB*) e volume por hectare (*Vha*).

3.2 Métodos estatísticos

3.2.1 Análise de variância (ANOVA) e testes de significância de médias

Inicialmente foram feitas análises específicas para cada idade, considerando cada idade como um experimento isolado. Em seguida a idade foi considerada como subparcela e os dados foram analisados considerando o esquema de parcelas subdivididas (EPS). Em ambos os casos o teste de significância utilizado foi o de Tukey, para 5% de significância.

O modelo estatístico para cada idade foi:

$$y_{ij} = m + b_j + t_i + e_{ij} \quad (2), \text{ em que:}$$

y_{ij} = valor observado da variável estudada, no espaçamento i ($i = 1, 2, \dots, I$) no bloco j ($j = 1, 2, \dots, J$).

m = média geral da variável, considerando todas as observações do experimento.

b_j = efeito do bloco j .

t_i = efeito do espaçamento i .

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

Os espaçamentos foram considerados como tratamentos principais (Fator A) e as idades como tratamentos secundários (Fator B). O modelo estatístico é:

$$y_{klj} = m + b_j + A_k + e_{kj} + B_l + AB_{kl} + e_{klj} \quad (3), \text{ em que:}$$

y_{klj} = valor observado da variável estudada, na parcela k ($k = 1, 2, \dots, K$), na subparcela l ($l = 1, 2, \dots, L$), no bloco j ($j = 1, 2, \dots, J$).

m = média geral da variável estudada, considerando todas as observações do experimento.

b_j = efeito do bloco j .

A_k = efeito da parcela k .

e_{kj} = erro associado à parcela y_{kj} , ou à observação y_{kj} , ou efeito dos fatores não-controlados sobre a observação y_{kj} (interação entre parcelas e blocos).

B_l = efeito da subparcela l .

AB_{kl} = efeito da interação entre a parcela k e a subparcela l .

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

As variáveis (y) utilizadas para as análises foram: diâmetros a 1,3 m de altura (dap); altura total (ht); volume individual do fuste (V); área seccional média (g); área basal (AB) e volume por hectare (Vha). Para análise comparativa entre os métodos estatísticos utilizados foram elaborados *rankings* de comparação enumerando os espaçamentos de 1 a 9 conforme a atribuição do método. Onde 1 = a maior média e 9 = menor média. Dessa forma, espaçamentos considerados iguais por um método, recebiam o mesmo número. A elaboração destes *rankings* permitiu os resultados dos métodos estatísticos com naturezas distintas.

3.2.2 Métodos multivariados

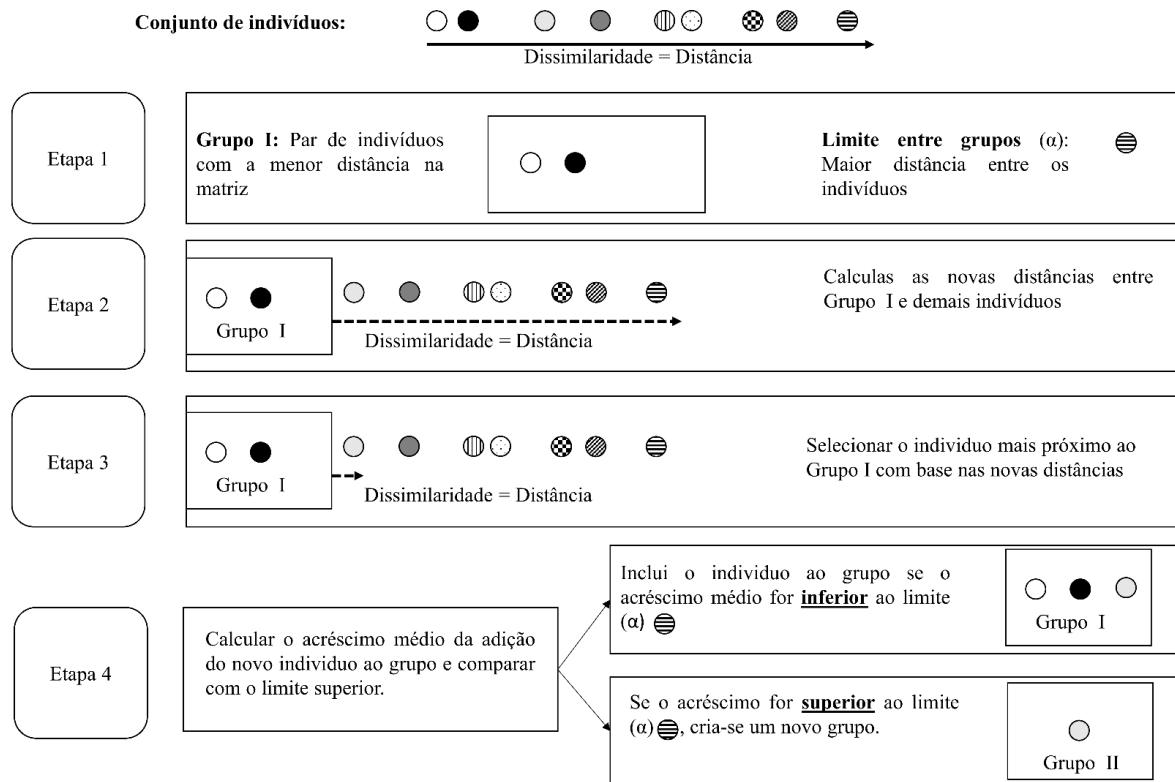
Para análise dos espaçamentos mediante estatística multivariada, utilizou-se uma combinação entre duas técnicas multivariadas: O método de agrupamento por otimização de Tocher e a análise de componentes principais. Essa combinação foi proposta por Garcia (1998) para a avaliação de efeitos de variáveis dendrométricas, da madeira e da polpa de celulose em diferentes clones de eucalipto.

Em síntese, no caso da presente pesquisa, a combinação destas técnicas consiste no agrupamento dos espaçamentos avaliados com base nas variáveis do item 3.2.1 (acrescidas da variável porcentagem de casca) simultaneamente, através do método de Tocher. Posteriormente, são obtidas as importâncias relativas de cada uma das variáveis, através da análise de componentes principais. A variável de menor importância é removida da análise e o agrupamento é realizado novamente. Encerra-se os reagrupamentos quando a variável removida apresenta efeito suficiente para que os grupos de espaçamentos sejam alterados.

O método de agrupamento por otimização de Tocher consiste na formação de um primeiro grupo com o par cuja similaridade seja a maior entre os indivíduos. Tomando o grupo inicial, avalia-se a possibilidade de adicionar novos indivíduos ao grupo, respeitando a regra de que a distância média dentro do grupo deve ser menor do que a distância média entre os grupos (GARCIA, 1998; FARIA *et al.*, 2012; CRUZ *et al.*, 2014). O esquema ilustrativo do método de Tocher é apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Esquema ilustrativo da aplicação do método de agrupamento por otimização de Tocher

Fonte: O autor



Os espaçamentos foram agrupados em sub conjuntos. Para cada idade analisada, gerou-se um agrupamento específico, de modo a permitir a comparação com as demais abordagens. A medida de dissimilaridade adotada foi distância generalizada de Mahalanobis (4) pois leva em consideração a correlação entre as variáveis consideradas (HAIR *et al.*, 2009; CRUZ *et al.*, 2014).

$$D_{(ii')}^2 = \delta' \psi^{-1} \delta \quad (4)$$

em que:

$D_{(ii')}^2$ = é a distância generalizada de Mahalanobis entre os tratamentos i e i' ;

δ' = é o vetor linha $1 \times n$ de desvios;

ψ^{-1} = é a matriz de dispersão (covariâncias residuais) entre as variáveis.

Tanto o pré-processamento, como o procedimento de agrupamento do método de Tocher foram realizados no *software* GENES (2016) disponível para *download* em <http://arquivo.ufv.br/dbg/genes/gdown1.htm>.

Para a aplicação da análise de componentes principais, primeiramente os dados foram tratados em uma etapa de pré-processamento que consistiu na normalização dos valores das variáveis originais. Tal normalização foi realizada através da transformação em $z_i = (x_i - \bar{x})/s$, onde z_i é o novo valor do dado, x_i é o seu valor original, \bar{x} é a média da amostra, e s o desvio-padrão. Assim, média e desvio-padrão são zero e um, respectivamente. Bem como, a matriz de covariâncias passa a ser igual a matriz de correlação.

Ao submeter as variáveis dendrométricas e de povoamento à análise de componentes principais, obteve-se a contribuição relativa de cada uma das variáveis. Tal contribuição relativa foi obtida considerando as correlações entre variável e componente principal de maior explicação (aquele que carrega a maior variância dos dados ou primeiro componente). Para tal, utilizou-se a razão coeficiente de correlação da variável com o componente principal / somatório dos coeficientes de correlação em absoluto. A análise de componentes principais, bem como, o cálculo da importância relativa foi realizado no *software STATISTICA® v. 12* (STATSOFT INC, 2017).

A cada reagrupamento pelo método de Tocher a variável com menor contribuição relativa (obtida na PCA) foi removida das análises. Os espaçamentos foram então reagrupados até que a remoção da variável de menor importância resultasse em uma alteração dos grupos, conforme metodologia proposta por Garcia (1998). A partir desse procedimento, foi possível identificar quais variáveis não contribuíam para o a variação oriunda dos diferentes espaçamentos.

3.2.3 Análise de regressão

A análise de regressão foi feita apenas para a variável produção (m^3ha^{-1}). Aqui poderia ser empregada desde uma equação simples de produção $y=f(I)$ até refinados modelos de crescimento e produção, em nível de povoamento, árvores individuais ou distribuição de diâmetros, desde que as unidades experimentais tenham número de repetições suficiente para a modelagem segura. No presente estudo utilizou-se uma abordagem simples $Vha=f(Idade)$. O modelo utilizado foi o de Gompertz:

$$Y = \beta_0 e^{-e^{\beta_1 - \beta_2 I}} + \varepsilon \quad (\text{eq 5})$$

Em que: Y = Variável dependente (Vha); β_i = Parâmetro a serem estimados; I = Idade do povoamento; ε = Erro aleatório, $\varepsilon \sim \text{NID}(\theta, \sigma^2)$.

O modelo eq. 5 foi ajustado para cada espaçamento e as equações obtidas foram comparadas por meio da aplicação de testes de identidade de modelos (SANTOS *et al.*, 2017b). As hipóteses avaliadas foram:

$H_{0(ii')} = Eq5_{(i)} = Eq5_{(i')}, i \text{ e } i' = \text{espaçamentos}, i \neq i'$. Sob normalidade,

$$F = \frac{\{[(\sum_{j=1}^{n_i} V_{ij}^2 + \sum_{j=1}^{n_{i'}} V_{i'j}^2 - \sum_{j=1}^{n_i} (V_{ij} - \widehat{V}_{ij})^2 - \sum_{j=1}^{n_{i'}} (V_{i'j} - \widehat{V}_{i'j})^2) - (\sum_{j=1}^{n_i} V_{ij}^2 + \sum_{j=1}^{n_{i'}} V_{i'j}^2 - \sum_{j=1}^{n_i} (V_{ij} - \widehat{V}_{ij})^2 - \sum_{j=1}^{n_{i'}} (V_{i'j} - \widehat{V}_{i'j})^2)]\} / 3}{\widehat{\sigma}_{residuo}^2}$$

Em que:

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

\widehat{V}_{ij} = produção volumétrica estimada na j -ésima unidade experimental para o espaçamento i ;

$\widehat{V}_{i'j}$ = produção volumétrica estimada na j -ésima unidade experimental para o espaçamento i' ;

V_{ij} = produção volumétrica estimada na j -ésima unidade experimental para o espaçamento i ;

$V_{i'j}$ = produção volumétrica estimada na j -ésima unidade experimental para o espaçamento i'

n_i = número de unidades experimentais do espaçamento i ;

$n_{i'}$ = número de unidades experimentais do espaçamento i' .

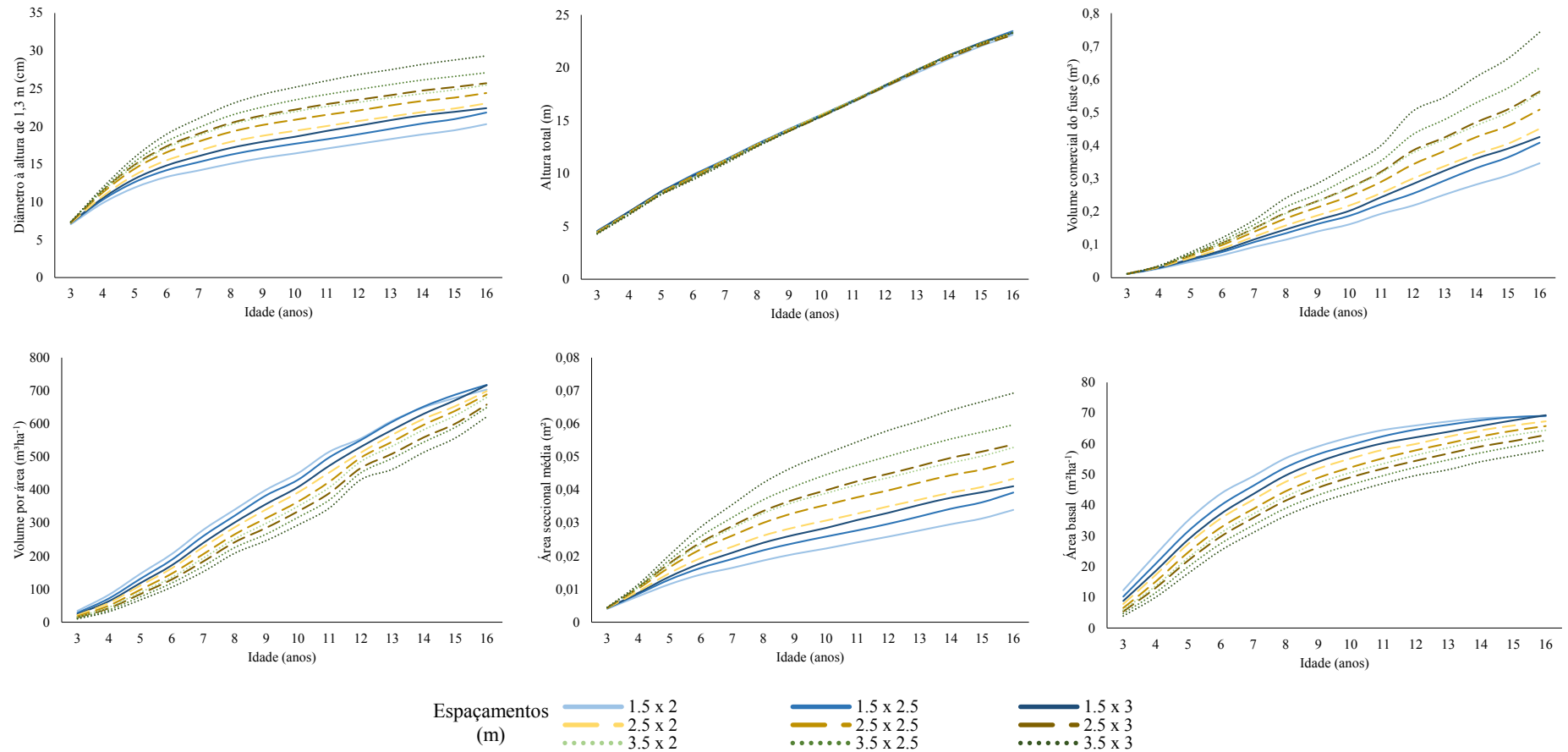
A regra de decisão foi: $F \geq F_{\alpha}(3, n-6) =$ Rejeita-se $H_{0(ii')}$, ou seja, cada espaçamento (i e i') tem uma curva de produção específica.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Relações entre variáveis e espaçamentos

As tendências médias de crescimento em diâmetro a 1,3 m de altura, altura total, volume comercial do fuste, área seccional média, área basal e volume por hectare (Figura 4) mostram que, de modo geral, as maiores produções, em termos de vha e AB são obtidas nos menores espaçamentos, porém, com árvores de menores diâmetros. O volume individual (v) diminui com o aumento do espaçamento enquanto a altura praticamente, em média, não muda. Ou seja, em média não existe efeito do espaçamento sobre a altura média em diferentes idades. Apesar dessas considerações, é importante também verificar a amplitude em torno da média em diferentes idades (APÊNDICE A). Então considerar o resultado da Figura 4 serve para evidenciar o fato de que a escolha do espaçamento depende do objetivo do manejo. Neste estudo consideramos a produção total de madeira para um limite de diâmetro de cerca de 4 cm, com casca.

Figura 4 - Tendências médias de crescimento de seis variáveis de *Pinus taeda* L. em diferentes espaçamentos em um experimento instalado na região sul do Brasil.



4.2 Análise de variância univariada e significância

As médias de *dap* discriminadas pelo teste Tukey para os nove espaçamentos testados em cada idade estão contidas nas Tabelas 2 e 3. Tanto a abordagem em blocos casualizados (Tabela 2) quanto o experimento em parcelas subdivididas (Tabela 3), os resultados apontaram diferenças significativas nos diâmetros a partir da idade de 4 anos de idade. Na última idade avaliada (16 anos) o *dap* médio no espaçamento (3,5 x 3 m), mais amplo, é 31% maior quando comparado ao menor espaçamento (1,5 x 2 m), o que corresponde a uma diferença absoluta de 9,0 cm.

Houve maior influência dos espaçamentos nas idades finais, com a formação de oito grupos de médias distintas, estando os espaçamentos extremos (3,5 x 3 m e 1,5 x 2 m) isolados. As duas abordagens (DBC e EPS) foram coincidentes para a variável *dap*, pois ambas denotaram não haver diferenças significativas na idade inicial e formaram grupos semelhantes de espaçamentos na idade mais avançada. No entanto, o ranking de comparação das médias para os dois métodos de ANOVA demonstra que não há conformidade entre a distinção dos grupos para a variável *dap* (Tabela 4), uma vez que nas idades a partir de 3 anos, a quantidade e composição dos grupos obtidos foram distintas.

Tabela 2 - Médias por tratamento e por idade de diâmetro a 1,3 m de altura – *dap* (cm) para *Pinus taeda* L, considerando um delineamento em blocos casualizados

Espaçamento (m)	Idade (anos)													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,5 x 2	7,05 a	9,86 e	11,91 f	13,31 h	14,17 h	15,05 h	15,82 h	16,41 h	17,06 h	17,69 g	18,32 g	18,93 g	19,48 g	20,29 g
1,5 x 2,5	7,17 a	10,28 de	12,63 e	14,21 g	15,28 g	16,26 g	17,03 g	17,7 g	18,3 g	18,96 f	19,67 f	20,38 f	20,97 f	21,84 f
1,5 x 3	7,24 a	10,52 d	13,07 de	14,84 f	16,07 f	17,15 f	17,96 f	18,62 f	19,4 f	20,09 e	20,82 e	21,46 e	21,92 e	22,41 ef
2,5 x 2	7,21 a	10,76 cd	13,57 d	15,51 e	16,78 e	17,95 e	18,76 e	19,4 e	20,04 e	20,7 e	21,3 e	21,89 e	22,36 e	23,05 e
2,5 x 2,5	7,33 a	11,26 bc	14,41 c	16,58 d	18,01 d	19,27 d	20,19 d	20,87 d	21,54 d	22,12 d	22,78 d	23,37 d	23,81 d	24,42 d
2,5 x 3	7,31 a	11,49 ab	14,92 bc	17,36 c	19,02 c	20,43 c	21,45 c	22,2 c	22,94 c	23,52 c	24,12 c	24,74 c	25,2 c	25,71 c
3,5 x 2	7,42 a	11,43 ab	14,78 c	17,17 c	18,79 c	20,23 c	21,21 c	21,93 c	22,63 c	23,18 c	23,79 c	24,33 c	24,83 c	25,47 c
3,5 x 2,5	7,4 a	11,64 ab	15,35 b	18,02 b	19,86 b	21,45 b	22,56 b	23,49 b	24,23 b	24,9 b	25,54 b	26,14 b	26,61 b	27,11 b
3,5 x 3	7,36 a	11,92 a	15,93 a	18,97 a	21,05 a	22,93 a	24,23 a	25,17 a	26,03 a	26,86 a	27,5 a	28,21 a	28,79 a	29,33 a

Mesmas letras, em cada coluna, indicam igualdade entre espaçamentos (grupo), a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 3 - Médias por tratamento e por idade de diâmetro a 1,3 m de altura – *dap* (cm) para *Pinus taeda* L, considerando um experimento de parcelas subdivididas

Espaçamento (m)	Idade (anos)													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,5 x 2	7,05 a	9,86 d	11,91 f	13,31 g	14,17 h	15,05 h	15,82 h	16,41 h	17,06 g	17,69 g	18,32 g	18,93 g	19,48 g	20,29 g
1,5 x 2,5	7,17 a	10,28 cd	12,63 e	14,21 f	15,28 g	16,26 g	17,03 g	17,7 g	18,3 f	18,96 f	19,67 f	20,38 f	20,97 f	21,84 f
1,5 x 3	7,24 a	10,52 cd	13,07 de	14,84 ef	16,07 f	17,15 f	17,96 f	18,62 f	19,4 e	20,09 e	20,82 e	21,46 e	21,92 e	22,41 ef
2,5 x 2	7,21 a	10,76 bc	13,57 d	15,51 e	16,78 e	17,95 e	18,76 e	19,4 e	20,04 e	20,7 e	21,3 e	21,89 e	22,36 e	23,05 e
2,5 x 2,5	7,33 a	11,26 ab	14,41 c	16,58 d	18,01 d	19,27 d	20,19 d	20,87 d	21,54 d	22,12 d	22,78 d	23,37 d	23,81 d	24,42 d
2,5 x 3	7,31 a	11,49 a	14,92 bc	17,36 bc	19,02 c	20,43 c	21,45 c	22,2 c	22,94 c	23,52 c	24,12 c	24,74 c	25,2 c	25,71 c
3,5 x 2	7,42 a	11,43 ab	14,78 bc	17,17 cd	18,79 c	20,23 c	21,21 c	21,93 c	22,63 c	23,18 c	23,79 c	24,33 c	24,83 c	25,47 c
3,5 x 2,5	7,4 a	11,64 a	15,35 ab	18,02 b	19,86 b	21,45 b	22,56 b	23,49 b	24,23 b	24,9 b	25,54 b	26,14 b	26,61 b	27,11 b
3,5 x 3	7,36 a	11,92 a	15,93 a	18,97 a	21,05 a	22,93 a	24,23 a	25,17 a	26,03 a	26,86 a	27,5 a	28,21 a	28,79 a	29,33 a

Mesmas letras, em cada coluna, indicam igualdade entre espaçamentos (grupo), a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 4 - *Ranking* comparativo entre os métodos ANOVA em cada idade e ANOVA em parcelas subdivididas para dos nove espaçamentos a partir das médias discriminadas pelo teste Tukey $\alpha=5\%$, para a variável diâmetro a 1,3 m de altura (*dap*)

Método	Espaçamento (m)	Idade													
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DBC	1,5 x 2	1	7	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	8
	1,5 x 2,5	1	6	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	7
	1,5 x 3	1	5	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	6
	2,5 x 2	1	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2,5 x 2,5	1	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2,5 x 3	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3,5 x 2	1	2	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3,5 x 2,5	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3,5 x 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EPS	1,5 x 2	1	5	8	9	8	8	8	8	8	7	7	7	7	8
	1,5 x 2,5	1	4	7	8	7	7	7	7	7	6	6	6	6	7
	1,5 x 3	1	4	6	7	6	6	6	6	6	5	5	5	5	6
	2,5 x 2	1	3	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2,5 x 2,5	1	2	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2,5 x 3	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3,5 x 2	1	2	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3,5 x 2,5	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3,5 x 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Para as médias de altura total (Tabelas 5 e 6), também houveram diferenças entre as duas abordagens estatísticas utilizadas. A análise de delineamento em blocos em cada idade (Tabela 5) indica que há efeito do espaçamento na altura total das árvores de *Pinus taeda* em idades iniciais, ao passo que a abordagem em parcelas subdivididas no tempo (Tabela 6) indica que não houve diferenças significativas entre as médias dos espaçamentos no que se refere a altura total.

Não houve compatibilidade entre os métodos univariados testados (Tabela 7). O método utilizando ANOVA em cada idade atribuiu diferenças significativas para as alturas nas idades iniciais, no entanto, essa diferença não foi significativa no método das parcelas subdivididas.

As diferenças absolutas entre as médias dos espaçamentos com as maiores e menores médias de altura total não ultrapassou 0,5 m. O efeito da densidade é inexpressível na altura das árvores de *Pinus*, principalmente no que compreende as maiores idades, conforme demonstrado por Sanquetta *et al.* (2003) e Cardoso *et al.* (2013) para *Pinus taeda* na região do Brasil. As diferenças inferiores à 1 m nas médias dos diferentes espaçamentos sugerem que as condições de acesso à luz solar são semelhantes nos espaçamentos testados (WEGIEL *et al.*, 2018).

Tabela 5 - Médias por tratamento e por idade de altura total – *Ht* (m) para *Pinus taeda* L, considerando um delineamento em blocos casualizados

Espaçamento (m)	Idade (anos)													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,5 x 2	4,57 a	6,38 a	8,2 a	9,67 ab	11,12 a	12,64 a	14,02 a	15,37 a	16,74 a	18,17 a	19,51 a	20,83 a	22,04 a	23,12 a
1,5 x 2,5	4,56 a	6,39 a	8,31 a	9,88 a	11,3 a	12,8 a	14,2 a	15,54 a	16,89 a	18,28 a	19,76 a	21,17 a	22,37 a	23,46 a
1,5 x 3	4,53 ab	6,39 a	8,28 a	9,78 a	11,22 a	12,73 a	14,1 a	15,41 a	16,86 a	18,34 a	19,79 a	21,18 a	22,32 a	23,3 a
2,5 x 2	4,47 ab	6,3 ab	8,18 a	9,73 ab	11,24 a	12,73 a	14,14 a	15,54 a	16,84 a	18,33 a	19,73 a	21,04 a	22,18 a	23,29 a
2,5 x 2,5	4,44 ab	6,3 ab	8,19 a	9,74 ab	11,22 a	12,75 a	14,14 a	15,46 a	16,85 a	18,3 a	19,78 a	21,17 a	22,3 a	23,31 a
2,5 x 3	4,35 ab	6,19 ab	8,04 a	9,52 ab	11,07 a	12,59 a	14,01 a	15,35 a	16,78 a	18,2 a	19,62 a	20,95 a	22,12 a	23,1 a
3,5 x 2	4,4 ab	6,27 ab	8,17 a	9,59 ab	11,21 a	12,73 a	14,16 a	15,55 a	16,91 a	18,36 a	19,8 a	21,09 a	22,24 a	23,35 a
3,5 x 2,5	4,34 ab	6,16 ab	8,08 a	9,55 ab	11,06 a	12,59 a	13,99 a	15,44 a	16,82 a	18,28 a	19,83 a	21,17 a	22,32 a	23,27 a
3,5 x 3	4,28 b	6,08 b	8,00 a	9,39 b	10,91 a	12,53 a	14 a	15,35 a	16,77 a	18,29 a	19,73 a	21,09 a	22,27 a	23,33 a

Mesmas letras, em cada coluna, indicam igualdade entre espaçamentos (grupo), a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 6 - Médias por tratamento e por idade de altura total – *Ht* (m) para *Pinus taeda* L, considerando um experimento de parcelas subdivididas

Espaçamento (m)	Idade													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,5 x 2	4,57 a	6,38 a	8,2 a	9,67 a	11,12 a	12,64 a	14,02 a	15,37 a	16,74 a	18,17 a	19,51 a	20,83 a	22,04 a	23,12 a
1,5 x 2,5	4,56 a	6,39 a	8,31 a	9,88 a	11,3 a	12,8 a	14,2 a	15,54 a	16,89 a	18,28 a	19,76 a	21,17 a	22,37 a	23,46 a
1,5 x 3	4,53 a	6,39 a	8,28 a	9,78 a	11,22 a	12,73 a	14,1 a	15,41 a	16,86 a	18,34 a	19,79 a	21,18 a	22,32 a	23,3 a
2,5 x 2	4,47 a	6,3 a	8,18 a	9,73 a	11,24 a	12,73 a	14,14 a	15,54 a	16,84 a	18,33 a	19,73 a	21,04 a	22,18 a	23,29 a
2,5 x 2,5	4,44 a	6,3 a	8,19 a	9,74 a	11,22 a	12,75 a	14,14 a	15,46 a	16,85 a	18,3 a	19,78 a	21,17 a	22,3 a	23,31 a
2,5 x 3	4,35 a	6,19 a	8,04 a	9,52 a	11,07 a	12,59 a	14,01 a	15,35 a	16,78 a	18,2 a	19,62 a	20,95 a	22,12 a	23,1 a
3,5 x 2	4,4 a	6,27 a	8,17 a	9,59 a	11,21 a	12,73 a	14,16 a	15,55 a	16,91 a	18,36 a	19,8 a	21,09 a	22,24 a	23,35 a
3,5 x 2,5	4,34 a	6,16 a	8,08 a	9,55 a	11,06 a	12,59 a	13,99 a	15,44 a	16,82 a	18,28 a	19,83 a	21,17 a	22,32 a	23,27 a
3,5 x 3	4,28 a	6,08 a	8 a	9,39 a	10,91 a	12,53 a	14 a	15,35 a	16,77 a	18,29 a	19,73 a	21,09 a	22,27 a	23,33 a

Mesmas letras, em cada coluna, indicam igualdade entre espaçamentos (grupo), a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 7 - *Ranking* comparativo entre os métodos ANOVA em cada idade e ANOVA em parcelas subdivididas para dos nove espaçamentos a partir das médias discriminadas pelo teste Tukey $\alpha=5\%$, para a variável altura total (*ht*)

Método	Espaçamento (m)	Idade													
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DBC	1,5 x 2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,5 x 2,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,5 x 3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,5 x 2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,5 x 2,5	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,5 x 3	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3,5 x 2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3,5 x 2,5	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3,5 x 3	3	3	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EPS	1,5 x 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,5 x 2,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,5 x 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,5 x 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,5 x 2,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2,5 x 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3,5 x 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3,5 x 2,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3,5 x 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

O volume comercial do fuste sem casca das árvores de *Pinus taeda* não apresentou diferenças entre os espaçamentos nas idades iniciais, no entanto, observa-se que ao final do período analisado as médias dos espaçamentos diferiram (p -valor $<0,05$) entre si, formando seis grupos de espaçamentos (Tabela 8 e 9). A Tabela 10 apresenta o ranking de concordância para o volume comercial. Observa-se que as maiores discordâncias entre os métodos se ocorreram nas idades finais (a partir da idade 10).

As maiores médias em volume individual ocorreram nos espaçamentos mais amplos, corroborando com os resultados encontrados por Samuelson *et al.* (2010) e Hébert *et al.* (2016) para espécies do gênero *Pinus*. Tal comportamento pode ser atribuído ao efeito do espaçamento no diâmetro, uma vez que o volume do fuste é positivamente correlacionado com esta variável (BALDWIN *et al.*, 2000; LEITE *et al.*, 2006a; BINKLEY *et al.*, 2017).

Tabela 8 - Médias por tratamento e por idade de volume comercial do fuste sem casca – V (m³) para *Pinus taeda* L, considerando um delineamento em blocos casualizados

Espaçamento (m)	Idade (anos)													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,5 x 2	0,0112 a	0,0272 e	0,0479 f	0,068 f	0,0929 f	0,1149 g	0,1399 g	0,1613 g	0,1931 g	0,218 g	0,2511 g	0,2818 g	0,3096 g	0,3462 f
1,5 x 2,5	0,0115 a	0,0293 de	0,0538 ef	0,0777 e	0,1075 e	0,1341 f	0,1624 f	0,187 f	0,2221 f	0,254 f	0,2934 f	0,3313 f	0,3639 f	0,408 e
1,5 x 3	0,0116 a	0,0304 cde	0,0567 e	0,0826 de	0,1156 de	0,1459 ef	0,1746 ef	0,2021 ef	0,2432 ef	0,2831 ef	0,3233 ef	0,3604 ef	0,3902 ef	0,4255 e
2,5 x 2	0,0115 a	0,0315 bcd	0,0599 de	0,0887 d	0,1242 d	0,1579 e	0,1883 e	0,2182 e	0,2558 e	0,2997 e	0,3372 e	0,3742 e	0,4052 e	0,4506 e
2,5 x 2,5	0,0117 a	0,0338 abc	0,0662 cd	0,0991 c	0,1389 c	0,1794 d	0,2129 d	0,2466 d	0,2898 d	0,3424 d	0,383 d	0,4252 d	0,4593 d	0,5083 d
2,5 x 3	0,0115 a	0,0345 ab	0,069 bc	0,1049 bc	0,1491 bc	0,1963 c	0,2318 c	0,2719 c	0,3202 c	0,3843 c	0,4241 c	0,4702 c	0,5091 c	0,5629 c
3,5 x 2	0,0118 a	0,0344 ab	0,0689 bc	0,1036 c	0,1486 bc	0,1942 c	0,2305 c	0,2698 c	0,3165 c	0,3773 c	0,4181 c	0,4603 cd	0,4996 c	0,5578 c
3,5 x 2,5	0,0116 a	0,035 ab	0,0726 ab	0,112 b	0,1602 b	0,2143 b	0,2527 b	0,3023 b	0,3534 b	0,4328 b	0,4779 b	0,5288 b	0,5735 b	0,6342 b
3,5 x 3	0,0116 a	0,0364 a	0,0773 a	0,1211 a	0,1745 a	0,2407 a	0,2852 a	0,3394 a	0,3998 a	0,5031 a	0,5459 a	0,6075 a	0,6625 a	0,742 a

Mesmas letras, em cada coluna, indicam igualdade entre espaçamentos (grupo), a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 9 - Médias por tratamento e por idade de volume comercial do fuste sem casca – V (m³) para *Pinus taeda* L, considerando um experimento de parcelas subdivididas

Espaçamento (m)	Idade (anos)													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,5 x 2	0,0112 a	0,0272 a	0,0479 a	0,068 d	0,0929 f	0,1149 f	0,1399 f	0,1613 g	0,1931 g	0,218 g	0,2511 g	0,2818 g	0,3096 g	0,3462 g
1,5 x 2,5	0,0115 a	0,0293 a	0,0538 a	0,0777 cd	0,1075 ef	0,1341 ef	0,1624 ef	0,187 fg	0,2221 fg	0,254 f	0,2934 f	0,3313 f	0,3639 f	0,408 f
1,5 x 3	0,0116 a	0,0304 a	0,0567 a	0,0826 cd	0,1156 def	0,1459 e	0,1746 e	0,2021 ef	0,2432 ef	0,2831 ef	0,3233 e	0,3604 ef	0,3902 ef	0,4255 ef
2,5 x 2	0,0115 a	0,0315 a	0,0599 a	0,0887 bcd	0,1242 cde	0,1579 de	0,1883 de	0,2182 de	0,2558 e	0,2997 e	0,3372 e	0,3742 e	0,4052 e	0,4506 e
2,5 x 2,5	0,0117 a	0,0338 a	0,0662 a	0,0991 abc	0,1389 bcd	0,1794 cd	0,2129 cd	0,2466 cd	0,2898 d	0,3424 d	0,383 d	0,4252 d	0,4593 d	0,5083 d
2,5 x 3	0,0115 a	0,0345 a	0,069 a	0,1049 abc	0,1491 abc	0,1963 bc	0,2318 bc	0,2719 c	0,3202 c	0,3843 c	0,4241 c	0,4702 c	0,5091 c	0,5629 c
3,5 x 2	0,0118 a	0,0344 a	0,0689 a	0,1036 abc	0,1486 abc	0,1942 bc	0,2305 bc	0,2698 c	0,3165 cd	0,3773 c	0,4181 c	0,4603 c	0,4996 c	0,5578 c
3,5 x 2,5	0,0116 a	0,035 a	0,0726 a	0,112 ab	0,1602 ab	0,2143 ab	0,2527 b	0,3023 b	0,3534 b	0,4328 b	0,4779 b	0,5288 b	0,5735 b	0,6342 b
3,5 x 3	0,0116 a	0,0364 a	0,0773 a	0,1211 a	0,1745 a	0,2407 a	0,2852 a	0,3394 a	0,3998 a	0,5031 a	0,5459 a	0,6075 a	0,6625 a	0,742 a

Mesmas letras, em cada coluna, indicam igualdade entre espaçamentos (grupo), a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 10 - *Ranking* comparativo entre os métodos ANOVA em cada idade e ANOVA em parcelas subdivididas para dos nove espaçamentos a partir das médias discriminadas pelo teste Tukey $\alpha=5\%$, para a variável volume comercial do fuste sem casca (v)

Método	Espaçamento (m)	Idade													
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DBC	1,5 x 2	1	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	8	6
	1,5 x 2,5	1	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	7	5
	1,5 x 3	1	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6	5
	2,5 x 2	1	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5
	2,5 x 2,5	1	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4
	2,5 x 3	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3
	3,5 x 2	1	2	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3,5 x 2,5	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3,5 x 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EPS	1,5 x 2	1	1	1	6	8	8	8	8	9	8	7	8	7	8
	1,5 x 2,5	1	1	1	5	7	7	7	7	8	7	6	7	6	7
	1,5 x 3	1	1	1	5	6	6	6	6	7	6	5	6	5	6
	2,5 x 2	1	1	1	4	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5
	2,5 x 2,5	1	1	1	3	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4
	2,5 x 3	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3
	3,5 x 2	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3,5 x 2,5	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3,5 x 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

As médias de área seccional média para os nove espaçamentos estão contidas nas Tabelas 11 e 12. Por se tratar de uma variável obtida a partir do *dap* das árvores, demonstrou um comportamento semelhante. Para a idade inicial de 3 anos, não houve efeito do espaçamento no que se refere à área seccional. Os espaçamentos de maior densidade detiveram médias de área seccional inferiores aos de maior densidade. A Tabela 13 ilustra os rankings para a variável área seccional. Observa-se que há discordância nos grupos formados em grande parte das idades.

Tabela 11 - Médias por tratamento e por idade de área seccional – g (m²) para *Pinus taeda* L, considerando um delineamento em blocos casualizados

Espaçamento (m)	Idade (anos)													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,5 x 2	0,004 a	0,0078 e	0,0115 f	0,0144 h	0,0164 h	0,0187 h	0,0206 h	0,0223 h	0,0241 g	0,0259 g	0,0277 g	0,0296 g	0,0314 g	0,034 g
1,5 x 2,5	0,0042 a	0,0085 de	0,0129 e	0,0164 g	0,0191 g	0,0218 g	0,0239 g	0,0259 g	0,0277 f	0,0297 f	0,032 f	0,0343 f	0,0363 f	0,0392 f
1,5 x 3	0,0042 a	0,0089 d	0,0138 de	0,0178 f	0,021 f	0,024 f	0,0264 f	0,0285 f	0,0309 e	0,0331 e	0,0355 e	0,0376 e	0,0393 ef	0,0411 ef
2,5 x 2	0,0042 a	0,0094 cd	0,0149 d	0,0194 e	0,0228 e	0,0262 e	0,0287 e	0,0307 e	0,0328 e	0,035 e	0,0371 e	0,0392 e	0,0409 e	0,0434 e
2,5 x 2,5	0,0044 a	0,0102 bc	0,0167 c	0,0221 d	0,0262 d	0,0301 d	0,0331 d	0,0355 d	0,0378 d	0,0399 d	0,0422 d	0,0445 d	0,0462 d	0,0486 d
2,5 x 3	0,0044 a	0,0106 ab	0,0179 bc	0,0242 c	0,0291 c	0,0336 c	0,0371 c	0,0399 c	0,0426 c	0,0449 c	0,0473 c	0,0497 c	0,0516 c	0,0537 c
3,5 x 2	0,0045 a	0,0105 ab	0,0175 c	0,0237 c	0,0284 c	0,033 c	0,0364 c	0,039 c	0,0416 c	0,0437 c	0,0461 c	0,0482 c	0,0502 c	0,0528 c
3,5 x 2,5	0,0044 a	0,0109 ab	0,0189 b	0,026 b	0,0317 b	0,037 b	0,0411 b	0,0446 b	0,0475 b	0,0502 b	0,0528 b	0,0554 b	0,0575 b	0,0597 b
3,5 x 3	0,0045 a	0,0115 a	0,0204 a	0,0288 a	0,0355 a	0,0421 a	0,0471 a	0,0509 a	0,0545 a	0,058 a	0,0609 a	0,0641 a	0,0667 a	0,0693 a

Mesmas letras, em cada coluna, indicam igualdade entre espaçamentos (grupo), a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 12 - Médias por tratamento e por idade de área seccional – g (m²) para *Pinus taeda* L, considerando um experimento de parcelas subdivididas

Espaçamento (m)	Idade													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,5 x 2	0,004 a	0,0078 c	0,0115 e	0,0144 f	0,0164 g	0,0187 g	0,0206 g	0,0223 g	0,0241 g	0,0259 g	0,0277 g	0,0296 g	0,0314 g	0,034 g
1,5 x 2,5	0,0042 a	0,0085 bc	0,0129 de	0,0164 ef	0,0191 f	0,0218 f	0,0239 f	0,0259 f	0,0277 f	0,0297 f	0,032 f	0,0343 f	0,0363 f	0,0392 f
1,5 x 3	0,0042 a	0,0089 bc	0,0138 de	0,0178 de	0,021 ef	0,024 ef	0,0264 ef	0,0285 e	0,0309 e	0,0331 e	0,0355 e	0,0376 e	0,0393 e	0,0411 ef
2,5 x 2	0,0042 a	0,0094 abc	0,0149 cd	0,0194 d	0,0228 e	0,0262 e	0,0287 e	0,0307 e	0,0328 e	0,035 e	0,0371 e	0,0392 e	0,0409 e	0,0434 e
2,5 x 2,5	0,0044 a	0,0102 abc	0,0167 bc	0,0221 c	0,0262 d	0,0301 d	0,0331 d	0,0355 d	0,0378 d	0,0399 d	0,0422 d	0,0445 d	0,0462 d	0,0486 d
2,5 x 3	0,0044 a	0,0106 ab	0,0179 ab	0,0242 bc	0,0291 c	0,0336 c	0,0371 c	0,0399 c	0,0426 c	0,0449 c	0,0473 c	0,0497 c	0,0516 c	0,0537 c
3,5 x 2	0,0045 a	0,0105 ab	0,0175 b	0,0237 bc	0,0284 cd	0,033 c	0,0364 c	0,039 c	0,0416 c	0,0437 c	0,0461 c	0,0482 c	0,0502 c	0,0528 c
3,5 x 2,5	0,0044 a	0,0109 ab	0,0189 ab	0,026 b	0,0317 b	0,037 b	0,0411 b	0,0446 b	0,0475 b	0,0502 b	0,0528 b	0,0554 b	0,0575 b	0,0597 b
3,5 x 3	0,0045 a	0,0115 a	0,0204 a	0,0288 a	0,0355 a	0,0421 a	0,0471 a	0,0509 a	0,0545 a	0,058 a	0,0609 a	0,0641 a	0,0667 a	0,0693 a

Mesmas letras, em cada coluna, indicam igualdade entre espaçamentos (grupo), a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 13 - *Ranking* comparativo entre os métodos ANOVA em cada idade e ANOVA em parcelas subdivididas para dos nove espaçamentos a partir das médias discriminadas pelo teste Tukey $\alpha=5\%$, para a variável área seccional média

Método	Espaçamento (m)	Idade													
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DBC	1,5 x 2	1	7	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	8	8
	1,5 x 2,5	1	6	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	7	7
	1,5 x 3	1	5	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	6	6
	2,5 x 2	1	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2,5 x 2,5	1	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2,5 x 3	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3,5 x 2	1	2	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3,5 x 2,5	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3,5 x 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
EPS	1,5 x 2	1	5	7	8	9	8	8	7	7	7	7	7	7	8
	1,5 x 2,5	1	4	6	7	8	7	7	6	6	6	6	6	6	7
	1,5 x 3	1	4	6	6	7	6	6	5	5	5	5	5	5	6
	2,5 x 2	1	3	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	2,5 x 2,5	1	3	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	2,5 x 3	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3,5 x 2	1	2	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3,5 x 2,5	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3,5 x 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

A variável área basal (Tabela 14 e 15) diminuiu à medida que os espaçamentos aumentaram. Diferentemente das demais variáveis, houve efeito do espaçamento na idade inicial de 3 anos, perdurando até a última idade avaliada (16 anos). No entanto, ressalta-se que para nos espaçamentos de menor densidade (1,5 x 2 m; 1,5 x 2,5 m e 1,5 x 3 m), a área basal foi estatisticamente semelhante.

Para a variável área basal os métodos testados demonstraram resultados distintos em grande parte das idades avaliadas, conforme demonstrado na Tabela 16.

Tabela 14 - Médias por tratamento e por idade de área basal – AB (m²/ha) para *Pinus taeda* L, considerando um delineamento em blocos casualizados

Espaçamento (m)	Idade (anos)													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,5 x 2	12,29 a	23,95 a	35,08 a	43,75 a	49,44 a	55,32 a	59,15 a	62,18 a	64,48 a	65,97 a	67,27 a	68,31 a	68,72 a	68,98 a
1,5 x 2,5	10,25 b	20,97 b	31,57 b	39,98 b	46,34 b	52,35 b	56,62 ab	59,66 ab	62,48 ab	64,65 ab	66,22 ab	67,67 a	68,7 a	69,12 a
1,5 x 3	8,83 c	18,6 c	28,82 c	37,18 c	43,65 c	49,72 c	54,14 bc	57,56 bc	60,22 bc	62,13 bc	63,92 abc	65,83 ab	67,66 a	69,33 a
2,5 x 2	7,83 c	17,32 c	27,44 c	35,69 c	41,8 c	47,65 c	51,95 c	55,21 cd	58,08 cd	59,96 cd	62,34 bcd	64,39 abc	65,96 ab	67,33 ab
2,5 x 2,5	6,54 d	15,13 d	24,69 d	32,73 d	38,8 d	44,57 d	48,96 d	52,34 de	55,31 de	57,9 de	60,18 cde	62,41 bcd	64,29 abc	65,79 abc
2,5 x 3	5,39 ef	13,1 ef	22,01 e	29,79 e	35,87 e	41,52 ef	45,75 ef	49,12 fg	51,94 ef	54,47 ef	56,84 ef	59,14 de	60,9 cd	62,9 bcd
3,5 x 2	5,83 de	13,73 de	22,9 de	30,96 de	37,14 de	42,8 de	47,23 de	50,62 ef	53,52 e	56,27 e	58,7 def	61,02 cde	62,82 bcd	64,39 abc
3,5 x 2,5	4,71 fg	11,53 fg	19,94 f	27,51 f	33,49 f	39,04 fg	43,31 fg	46,68 gh	49,64 fg	52,37 fg	54,79 fg	57,08 ef	59,1 de	61,12 cd
3,5 x 3	3,93 g	10,07 g	17,83 g	25,28 g	31,1 g	36,57 g	40,79 g	44,06 h	47,1 g	49,69 g	51,57 g	54,18 f	56,07 e	58,01 d

Mesmas letras, em cada coluna, indicam igualdade entre espaçamentos (grupo), a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 15 - Médias por tratamento e por idade de área basal – AB (m²/ha) para *Pinus taeda* L, considerando um experimento de parcelas subdivididas

Espaçamento (m)	Idade (anos)													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,5 x 2	12,29 a	23,95 a	35,08 a	43,75 a	49,44 a	55,32 a	59,15 a	62,18 a	64,48 a	65,97 a	67,27 a	68,31 a	68,72 a	68,98 a
1,5 x 2,5	10,25 ab	20,97 ab	31,57 ab	39,98 ab	46,34 ab	52,35 ab	56,62 ab	59,66 ab	62,48 ab	64,65 a	66,22 ab	67,67 a	68,7 ab	69,12 a
1,5 x 3	8,83 abc	18,6 bc	28,82 bc	37,18 b	43,65 bc	49,72 bc	54,14 bc	57,56 bc	60,22 ab	62,13 ab	63,92 abc	65,83 ab	67,66 ab	69,33 a
2,5 x 2	7,83 bcd	17,32 bcd	27,44 bc	35,69 bc	41,8 cd	47,65 cd	51,95 cd	55,21 cd	58,08 bc	59,96 bc	62,34 bcd	64,39 abc	65,96 abc	67,33 ab
2,5 x 2,5	6,54 bcd	15,13 cde	24,69 cd	32,73 cd	38,8 de	44,57 de	48,96 de	52,34 de	55,31 cd	57,9 bcd	60,18 cde	62,41 bcd	64,29 bcd	65,79 abc
2,5 x 3	5,39 cd	13,1 def	22,01 def	29,79 de	35,87 ef	41,52 ef	45,75 ef	49,12 ef	51,94 de	54,47 de	56,84 ef	59,14 de	60,9 de	62,9 cd
3,5 x 2	5,83 bcd	13,73 def	22,9 de	30,96 de	37,14 ef	42,8 ef	47,23 ef	50,62 ef	53,52 de	56,27 cde	58,7 def	61,02 cde	62,82 cde	64,39 bcd
3,5 x 2,5	4,71 cd	11,53 ef	19,94 ef	27,51 ef	33,49 fg	39,04 fg	43,31 fg	46,68 fg	49,64 ef	52,37 ef	54,79 fg	57,08 ef	59,1 ef	61,12 de
3,5 x 3	3,93 d	10,07 f	17,83 f	25,28 f	31,1 g	36,57 g	40,79 g	44,06 g	47,1 f	49,69 f	51,57 g	54,18 f	56,07 f	58,01 e

Mesmas letras, em cada coluna, indicam igualdade entre espaçamentos (grupo), a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 16 - *Ranking* comparativo entre os métodos ANOVA em cada idade e ANOVA em parcelas subdivididas para dos nove espaçamentos a partir das médias discriminadas pelo teste Tukey $\alpha=5\%$, para a variável área basal – AB (m²/ha)

Método	Espaçamento (m)	Idade													
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DBC	1,5 x 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,5 x 2,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
	1,5 x 3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	1	1
	2,5 x 2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	2	2
	2,5 x 2,5	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	4	3	3
	2,5 x 3	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	6	5	4
	3,5 x 2	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	4	3
	3,5 x 2,5	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	7	6	5
	3,5 x 3	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9	9	8	7	6
EPS	1,5 x 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,5 x 2,5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1
	1,5 x 3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	2	2	1
	2,5 x 2	4	4	3	4	4	4	4	4	3	3	4	3	3	2
	2,5 x 2,5	4	5	4	5	5	5	5	5	4	4	5	4	4	3
	2,5 x 3	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	6	6	5
	3,5 x 2	4	6	5	6	6	6	6	6	5	5	6	5	5	4
	3,5 x 2,5	5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	7	7	6
	3,5 x 3	6	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	8	8	7

A produção volumétrica nos espaçamentos foi representada através da variável volume por área em m^3ha^{-1} (Tabela 17 e 18). O efeito dos diferentes espaçamentos no que tange ao volume por área pode ser constatado desde a idade inicial de 3 anos, onde o teste de médias evidenciou diferenças (*p*-valor $<0,05$) entre o volume produzido nos distintos espaçamentos. As maiores densidades de plantio ocasionaram em maiores volumes por unidade de área. O volume por hectare apresentou discordância entre os métodos testados, principalmente nas idades finais (Tabela 19), onde há grande diferenciação dos espaçamentos maiores.

Tabela 17 - Médias por tratamento e por idade de volume por área – Vha (m³/ha) para *Pinus taeda* L, considerando um delineamento em blocos casualizados

Espaçamento (m)	Idade (anos)													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,5 x 2	33,99a	82,89 a	146,35a	206,38 a	279,5 a	340,68 a	400,95 a	450,1 a	515,49 a	555,55 a	609,27 a	649,59 a	678,27 a	703,46 ab
1,5 x 2,5	28,26b	71,96 b	131,37b	189,18 b	260,66 b	322,5 a	383,95 a	430,42 ab	498,59 ab	550,64 a	606,19 ab	652,3 a	688,17 a	717,85 a
1,5 x 3	24,07c	63,47 c	118,34c	172,29 c	239,84 c	301,82 b	357,63 b	408,22 bc	473,11 bc	530,27 ab	581,57 abc	630,19 ab	671,18 ab	716,52 a
2,5 x 2	21,2c	58,28 c	110,76c	163,16 c	227,43 c	287,21 b	341,24 b	392,04 c	452,75 cd	512,84 bc	566,77 bcd	614,86 abc	653,32 ab	698,82 abc
2,5 x 2,5	17,51d	50,21 d	98,18 d	147,00 d	205,96 d	265,92 c	314,93 c	364,17 d	424,66 de	497,56 bcd	545,77 cde	596,92 bcd	639,28 abc	688,76 abc
2,5 x 3	14,18de	42,47 ef	85,08ef	129,4 ef	183,94 ef	242,22 de	285,54 de	334,97 ef	390,18 fg	466,12 de	509,58 ef	558,99 de	600,37 cde	658,22 bcd
3,5 x 2	15,4de	45,03 de	90,09de	135,65 de	194,11 de	252,26 cd	299,35 cd	350,4 de	407,54 ef	485,89 cde	532,57 def	582,35 cde	624,69 bcd	679,8 abc
3,5 x 2,5	12,3ef	37,06 fg	76,82fg	118,57 f	169,52 fg	225,93 ef	266,39 ef	316,78 fg	369,59 gh	451,71 ef	495,51 fg	544,56 ef	589,32 de	649,1 cd
3,5 x 3	10,23f	31,95 g	67,71 g	106,24 g	152,81 g	208,9 f	247,02 f	293,85 g	345,29 h	431,04 f	462,49 g	513,95 f	557,1 e	621,45 d

Mesmas letras, em cada coluna, indicam igualdade entre espaçamentos (grupo), a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 18 - Médias por tratamento e por idade de volume por área – Vha (m³/ha) para *Pinus taeda* L, considerando um experimento de parcelas subdivididas

Espaçamento (m)	Idade													
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1,5 x 2	33,99a	82,89 a	146,35 a	206,38 a	279,50 a	340,68 a	400,95 a	450,10 a	515,49 a	555,55 a	609,27 a	649,59 a	678,27 ab	703,46 a
1,5 x 2,5	28,26a	71,96 ab	131,37 ab	189,18 ab	260,66 ab	322,50 ab	383,95 ab	430,42 ab	498,59 ab	550,64 ab	606,19 ab	652,30 a	688,17 a	717,85 a
1,5 x 3	24,07a	63,47 ab	118,34 abc	172,29 abc	239,84 abc	301,82 abc	357,63 bc	408,22 b	473,11 bc	530,27 abc	581,57 abc	630,19 ab	671,18 ab	716,52 a
2,5 x 2	21,20a	58,28 ab	110,76 abcd	163,16 bcd	227,43 bcd	287,21 bcd	341,24 cd	392,04 bc	452,75 cd	512,84 bcd	566,77 bcd	614,86 abc	653,32 abc	698,82 a
2,5 x 2,5	17,51a	50,21 ab	98,18 bcde	147,00 cde	205,96 cde	265,92 cde	314,93 de	364,17 cd	424,66 de	497,56 cde	545,77 cde	596,92 bcd	639,28 bcd	688,76 ab
2,5 x 3	14,18a	42,47 ab	85,08 cde	129,40 def	183,94 ef	242,22 ef	285,54 efg	334,97 de	390,18 ef	466,12 efg	509,58 ef	558,99 de	600,37 de	658,22 bc
3,5 x 2	15,40a	45,03 ab	90,09 cde	135,65 cdef	194,11 de	252,26 de	299,35 ef	350,40 de	407,54 ef	485,89 def	532,57 def	582,35 cde	624,69 cde	679,80 ab
3,5 x 2,5	12,30a	37,06 b	76,82 de	118,57 ef	169,52 ef	225,93 ef	266,39 fg	316,78 ef	369,59 fg	451,71 fg	495,51 fg	544,56 ef	589,32 ef	649,10 bc
3,5 x 3	10,23a	31,95 b	67,71 e	106,24 f	152,81 f	208,90 f	247,02 g	293,85 f	345,29 g	431,04 g	462,49 g	513,95 f	557,10 f	621,45 c

Mesmas letras, em cada coluna, indicam igualdade entre espaçamentos (grupo), a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Tabela 19 - *Ranking* comparativo entre os métodos ANOVA em cada idade e ANOVA em parcelas subdivididas para dos nove espaçamentos a partir das médias discriminadas pelo teste Tukey $\alpha=5\%$, para a variável volume por área – Vha (m³/ha)

Método	Espaçamento (m)	Idade													
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DBC	1,5 x 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	1,5 x 2,5	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	1
	1,5 x 3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	2	3	2	2	1
	2,5 x 2	3	3	3	3	3	2	2	4	4	3	4	3	2	3
	2,5 x 2,5	4	4	4	4	4	3	3	5	5	4	5	4	3	3
	2,5 x 3	6	6	6	6	6	5	5	7	7	6	7	6	5	4
	3,5 x 2	5	5	5	5	5	4	4	6	6	5	6	5	4	3
	3,5 x 2,5	7	7	7	7	7	6	6	8	8	7	8	7	6	5
	3,5 x 3	8	8	8	8	8	7	7	9	9	8	9	8	7	6
EPS	1,5 x 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
	1,5 x 2,5	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
	1,5 x 3	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	1
	2,5 x 2	1	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	1
	2,5 x 2,5	1	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	2
	2,5 x 3	1	2	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	6	3
	3,5 x 2	1	2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	2
	3,5 x 2,5	1	3	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	3
	3,5 x 3	1	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8	4

As variáveis inerentes ao povoamento, como área basal e volume por área, tendem a aumentar com a diminuição do espaçamento, conforme expresso por Weigel *et al.* (2018) e Cardoso *et al.* (2013) para espécies do gênero *Pinus*. Segundo Clutter *et al.* (1983) há um maior potencial produtivo em espaçamentos mais amplos, no entanto este potencial não é ocupado em sua totalidade, ocasionando em estagnação do crescimento com o tempo.

Para períodos de avaliação mais longos, geralmente superiores a 20 anos, o efeito do espaçamento passa a ser nulo no que se refere as variáveis de povoamento como área basal e volume por área (BALDWIN *et al.*, 2000; ZHAO *et al.*, 2010; WEGIEL *et al.*, 2018). No entanto, essa tendência não pode ser comprovada nesta pesquisa, uma vez que na idade final de 16 anos ainda houve efeito dos espaçamentos.

Quanto as finalidades da madeira oriunda de distintos espaçamentos, é consenso que em espaçamentos maiores, há geração de madeira com maiores dimensões, ideais para fins mais nobres, com vistas a utilização para serraria e laminação, por exemplo (SAMUELSON *et al.*, 2010). Ao passo que, em menores espaçamentos obtém-se madeira de menores dimensões, mais apropriadas para indústria de celulose e papel (SANQUETTA *et al.*, 2003; LIMA *et al.*, 2013).

A elaboração dos rankings entre os métodos demonstrou que há discordância na formação dos grupos para todas as variáveis entre os dois métodos de análise de variância testados. Os espaçamentos com maior produção volumétrica, principalmente nas últimas idades, foram agrupados como iguais. No entanto, por mais que a produção volumétrica seja semelhante entre esses espaçamentos, outros componentes como custo de plantio, diferem. Ou seja, a decisão baseada somente nos valores médios da produção entre espaçamentos deve ser tomada com cautela.

4.3 Análise multivariada

Os resultados dos escores dos componentes principais, ao longo dos 14 anos analisados, podem ser observados pela Figura 5. Em média, a variância explicada pelo primeiro componente (Dim1) foi de 86% e pelo segundo componente (Dim2) de 12%.

Observa-se que os espaçamentos 1,5 x 2 m e 3,5 x 3 m, respectivamente o menos amplo e o mais amplo, são opostos na dispersão dos escores e encontram-se isolados dos demais espaçamentos em todas as idades avaliadas. O que demonstra certa concordância com os resultados obtidos via teste de médias.

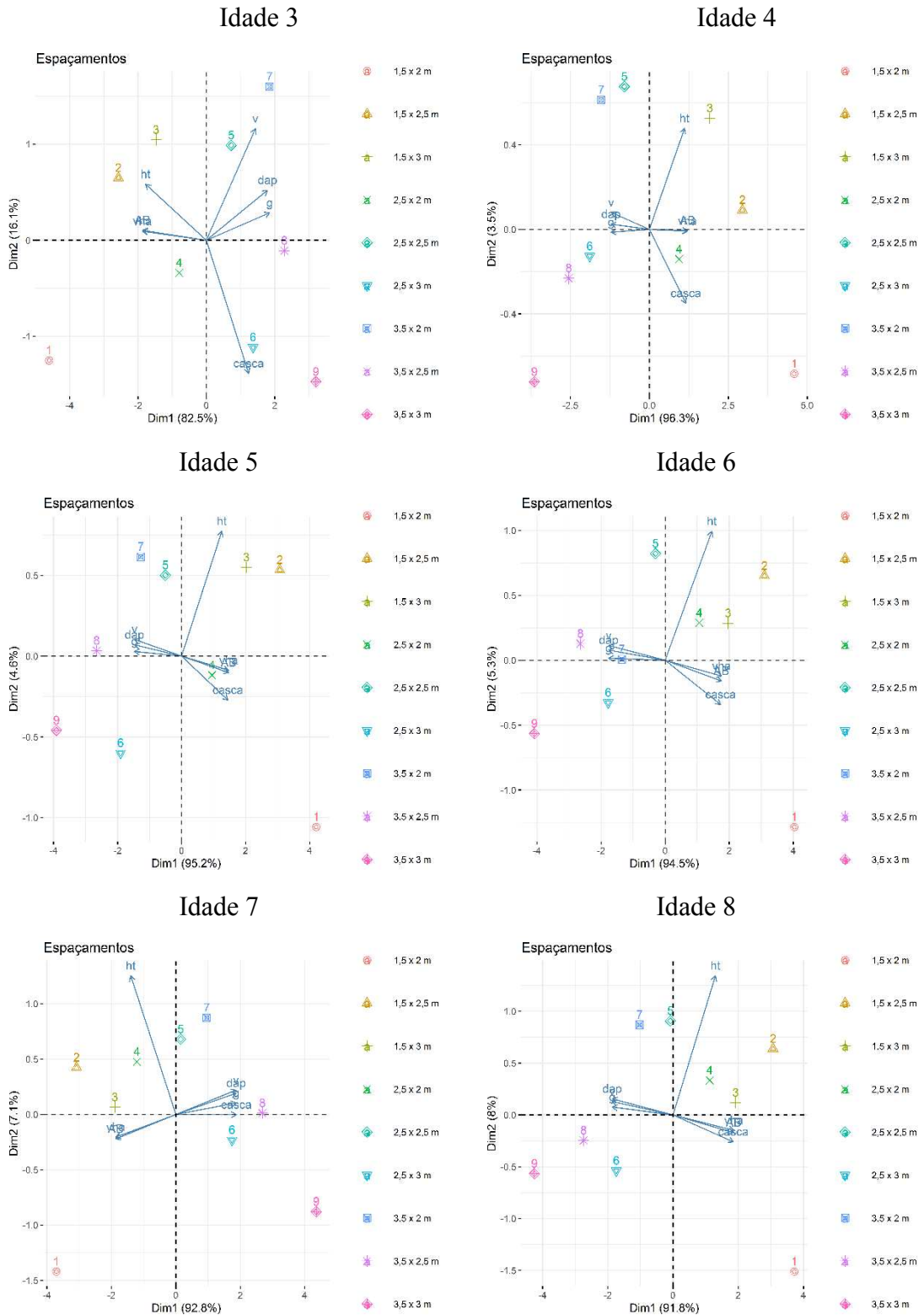
Os escores dos espaçamentos mais amplos (5 a 9) encontram-se plotados na região do gráfico onde há aumento das variáveis dendrométricas diâmetro a 1,3 m de altura; volume

comercial do fuste e área seccional média. Ao passo que área basal e volume por área aumentaram nos espaçamentos mais densos (1 a 4). O que corrobora com as tendências esperadas dessas variáveis para diferentes densidades de plantio, demonstradas em outras pesquisas que utilizaram técnicas univariadas (WOODRUFF *et al.*, 2002; LIMA *et al.*, 2013)

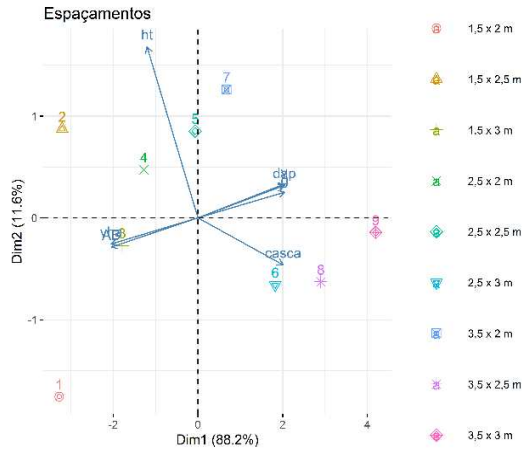
Observa-se uma grande sobreposição dos efeitos entre as variáveis volume por área e a área basal no eixo do primeiro componente (Dim1). As variáveis altura total e porcentagem de casca demonstram melhor relacionamento com o eixo do segundo componente (Dim2).

A principal vantagem da utilização das técnicas multivariadas, como componentes principais, na avaliação de experimentos de espaçamento e também em outros casos, reside na possibilidade de entender como as variáveis estão se relacionando, de forma simultânea (MINGOTI, 2013). No entanto, tal técnica esbarra no fato de não permitirem a incorporação do fator tempo, requerendo assim que as análises sejam realizadas para cada idade individualmente. Além disso, a análise de componentes principais é um pouco subjetiva. Conforme Garcia *et al.*, (1998) este inconveniente pode ser minimizado com a aplicação do método de otimização de Tocher.

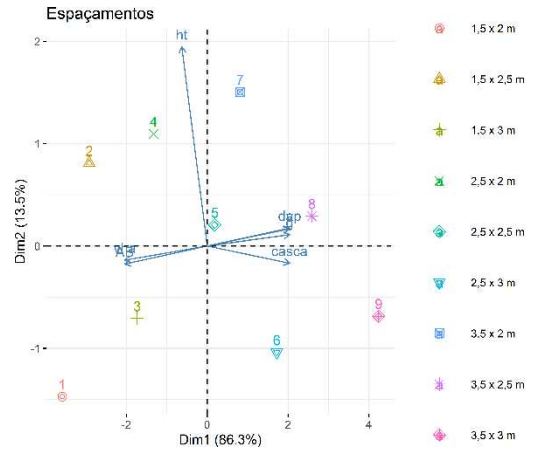
Figura 5 – Dispersão dos escores de nove espaçamentos de *Pinus taeda* L, em relação aos dois primeiros componentes principais obtidos a partir das variáveis dendrométricas e de povoamento de *Pinus taeda* L. por idade



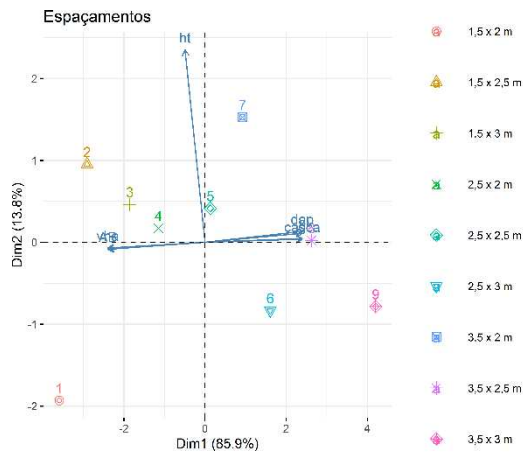
Idade 9



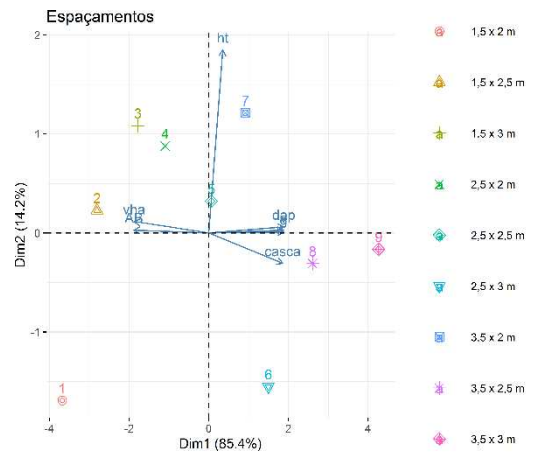
Idade 10



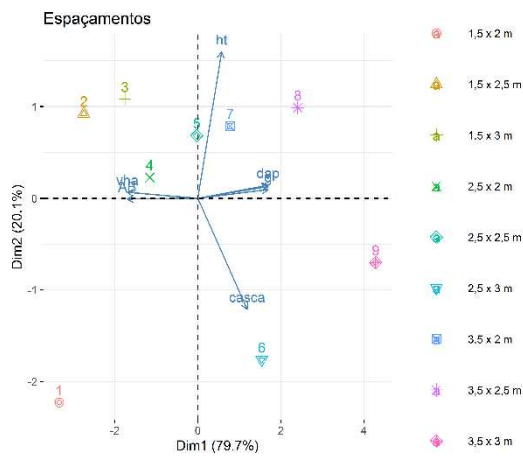
Idade 11



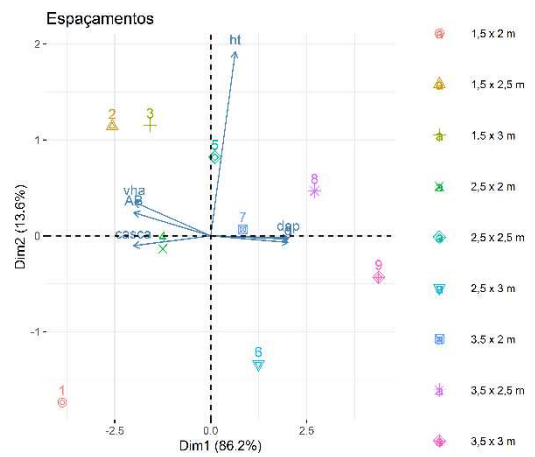
Idade 12

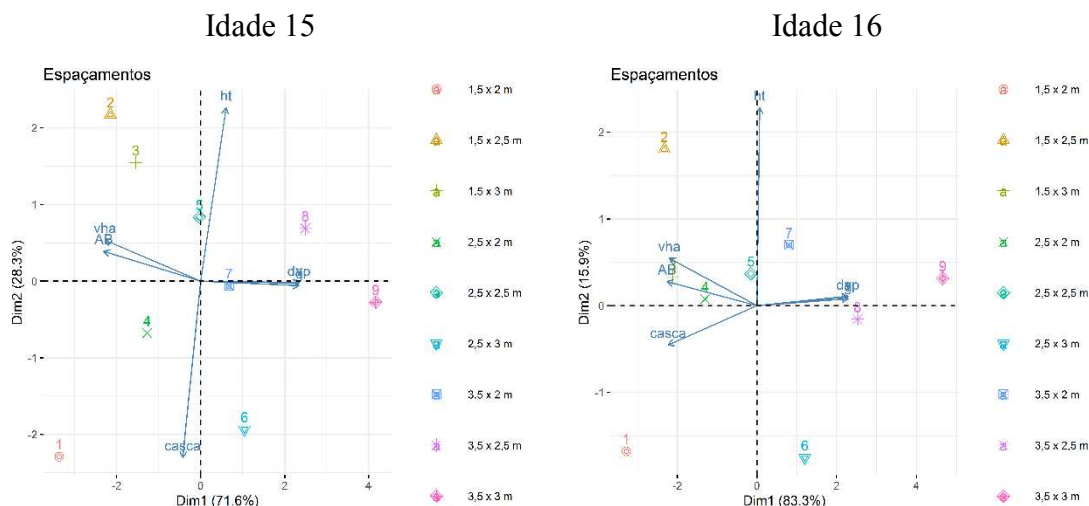


Idade 13



Idade 14





Os agrupamentos e reagrupamentos dos espaçamentos pelo método de Tocher utilizando a distância generalizada de Mahalanobis para cada idade avaliada estão contidos nas Tabelas 20 a 33, bem como, a importância relativa de cada variável obtida a partir da PCA.

De forma geral, o método de Tocher agrupou os espaçamentos em um gradiente de áreas uteis de classificação, em altas, intermediárias e baixas. Há concordância entre o agrupamento por Tocher e a análise dos escores dos espaçamentos nos componentes principais, uma vez que os espaçamentos extremos foram mais discriminados.

Observou-se que a variável altura total sofre uma influência mínima no que se refere a densidade populacional das árvores, visto que tal variável se apresentou com menor importância relativa na maioria das idades avaliadas (Tabela 20 a 34). A partir da idade de 9 anos a importância relativa da altura das árvores não ultrapassou 5% do total, o que pode ser atribuído as diferenças não significativas entre as alturas no que se refere as densidades de plantio.

Na pesquisa florestal as técnicas multivariadas de agrupamento vêm sendo utilizadas comumente para agrupar genótipos diversos em grupos similares através de características dendrométricas, de crescimento, de qualidade da madeira oriunda destes entre outras (GARCIA, 1998; CAIXETA *et al.*, 2003; LOPES *et al.*, 2004; BELTRAME *et al.*, 2012). Porém não há relatos na literatura da aplicação destas técnicas na distinção de grupos de espaçamentos. A utilização desta metodologia multivariada para avaliação de espaçamentos pode ser promissora, permitindo combinar simultaneamente variáveis de caráter dendrométrico e de povoamento com variáveis tecnológicas, por exemplo.

Tabela 20 - Agrupamento dos nove espaçamentos de *Pinus taeda* L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 3 anos do método de Tocher

Agrup.	Grupos	Espaçamentos	Contribuição relativa
1°	I	(1,5 x 2)	
	II	(1,5 x 2,5) (1,5 x 3)	
	III	(2,5 x 2) (2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	IV	(3,5 x 3)	
2°	I	(1,5 x 2) (1,5 x 2,5)	
	II	(1,5 x 3) (2,5 x 2) (2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	III	(3,5 x 3)	

Tabela 21 - Agrupamento dos nove espaçamentos de *Pinus taeda* L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 4 anos do método de Tocher

Agrup.	Grupos	Espaçamentos	Contribuição relativa
1°	I	(1,5 x 2) (1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2)	
	II	(2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	III	(3,5 x 3)	
2°	I	(1,5 x 2)	
	II	(1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2)	
	III	(2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2)	
	IV	(3,5 x 2,5) (3,5 x 3)	

Tabela 22 - Agrupamento dos nove espaçamentos de *Pinus taeda* L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 5 anos do método de Tocher

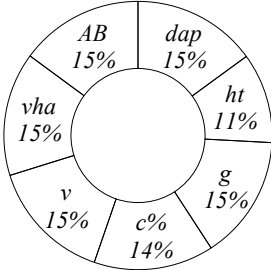
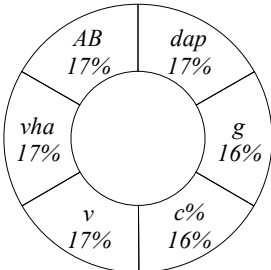
Agrup.	Grupos	Espaçamentos	Contribuição relativa
1°	I	(1,5 x 2)	
	II	(1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2) (2,5 x 2,5) (2,5 x 3)	
	III	(3,5 x 2) (3,5 x 2,5) (3,5 x 3)	
2°	I	(1,5 x 2)	
	II	(1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2)	
	III	(2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2)	
	IV	(3,5 x 2,5) (3,5 x 3)	

Tabela 23 - Agrupamento dos nove espaçamentos de *Pinus taeda* L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 6 anos do método de Tocher

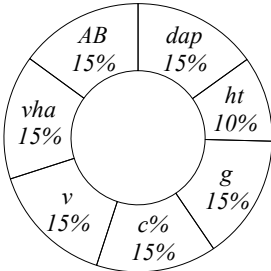
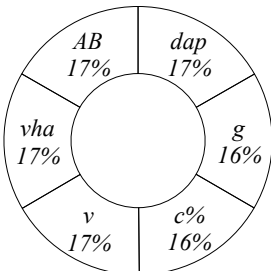
Agrup.	Grupos	Espaçamentos	Contribuição relativa
1°	I	(1,5 x 2) (1,5 x 2,5)	
	II	(1,5 x 3) (2,5 x 2) (2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	III	(3,5 x 3)	
2°	I	(1,5 x 2)	
	II	(1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2)	
	III	(2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2)	
	IV	(3,5 x 2,5) (3,5 x 3)	

Tabela 24 - Agrupamento dos nove espaçamentos de *Pinus taeda* L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 7 anos do método de Tocher

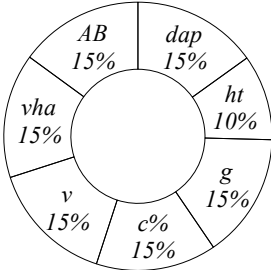
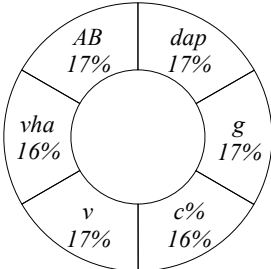
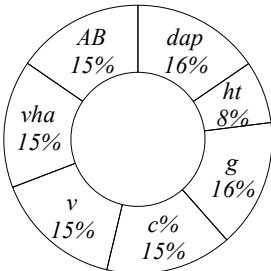
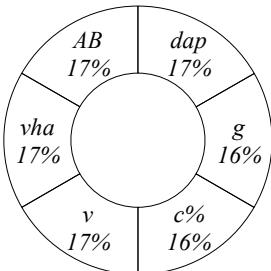
Agrup.	Grupos	Espaçamentos	Contribuição relativa
1°	I	(1,5 x 2) (1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2)	
	II	(2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	III	(3,5 x 3)	
2°	I	(1,5 x 2) (1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2) (2,5 x 2,5) (3,5 x 2)	
	II	(2,5 x 3) (3,5 x 2,5)	
	III	(3,5 x 3)	

Tabela 25 - Agrupamento dos nove espaçamentos de *Pinus taeda* L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 8 anos do método de Tocher

Agrup.	Grupos	Espaçamentos	Contribuição relativa
1°	I	(1,5 x 2)	
	II	(1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2)	
	III	(2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2)	
	IV	(3,5 x 2,5) (3,5 x 3)	
2°	I	(1,5 x 2)	
	II	(1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2)	
	III	(2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2)	
	IV	(3,5 x 2,5) (3,5 x 3)	

Continua...

Tabela 25: Cont.

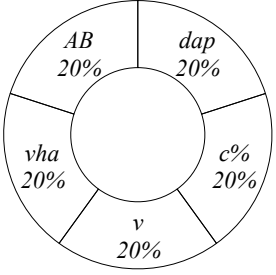
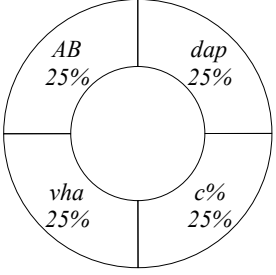
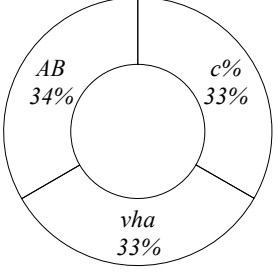
Agrup.	Grupos	Espaçamentos	Contribuição relativa
3°	I	(1,5 x 2)	
	II	(1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2)	
	III	(2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2)	
	IV	(3,5 x 2,5) (3,5 x 3)	
4°	I	(1,5 x 2)	
	II	(1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2)	
	III	(2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2)	
	IV	(3,5 x 2,5) (3,5 x 3)	
5°	I	(1,5 x 2)	
	II	(1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2)	
	III	(2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2)	
	IV	(3,5 x 2,5) (3,5 x 3)	

Tabela 26 - Agrupamento dos nove espaçamentos de *Pinus taeda* L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 9 anos do método de Tocher

Agrup.	Grupos	Espaçamentos	Contribuição relativa
1°	I	(1,5 x 2)	
	II	(1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2)	
	III	(2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	IV	(3,5 x 3)	
2°	I	(1,5 x 2) (1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2) (2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	II	(3,5 x 3)	

Tabela 27 - Agrupamento dos nove espaçamentos de *Pinus taeda* L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 10 anos do método de Tocher

Agrup.	Grupos	Espaçamentos	Contribuição relativa
1°	I	(1,5 x 2) (1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2)	
	II	(2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	III	(3,5 x 3)	
2°	I	(1,5 x 2) (1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2) (2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	II	(3,5 x 3)	

Tabela 28 - Agrupamento dos nove espaçamentos de *Pinus taeda* L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 11 anos do método de Tocher

Agrup.	Grupos	Espaçamentos	Contribuição relativa
1°	I	(1,5 x 2)	
	II	(1,5 x 2,5) (1,5 x 3)	
	III	(2,5 x 2) (2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	IV	(3,5 x 3)	
2°	I	(1,5 x 2)	
	II	(1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2) (2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2)	
	III	(3,5 x 2,5) (3,5 x 3)	

Tabela 29 - Agrupamento dos nove espaçamentos de *Pinus taeda* L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 12 anos do método de Tocher

Agrup.	Grupos	Espaçamentos	Contribuição relativa
1°	I	(1,5 x 2)	
	II	(1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2)	
	III	(2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2)	
	IV	(3,5 x 2,5) (3,5 x 3)	
2°	I	(1,5 x 2) (1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2)	
	II	(2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	III	(3,5 x 3)	

Tabela 30 - Agrupamento dos nove espaçamentos de *Pinus taeda* L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 13 anos do método de Tocher

Agrup.	Grupos	Espaçamentos	Contribuição relativa
1°	I	(1,5 x 2) (1,5 x 2,5)	
	II	(1,5 x 3) (2,5 x 2)	
	III	(2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	IV	(3,5 x 3)	
2°	I	(1,5 x 2) (1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2)	
	II	(2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	III	(3,5 x 3)	

Tabela 31 - Agrupamento dos nove espaçamentos de *Pinus taeda* L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 14 anos do método de Tocher

Agrup.	Grupos	Espaçamentos	Contribuição relativa
1°	I	(1,5 x 3) (2,5 x 2) (2,5 x 2,5) (3,5 x 2) (1,5 x 2,5) (1,5 x 2) (2,5 x 3) (3,5 x 2,5)	
	II	(3,5 x 3)	
2°	I	(1,5 x 2)	
	II	(1,5 x 2,5) (1,5 x 3) (2,5 x 2) (2,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2)	
	III	(3,5 x 2,5) (3,5 x 3)	

Tabela 32 - Agrupamento dos nove espaçamentos de *Pinus taeda* L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 15 anos do método de Tocher

Agrup.	Grupos	Espaçamentos	Contribuição relativa
1°	I	(1,5 x 2) (1,5 x 2,5)	
	II	(2,5 x 3) (3,5 x 2) (1,5 x 3) (2,5 x 2) (2,5 x 2,5)	
	III	(3,5 x 2,5) (3,5 x 3)	
2°	I	(1,5 x 2) (1,5 x 2,5) (2,5 x 3) (3,5 x 2) (1,5 x 3) (2,5 x 2) (2,5 x 2,5) (3,5 x 2,5)	
	II	(3,5 x 3)	

Tabela 33 - Agrupamento dos nove espaçamentos de *Pinus taeda* L. e contribuição relativa das variáveis dendrométricas e de povoamento para a idade de 16 anos do método de Tocher

Agrup.	Grupos	Espaçamentos	Contribuição relativa
1°	I	(2,5 x 3) (3,5 x 2) (2,5 x 2,5) (2,5 x 2) (1,5 x 3) (1,5 x 2,5) (1,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	II	(3,5 x 3)	
2°	I	(2,5 x 3) (3,5 x 2) (2,5 x 2,5) (2,5 x 2) (1,5 x 3) (1,5 x 2,5) (1,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	II	(3,5 x 3)	
3°	I	(2,5 x 3) (3,5 x 2) (2,5 x 2,5) (2,5 x 2) (1,5 x 3) (1,5 x 2,5) (1,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	II	(3,5 x 3)	
4°	I	(2,5 x 3) (3,5 x 2) (2,5 x 2,5) (2,5 x 2) (1,5 x 3) (1,5 x 2,5) (1,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	II	(3,5 x 3)	

Continua...

Tabela 33: Cont.

Agrup.	Grupos	Espaçamentos	Contribuição relativa
5°	I	(2,5 x 2,5) (2,5 x 2) (1,5 x 3) (1,5 x 2,5) (1,5 x 2)	<p>A donut chart divided into three segments. The top-left segment is labeled 'v' and '33%'. The top-right segment is labeled 'dap' and '33%'. The bottom segment is labeled 'g' and '34%'.</p>
	II	(2,5 x 3) (3,5 x 2) (3,5 x 2,5)	
	III	(3,5 x 3)	

Os resultados das Tabelas 14 a 27 mostraram que o agrupamento dos tratamentos muda com a idade, o que já era esperado. Entretanto, a partir do agrupamento pelo método de Tocher, considerando todas as variáveis, observou-se tendência a formação de poucos grupos (variando de dois a quatro grupos por idade), conforme Tabela 34. Diferentemente das ANOVA que discriminaram uma quantidade maior de grupos, em alguns casos.

Os espaçamentos serem agrupados de formas diferentes para cada variável, é uma condição esperada, uma vez que cada espaçamento apresenta condições de competição distintas (ZHAO *et al.*, 2010). No entanto, o problema em considerar as discrepâncias entre o agrupamento gerados pelos métodos distintos para uma mesma variável reside na tomada de decisão quanto a que espaçamento adotar.

Tabela 34 - Ranking dos agrupamentos formados pelo método de Tocher, ANOVA e teste de significância para os nove espaçamentos, considerando a variável volume por área – Vha (m³/ha)

Método	Espaçamento (m)	Idade													
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Tocher	1,5 x 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,5 x 2,5	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1
	1,5 x 3	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1
	2,5 x 2	3	1	2	2	1	2	2	1	3	2	2	1	2	1
	2,5 x 2,5	3	2	2	2	1	3	3	2	3	3	3	1	2	1
	2,5 x 3	3	2	2	2	1	3	3	2	3	3	3	1	2	1
	3,5 x 2	3	2	3	2	4	3	3	2	3	3	3	1	2	1
	3,5 x 2,5	3	2	3	2	4	4	3	2	3	4	3	1	3	1
	3,5 x 3	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	2	3	2
DBC	1,5 x 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	1,5 x 2,5	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	1
	1,5 x 3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	2	3	2	2	1
	2,5 x 2	4	3	3	3	3	2	2	4	4	3	4	3	3	3
	2,5 x 2,5	5	4	4	4	4	3	3	5	5	4	5	4	4	3
	2,5 x 3	6	5	5	5	5	4	4	6	6	5	6	5	5	4
	3,5 x 2	6	6	6	6	6	5	5	7	7	6	7	6	6	3
	3,5 x 2,5	7	7	7	7	7	6	6	8	8	7	8	7	7	5
	3,5 x 3	8	8	8	8	8	7	7	9	9	8	9	8	8	6
EPS	1,5 x 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1,5 x 2,5	2	2	2	3	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1
	1,5 x 3	3	3	3	2	3	3	3	3	2	2	3	2	2	1
	2,5 x 2	4	4	3	4	4	4	4	4	3	3	4	3	3	2
	2,5 x 2,5	4	5	4	5	5	5	5	5	4	4	5	4	4	3
	2,5 x 3	5	6	5	6	6	6	6	6	5	5	6	5	5	4
	3,5 x 2	4	6	6	6	6	6	6	6	5	6	7	6	6	5
	3,5 x 2,5	6	7	7	7	7	7	7	7	6	7	8	7	7	6
	3,5 x 3	7	8	8	8	8	8	8	8	8	7	8	9	8	8

4.4 Análise de regressão

As estimativas dos parâmetros para o modelo de Gompertz ajustado para Vha referentes aos 9 espaçamentos pesquisados, bem como as estatísticas de avaliação de ajuste, estão na Tabela 35. Verificou-se que todas as equações ajustadas possuem coeficientes de correlação superiores a 0,96 e erro-padrão residual das estimativas abaixo de 60 m³ha⁻¹. Os maiores espaçamentos apresentaram estimativas de maior exatidão.

Tabela 35 - Estimativas dos parâmetros do modelo de Gompertz; coeficiente de correlação entre os volumes sem casca observados e estimados na escala original de medida, em m³ha⁻¹, ($r_{y\hat{y}}$) e erro-padrão residual das estimativas ($S_{y.x}$) ajustadas para *Pinus taeda* L, $y = \text{m}^3\text{ha}^{-1}$

Espaçamento (m)	Estimativa dos parâmetros			$S_{y.x}$	$r_{y\hat{y}}$
	β_0	β_1	β_2		
1,5 x 2	807,49002	1,69573	0,01898	58,0645	0,96724
1,5 x 2,5	859,53354	1,70790	0,01771	42,5708	0,98301
1,5 x 3	887,23717	1,70383	0,01658	54,8542	0,97174
2,5 x 2	879,36197	1,71585	0,01632	55,8954	0,96959
2,5 x 2,5	913,26936	1,73192	0,01541	57,1435	0,96773
2,5 x 3	899,39130	1,75096	0,01491	43,4025	0,97918
3,5 x 2	919,03775	1,75568	0,01517	40,5346	0,98301
3,5 x 2,5	930,06144	1,77098	0,01434	41,0878	0,98093
3,5 x 3	902,65785	1,79657	0,01422	39,9186	0,98035

$$Vha = \beta_0 e^{-e^{\beta_1 - \beta_2 l}}$$

Observa-se a partir da comparação das estimativas de β_0 (valores assintóticos) para cada espaçamento (Tabela 28) que a estagnação do crescimento ocorre primeiro nos menores espaçamentos (1,5 x 2 m; 1,5 x 2,5 m e 1,5 x 3 m) do que nos maiores espaçamentos (3,5 x 2 m; 3,5 x 2,5 m e 3,5 x 3).

O parâmetro β_2 do modelo de Gompertz também permite interpretação, uma vez que ele representa a taxa de crescimento do povoamento. Os espaçamentos com menor área útil por árvore, apresentaram os maiores valores para esse parâmetro, indicando que o crescimento nessas densidades se dá de forma mais acelerada do que nos espaçamentos com maior área útil por árvore. Como consequência, há uma redução na idade técnica de corte (Figura 6)

Ambas as tendências encontradas a partir dos parâmetros do modelo de Gompertz estão de acordo com os comportamentos encontrados por Leite et al (2006a) para *Pinus taeda* em nove espaçamentos e por Medeiros et al. (2018) em *Tectona grandis* L.f com gradiente de 12 espaçamentos. A estagnação se dá mais cedo em povoamentos mais densos, atribuindo tal fenômeno ao aumento da área foliar em espaçamentos mais reduzidos, alterando a morfologia das folhas para o melhor aproveitamento da luz solar e consequentemente conversão em biomassa (ASSIS et al., 1999; BINKLEY et al., 2017).

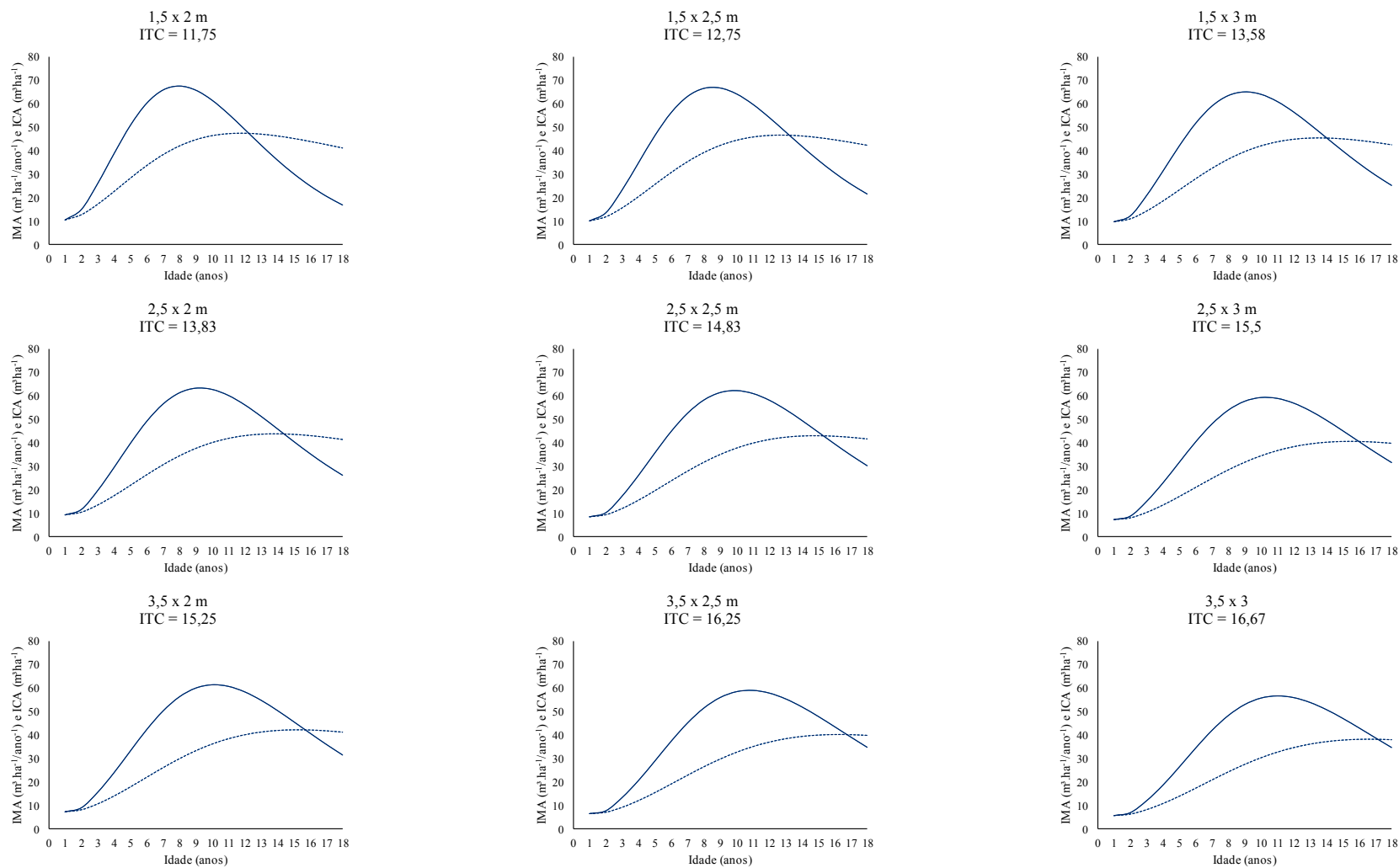
A Figura 6 demonstra a idade de ocorrência do máximo incremento médio anual (IMA máximo), ou seja, a idade técnica de corte (ITC), para os nove espaçamentos de avaliados obtidos mediante aplicação do modelo de Gompertz. As ITC variaram de 11,75 anos até 16,67 entre os espaçamentos testados. Devido ao crescimento mais acelerado em volume nos espaçamentos com maior número de árvores por área (1,5 x 2 m; 1,5 x 2,5 m e 1,5 x 3 m), tais povoamentos tendem a alcançar a idade técnica de corte primeiro do que os espaçamentos maiores (3,5 x 2 m; 3,5 x 2,5 m e 3, 5 x 3 m).

Na Tabela 36 estão inseridos os *p-valores* (5% de significância) dos testes de identidade de modelos realizados para testar a igualdade das equações de volume dos espaçamentos estudados nesta pesquisa. Seis pares de espaçamentos foram considerados iguais ($p > 0,05$) a partir do teste de identidade (1,5 x 2 m + 1,5 x 2,5 m; 1,5 x 2,5 m + 1,5 x 3 m; 1,5 x 3 m + 2,5 x 2 m; 2,5 x 2 m + 2,5 x 2,5 m; 2,5 x 2,5 m + 3,5 + 2 m e 2,5 x 3 m + 3,5 x 2,5 m). O comportamento das curvas de produção para estes espaçamentos está contido no APÊNDICE G.

Tabela 36 - Matriz de *p*-valores para o teste de identidade das equações geradas pelo modelo de Gompertz. para volume por área (m³ha⁻¹) em cada par de espaçamento de *Pinus taeda* L

Espaçamento (m)	1,5 x 2	1,5 x 2,5	1,5 x 3	2,5 x 2	2,5 x 2,5	2,5 x 3	3,5 x 2	3,5 x 2,5	3,5 x 3
1,5 x 2	x	0,20737	0,00056	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
1,5 x 2,5		x	0,02918	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
1,5 x 3			x	0,24463	0,00013	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
2,5 x 2				x	0,07797	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
2,5 x 2,5					x	0,00045	0,28873	< 0,001	< 0,001
2,5 x 3						x	0,0317	0,08902	< 0,001
3,5 x 2							x	< 0,001	< 0,001
3,5 x 2,5								x	0,00063
3,5 x 3									x

Figura 6 - Incremento médio anual – IMA (linha pontilhada); incremento corrente anual – ICA e idade técnica de corte – ITC (em anos) para nove espaçamentos de *Pinus taeda* L obtidos a partir do modelo de Gompertz.



A comparação entre os quatro métodos estatísticos testados para os nove espaçamentos está contida na Tabela 37. Pode-se observar que os métodos não apresentaram o mesmo resultado no que tange ao agrupamento dos espaçamentos.

Segundo os testes de média e o método de Tocher, os menores espaçamentos são idênticos, no que diz respeito a produção de madeira, em grande parte das idades avaliadas. No entanto, dois espaçamentos distintos com a mesma média de produção de madeira irão apresentar custos operacionais de plantio, por exemplo, diferentes. Tal fato impacta diretamente nas decisões de gerenciamento do povoamento, o que torna as análises por ANOVA e teste de significância e pelo método de Tocher frágeis e limitadas.

Tabela 37 - *Ranking* comparativo entre os quatro métodos estatísticos utilizados para avaliar os nove espaçamentos, nas idades de 12 a 16 anos

Método	Idade	1,5 x 2	1,5 x 2,5	1,5 x 3	2,5 x 2	2,5 x 2,5	2,5 x 3	3,5 x 2	3,5 x 2,5	3,5 x 3
DBC e Tukey	12	1	1	2	3	4	5	6	7	8
	13	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	14	1	1	2	3	4	5	6	7	8
	15	1	1	2	3	4	5	6	7	8
	16	2	1	1	3	3	4	3	5	6
EPS e Tukey	12	1	1	2	3	4	5	6	7	8
	13	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	14	1	1	2	3	4	5	6	7	8
	15	1	2	2	3	4	5	6	7	8
	16	1	1	1	2	3	4	5	6	7
Tocher	12	1	2	2	2	3	3	3	4	4
	13	1	1	2	2	3	3	3	3	4
	14	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	15	1	1	2	2	2	2	2	3	3
	16	1	1	1	1	1	1	1	1	2
Regressão e teste de identidade dos modelos	12	1	2	3	4	5	7	6	8	9
	13	1	2	3	4	5	7	6	8	9
	14	1	2	3	4	5	7	6	8	9
	15	1	2	3	4	5	7	6	8	9
	16	1	2	3	4	5	7	6	8	9

4.5 Considerações gerais sobre as abordagens

Na primeira parte dos resultados, abordou-se a avaliação do experimento de espaçamento mediante dois procedimentos baseados em análise de variância e posteriormente aplicação de teste de médias. Apesar de ambas as metodologias terem demonstrado a influência que os distintos espaçamentos exercem nas variáveis de interesse, deve-se ressaltar as particularidades de cada uma destas duas abordagens.

Os ensaios com povoamentos florestais em diferentes densidades de plantio podem ser caracterizados como experimentos com medidas repetidas no tempo devido a mensuração de variáveis de interesse em sucessivos intervalos de tempo. Esses experimentos envolvem, no geral, dois fatores: tratamentos (espaçamento) e tempo (idade), objetivando principalmente comparar as tendências dos tratamentos ao longo do período avaliado (MALHEIROS, 2004)

Em síntese, a ANOVA utilizando somente o delineamento em blocos, isolando cada idade como um experimento independente, é um método limitado. Mediante isso, as conclusões geradas são frágeis e podem ser equivocadas, uma vez que se considera somente o efeito dos diferentes locais (BANZATTO; KRONKA, 2008). Ou seja, a análise de variância em cada tempo ignora a correlação entre diferentes períodos avaliados, o que a torna incompleta no estudo da interação espaçamento x idade (VIVALDI, 1999).

Recomenda-se utilizar a análise em DBC somente em casos onde o interesse seja obter uma conclusão em um período pontual, como em Gomes *et al.* (1997) para avaliar o efeito dos espaçamentos na produção volumétrica de *Pinus* em uma única idade pré-definida. No entanto, análises pontuais como está não se justificam em casos onde há medidas repetidas no tempo e não permite decidir seguramente sobre o melhor espaçamento. É preciso considerar as tendências de crescimento que diferem em função do espaçamento.

Para incluir o efeito da idade do povoamento, os ensaios de espaçamento podem ser estudados mediante a abordagem em parcelas subdivididas no tempo, visto que este esquema avalia as variações das respostas globais e individuais considerando o efeito do tempo (SANTOS *et al.*, 2013). Diversos trabalhos utilizaram esta metodologia para aferir sobre a influência das diferentes densidades de plantio nas principais variáveis dendrométricas de *Pinus taeda* L. Como exemplo, Leite *et al.* (2006a) ao avaliar 6 variáveis ao longo de um período de uma década no Sul do Brasil e Zhao *et al.* (2011) ao monitorar 6 espaçamentos por 12 anos na planície costeira dos Estados Unidos.

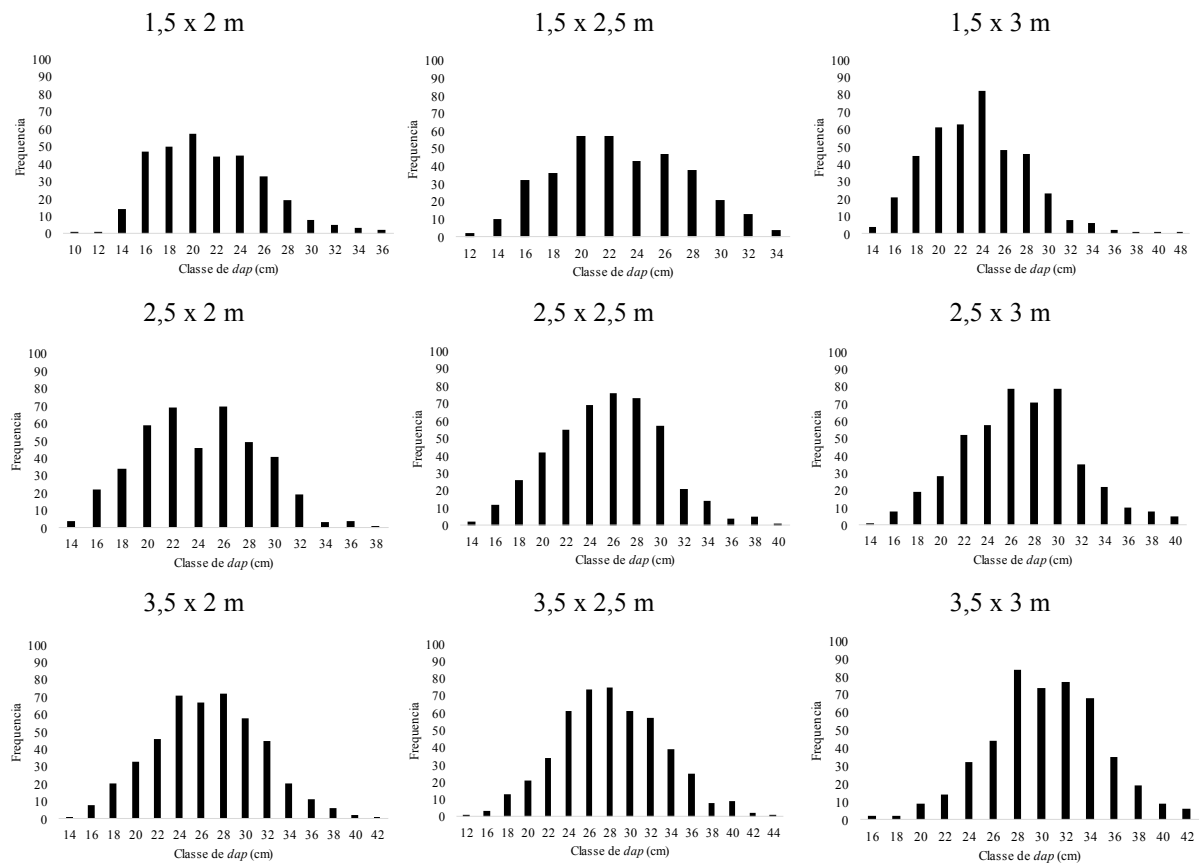
Ainda que mais adequada em comparação ao delineamento em blocos casualizados independentemente do tempo, o esquema de parcelas subdivididas também esbarra em limitações para aplicação na avaliação do efeito do espaçamento. Uma vez que são atestados os efeitos significativos para a interação entre variável resposta testada e tempo, o desdobramento passa a ser impreterivelmente realizado mediante análise via modelos de regressão (JONES; NACHTSHEIM, 2009).

Ao escolher analisar um experimento de espaçamento via análise de regressão, deve-se atentar para o fato de que as equações obtidas além de descreverem as curvas de crescimento da variável de interesse de forma específica para cada tratamento, também geram informações relevantes para o manejo do povoamento. Os parâmetros ajustados de algumas das funções de crescimento, por exemplo, têm interpretações práticas acerca da estagnação e das taxas de crescimento nos espaçamentos (ZEIDE, 1993; CAMPOS; LEITE, 2017).

No caso desta pesquisa, optou-se pela utilização de um modelo de regressão do nível povoamento total incluindo apenas a variável independente idade. No entanto, também seria válido a utilização de modelos de crescimento e produção de distribuição diamétrica (LEITE *et al.*, 2006b) ou de árvore individual (MARTINS *et al.*, 2011; CASTRO *et al.*, 2014; SHARMA *et al.*, 2019). Estes modelos são indicados quando necessário considerar o porte das árvores na análise dos dados do experimento.

Tomemos uma demonstração simples de como as conclusões isoladas oriundas de testes de médias são limitadas. A Figura 7 representa a distribuição de frequência nas classes de diâmetro para os espaçamentos testados na idade de 16 anos. Pode-se observar que a distribuição das árvores nas classes de diâmetro apresenta padrões distintos nos diferentes espaçamentos. Para a abordagem em ANOVA e teste de médias a única informação que temos é média do *dap* na idade de 16 anos (Tabelas 2 e 3). Ou seja, é uma conclusão limitada e que mascara as informações intrínsecas a cada espaçamento, como a frequência nas classes de diâmetro ou o diâmetro máximo e mínimo do povoamento. Através da modelagem por regressão, utilizando um modelo de crescimento e produção de distribuição de diâmetros ou de árvores individuais, por exemplo, seria possível representar os diferentes padrões de frequência nos espaçamentos estudados, gerando um nível de informação mais detalhado do que somente quais médias diferindo entre si (MEDEIROS *et al.*, 2018). Estas modelagens são encontradas em Campos e Leite (2017).

Figura 7 - Distribuição diamétrica para os 9 espaçamentos de *Pinus taeda* L. avaliados na idade de 16 anos.



Os resultados apresentados até aqui demonstram que as conclusões sobre o efeito dos espaçamentos podem variar com o método estatístico utilizado e com a variável considerada. Considerando que as variáveis e os tratamentos são quantitativos (m^3ha^{-1} e idade), o método mais indicado é a análise de regressão, com a modelagem dos dados e interpretações sobre idade de corte, taxas de crescimento e aspectos econômicos, levando em consideração, se necessário, o porte das árvores.

Aqui fazemos uma análise com foco na produção total. Entretanto, se o objetivo levar em conta o porte das árvores, a análise deve envolver a modelagem das árvores individualmente (modelos de árvore individual) ou a modelagem por classe de diâmetro. Nesses casos é necessário que a parcela tenha número de árvores suficientes (30 ou mais árvores por hectare).

5. CONCLUSÕES

Rejeitou-se a hipótese $H_{0(1)}$. Assim, a análise de dados de experimentos com variáveis quantitativas empregando análise de variância e testes de significância, métodos multivariados e análise de regressão não conduzem a mesma interpretação e conclusões sobre efeitos do espaçamento. A análise de dados de experimentos com variáveis quantitativas empregando análise de variância e teste de médias deve ser evitada, a menos que estejam disponíveis em uma única idade.

Os resultados obtidos na análise de variância e teste de médias, e nas análises multivariadas, não permitem inferir acerca do crescimento e da produção de madeira dos espaçamentos e rotação ótima.

A análise de regressão é o método mais adequado para avaliar o efeito dos espaçamentos na produção de madeira. A partir de um modelo de crescimento e produção podem ser obtidas informações acerca do povoamento, como assíntota, taxas de crescimento e rotação econômica ótima entre outras.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKERS, M. K.; KANE, M.; ZHAO, D.; TESKEY, R. O.; DANIELS, R. Effects of planting density and cultural intensity on stand and crown attributes of mid-rotation loblolly pine plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 310, p. 468–475, dez. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.07.062>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112713005203>. Acesso em: 23 out. 2020.

ALTMAN, N.; KRZYWINSKI, M. Points of significance: split plot design. **Nature Methods**, v. 12, p. 165–166, fev./mar. 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nmeth.3293>. Acesso em: 23 out. 2020.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, dez. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil. Acesso em: 23 out. 2020.

ANDRADE, C. M.; FINGER, C. A. G.; THOMAS, C.; SCHNEIDER, P.R. Variação do incremento anual ao longo do fuste de *Pinus taeda* L. em diferentes idades e densidades populacionais. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 17, n. 3, p. 239–246, set. 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/198050981955>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1955>. Acesso em: 23 out. 2020.

ARAÚJO, E. J. G.; DAVID, H. C.; MORAIS, V. A.; SCOLFORO, J. R. S.; PÉLLICO NETO, S.; ZANETTE, V. H.; KOEHLER, H. S. Crescimento em diâmetro e altura da regeneração natural de *Eremanthus incanus*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 44, n. 2, p. 217-228, abr./jun. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v44i2.31362>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/31362>. Acesso em: 23 out. 2020.

ARAUJO, V. A.; GARCIA, J. N.; CORTEZ-BARBOSA, J.; GAVA, M.; SAVI, A. F.; MORALES, E. A. M.; LAHR, F. A. R.; VASCONCELOS, J. S.; CHRISTOFORO, A. L. Importância da madeira de florestas plantadas para a indústria de manufaturados. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, PR, v. 37, n. 90, p. 189–200, abr./jun. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2017.pfb.37.90.824>

ASSIS, R. L.; FERREIRA, M. M.; MORAIS, E. J.; FERNANDES, L. A. Produção de biomassa de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, sob diferentes espaçamentos na região do cerrado de Minas Gerais. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 23 n. 2, p. 151-156, abr./jun. 1999.

BALDWIN, V. C.; PETERSON, K. D.; CLARK, A.; FERGUSON, R. B.; STRUB, M. R.; BOWER, D. R. The effects of spacing and thinning on stand and tree characteristics of 38-year-old loblolly pine. **Forest Ecology and Management**, v. 137, n. 3, p. 91-102, out. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00340-0](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00340-0) Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112799003400>. Acesso em: 23 out. 2020.

BALLONI, E. A.; SIMÕES, J. W. **O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais**. IPEF- Série Técnica, Piracicaba, v.1, n.3, p. 1-16, Set. 1980.

BANZATTO, A. D.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal, SP: FUNEP, 2006. 249 p.

BELTRAME, R.; BISOGNIN, B. A.; MATTOS B. D.; CARGNELUTTI FILHO, A.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A.; SANTOS, G. A. Desempenho silvicultural e seleção precoce de híbridos de clones de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47 n. 6, p. 791-796, jun. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000600009> Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2012000600009&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 23 out. 2020.

BINKLEY, D.; CAMPOE, O. C.; ALVARES, C.; CARNEIRO, R. L.; CEGATTA, I.; STAPE, J. L. The interactions of climate, spacing and genetics on clonal Eucalyptus plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology and Management**, v. 405, p. 271-283, dez. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.09.050> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112717311386>. Acesso em: 23 out. 2020.

BORDERS, B. E.; BAILEY, R. L. Loblolly pine – pushing the limits of growth. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 25, n. 2, p. 69–74, mai. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1093/sjaf/25.2.69> Disponível em: <https://academic.oup.com/sjaf/article/25/2/69/4782297>. Acesso em: 23 out. 2020.

CAIXETA, R. P.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. S.; LIMA, J. T. Propriedades e classificação da madeira aplicada à seleção de genótipos de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 1, p. 43-51, jan./fev. 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000100006>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622003000100006&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 23 out. 2020.

CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. **Mensuração Florestal: Perguntas e respostas**. 5. ed. Viçosa: Editora UFV, 2017. 636 p.

CARDOSO, D. J.; LACERDA, A. E. B.; ROSOT, M. A. D.; GARRASTAZÚ, M.C.; LIMA, R. T. Influence of spacing regimes on the development of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) in Southern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 310, n. 15, p. 761–769, dez. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.09.021>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037811271300635X><https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037811271300635X>. Acesso em: 23 out. 2020.

CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; CARNEIRO, A. C. O.; LIMA, J. E.; SANTOS, R. C.; PEREIRA, B. L. C.; ALVES, I. C. N. Análise multivariada para seleção de clones de eucalipto destinados à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 6, p. 627-635, jun. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013000600008> Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2013000600008&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 23 out. 2020.

CASTRO, R.; SOARES, C.; LEITE, H.; SOUZA, A.; MARTINS, F.; NOGUEIRA, G.; OLIVEIRA, M.; SILVA, F. Competição em Nível de Árvore Individual em uma Floresta Estacional Semidecidual. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 22, n. 1, p. 43-66, jun. 2014. Disponível em: http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0870-63522014000100003. Acesso em: 23 out. 2020.

CECON, P. R.; SILVA, A. R.; NASCIMENTO, M.; FERREIRA, A. **Métodos Estatísticos**. Viçosa: Editora UFV, 2012. 229 p.

CERQUEIRA, C. L.; MÔRA, R.; TONINI, H.; VENDRUSCOLO, D. G. S.; LANSSANOVA, L. R.; ARCE, J. E.; DINIZ, C. C. C. Efeito do espaçamento e arranjo de plantio na relação hipsométrica de eucalipto em sistema consorciado de produção. **Nativa**, Sinop, MT, v. 7, n. 6, p. 763-770, nov./dez. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i6.7643>. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/6818/7200>. Acesso em: 23 out. 2020.

CHMURA, D. J.; TJOELKER, M. G. Leaf traits in relation to crown development, light interception and growth of elite families of loblolly and slash pine. **Tree Physiology**, Victoria, v. 28, n. 5, p. 729–742, mai. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1093/treephys/28.5.729>. Disponível em: <https://academic.oup.com/treephys/article/28/5/729/1730820>. Acesso em: 23 out. 2020.

CLUTTER, J. L. Compatible growth and yield for loblolly pine. **Forest Science**, 9: 354-371, 1963.

CORDEIRO, S. A.; SILVA, M. L.; OLIVEIRA NETO, S. N.; OLIVEIRA, T. M. Simulação da Variação do Espaçamento na Viabilidade Econômica de um Sistema Agroflorestal. **Floresta e Ambiente**, v. 25, n. 1, nov. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.034613> Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872018000100104&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 23 out. 2020.

CORRAR, L. J.; PAULO, E.; DIAS FILHO, J. M. **Análise multivariada para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. 1. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2014. 541 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2014. 668 p.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**, Maringá, PR, v. 35, n. 3, p. 271-276, jul./set. 2013. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v35i3.21251>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-86212013000300001#:~:text=GENES%20is%20a%20software%20package,to%20plant%20and%20animal%20breeding. Acesso em: 23 out. 2020.

CRUZ, J. P.; LEITE, H. G.; SOARES, C. P. B.; CAMPOS, J. C. C.; SMIT, L.; NOGUEIRA, G. S.; OLIVEIRA, M. L. R. Modelos de crescimento e produção para plantios comerciais jovens de *Tectona grandis* em Tangará da Serra, Mato Grosso. **Revista Árvore**, Viçosa, MG,

v. 32, n. 5, p. 821-828, set./out. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000500006>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622008000500006. Acesso em: 23 out. 2020.

DEMÉTRIO, C. G. B. **Modelos lineares generalizados em experimentação agrônômica**. Piracicaba: ESALQ, 2001. 113p.

DOSSA, D.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; RODIGHERI, H. R. **Produção e Rentabilidade de *Pinus* em Empresas Florestais**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002, 6 p.

DRESCHER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; QUEIROZ, F. L. C. Artificial Form Factor of *Pinus elliottii* Engelm for the Region of “Serra do Sudeste”, Rio Grande do Sul (Brazil). **Ciência Rural**, Santa Maria, RS, v. 31, n. 1, p. 23-35, jan./fev. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782001000100006>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782001000100006. Acesso em: 23 out. 2020.

ELOY, E.; OTOMAR, C. B.; AGOSTINHO, S. D.; SCHMIDT, D.; TREVISAN, R.; BEHLING, A.; ELLI, E. F. Influência do espaçamento nas características energéticas de espécies arbóreas em plantios de curta rotação. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 3, p. 551-559, mai./jun. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622014000300018>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622014000300018. Acesso em: 23 out. 2020.

FARIA, P. N.; CECON, P. R.; SILVA, A. R.; FINGER, F. L.; SILVA, F. F.; CRUZ, C. D.; SÁVIO, F. L. 2012. Métodos de agrupamento em estudo de divergência genética de pimentas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, n. 3, p. 428-432, jun./set. 2012.

FERREIRA, P. I.; GOMES, J. P.; BATISTA, F.; BERNARDI, A. P.; COSTA, N. C.; BORTOLUZZI, R. C.; MANTOVANI, A. Espécies potenciais para recuperação de áreas de preservação permanente no Planalto Catarinense. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, RJ, v. 20, n. 2, p. 173-182, abr./jun. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/loram>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179-80872013000200004. Acesso em: 23 out. 2020.

GARCIA, S. L. R. **Importância de características de crescimento, de qualidade da madeira e da polpa na diversidade genética de clones de Eucalipto**. 1998. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

GAZOLA, R. N.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; DINALLI, R. P.; MORAES, M. L. T.; CELESTRINO, T. S.; SILVA, P. H. M.; DUPAS, E. Doses of N, P and K in the cultivation of eucalyptus in soil originally under Cerrado vegetation. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, PR, v. 36, n. 3, p. 1895–1912, 2015. DOI: 10.5433/1679-0359.2015v36n3Supl1p1895. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/17901/16451>. Acesso em: 23 out. 2020.

GOMES, F. S.; MAESTRI, R.; SANQUETTA, C. R. Avaliação da produção em volume total e sortimento em povoamento de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes condições de espaçamento inicial e sítio. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 7, n. 1, p. 101-126, nov. 1997. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/19805098342>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/342/0>. Acesso em: 23 out. 2020.

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

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2009. 688 p.

HÄRDLE, W., SIMAR, L. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. Berlin, Germany: Springer Verlag, 2007. 580 p.

HÉBERT, F.; KRAUSE, C.; PLOURDE, P.Y.; ACHIM, J. Effect of trees spacing on tree level volume growth, morphology, and wood properties in a 25 years old *Pinus banksiana* plantation in the boreal forest of Quebec. **Forests**, Basel, v. 7, id 276, 2016. DOI: <https://doi:10.3390/f7110276>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/7/11/276/htm>. Acesso em: 23 out. 2020.

HOFFMANN, R.; VIEIRA, S.O. **Análises de regressão: Econometria**, 2.ed., São Paulo: Hucitec, 1987.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES – IBA. **Relatório IBA 2019**. São Paulo: IBA; 2019. Disponível em: <https://iba.org/publicacoes>. Acesso em: 23 out. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura** [online]. Rio de Janeiro: IBGE; 2018. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=290&z=p&o=29&i=P>. Acesso em: 23 out. 2020.

JONES, B.; NACHTSHEIM, C. J. Split-Plot Design: What, Why, and How. **Journal of Quality Technology**, London, v. 41, n. 4, p. 340–361, nov./2009. DOI: <https://doi.org/10.1080/00224065.2009.11917790>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/ref/10.1080/00224065.2009.11917790?scroll=top>. Acesso em: 23 out. 2020.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; SOUZA, A. L.; CARVALHO. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamento de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 271-280, mar./abr. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000200010>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622005000200010. Acesso em: 23 out. 2020.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; CAMPOS, J. C. C.; TAKIZAWA, F. H.; RODRIGUES, F. L. Um modelo de distribuição diamétrica para povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 1, p. 89-98. jan./fev. 2006a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000100011>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622006000100011&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 23 out. 2020.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus Taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 4, p. 603–612, jun./ago. 2006b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622006000400013> Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622006000400013&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 23 out. 2020.

LEITE, H. G.; OLIVEIRA-NETO, R. R.; MONTE, M. A.; FARDIN, L.; ALCANTARA, A. M.; BINOTI, M. L. M. S.; CASTRO, R. V. O. Modelo de afilamento de cerne de *Tectona grandis* L.f. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 39, n. 89, p. 53-59, mar. 2011.

LIMA, R.; INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAUJO, A. J.; MACHADO, S. A. Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico de *Pinus taeda* L. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, RJ, v. 20, n. 2, p. 223-230, 2013. DOI: <https://dx.doi.org/10.4322/loram.2013.001>. Acesso em: 23 out. 2020.

LOESCH, C.; HOELTGEBAUM, M. **Métodos estatísticos multivariados**. 1. ed. São Paulo, SP. Saraiva, 2012.

LOPES, M. C.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; LONGHI, S. J.; ROSSO, S. F.; FERNANDES, D. L. G.; MENEZES, L. F. Agrupamento de árvores matrizes de *Eucalyptus grandis* em função das variáveis dendrométricas e das características tecnológicas da madeira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 14, n. 2, p. 133-144, 2004. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050981813>

MALHEIROS, E. B. Precisão de testes f univariados usados em experimentos com medidas repetidas no tempo, quando a condição de esfericidade da matriz de covariâncias não é verificada. **Revista de Matemática e Estatística**, São Paulo, SP, v. 22, n. 2, p. 23-29, mai./ago. 2004. Disponível em: <http://www.journals4free.com/link.jsp?l=49419561>. Acesso em: 23 out. 2020.

MARTINS, F. B.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; SOUZA, A. L.; CASTRO, R. V. O. Índices de competição em árvores individuais de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, SP, v. 46, n. 9, p. 1089-1098. set. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2011000900017>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2011000900017&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 23 out. 2020.

MEDEIROS, R. A.; NOGUEIRA, H. P.; LEITE, H. G.; SALLES, T. T.; ARAÚJO JÚNIOR, C. A.; DÁVILA, F. S. Idade técnica do primeiro desbaste de povoamentos de teca em diferentes espaçamentos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 45, n. 116, p. 705-716, dez. 2017. DOI: <https://dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n116.11>

MELO, L. C.; BARRETO, P. A. B.; OLIVEIRA, F. G. R. B.; NOVAES, A. B. de. Estimativas volumétricas em povoamento de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* no sudoeste da Bahia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, PR, v. 33, n. 76, p. 379-386, out./dez. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4336/2013.pfb.33.76.459>

MENDES, C. J.; NEVES, C. U.; BERGER, R. Áreas de Preservação Permanente e Reserva Legal: percepção dos proprietários rurais do município de Otacílio Costa, SC. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 42, n. 4, p. 671-682, out./dez. 2012.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v42i4.17283>. Disponível em:

<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/17283/19825>. Acesso em: 24 out. 2020.

MENDONÇA, A. R.; CARVALHO, S. P. C.; CALEGARIO, N. Modelos hipsométricos generalizados mistos na predição da altura de *Eucalyptus sp.* **Cerne**, Lavras, MG, v. 21, n. 1, p. 107-115, jan./mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760201521011191>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602015000100107&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 24 out. 2020.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: Uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte, MG: Editora UFMG, 2013. 297 p.

NAGAR, B.; RAWAT, S.; RATHIESH, P.; SEKAR, I. Impact of Initial Spacing on Growth and Yield of *Eucalyptus Camaldulensis* in Arid Region of India. **World Applied Sciences Journal**, v. 33, n. 8, p. 1362-1368, 2015. DOI:

<http://dx.doi.org/10.5829/idosi.wasj.2015.33.08.247>

NOGUEIRA, G. S.; LEITE, H. G.; REIS, G. G.; MOREIRA, M. A. Influência do espaçamento inicial sobre a forma do fuste de árvores de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 855-860, set./out. 2008. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-67622008000500010>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622008000500010#:~:text=Espa%C3%A7amentos%20iniciais%20maiores%20resultam%20em,em%20rela%C3%A7%C3%A3o%20a%20espa%C3%A7amentos%20menores. Acesso em: 24 out. 2020.

NOGUEIRA, S. G.; LEITE, H. G.; CAMPOS, J. C. C.; TAKIZAWA, F. H. T.; COUTO, L. Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Eucalyptus sp.* submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 2, p. 271-280, mar./abr. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000200010>. Disponível em:

https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622005000200010&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 24 out. 2020.

OLIVEIRA NETO, S. N.; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; LEITE, H. G.; NEVES, J. C. L. Crescimento e distribuição diamétrica de *Eucalyptus camaldulensis* em diferentes espaçamentos e níveis de adubação na região de cerrado de Minas Gerais. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, p. 755-762, out./dez. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v40i4.20327>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/20327/13485>. Acesso em: 24 out. 2020.

OLIVEIRA, M. L. R. **Mensuração e modelagem do crescimento e da produção de povoamentos não-desbastados de clones de eucalipto**. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.

PATIÑO-VALERA, F. **Variação genética em progênes de *Eucalyptus salignae* e sua interação com o espaçamento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 1986, 192p.

PAULA, G. A. **Modelos de regressão com apoio computacional.** São Paulo: Instituto de Matemática e Estatística, 2006. 441p.

PEREIRA, J. C.; DIAS, P. A. S.; MERGULHÃO, R. C.; THIERSCH, C. R.; FARIA, L. C. Modelo de crescimento e produção de Clutter adicionado de uma variável latente para predição do volume em um plantio de *Eucalyptus urograndis* com variáveis correlacionadas espacialmente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, v. 44, n. 110, p. 393-403, jun. 2016. DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n110.12](https://doi.org/10.18671/scifor.v44n110.12).

REIS, L. P.; DE SOUZA, A. L.; MAZZEI, L.; DOS REIS, P. C. M.; LEITE, H. G.; SOARES, C. P. B.; TORRES, C. M. M. E.; DA SILVA, L. F.; RUSCHEL, A. R. Prognosis on the diameter of individual trees on the eastern region of the amazon using artificial neural networks. **Forest Ecology and Management**, v. 382, n. 15, p. 161-167, dez. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.022>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112716307745>. Acesso em: 24 out. 2020.

SAMUELSON, L. J.; EBERHARDT, T. L.; BUTNOR, J. R.; STOKES, T.; A.; JOHNSEN, K. H. Maximum growth potential in loblolly pine: results from a 47-year-old spacing study in Hawaii. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 40, n. 10, p. 1914-1929, out. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1139/X10-133>. Disponível em: <https://cdnsiencepub.com/doi/10.1139/X10-133>. Acesso em: 24 out. 2020.

SANQUETTA, C. R.; MORA, A. L.; BORSATO, R.; VIDAL, M. A. S.; PEIXOTO, A. M. M.; CHIARANDA, R. Efeito do espaçamento de plantio em reflorestamentos de *Pinus taeda* L. em Jaguariaíva-PR. **Acadêmica**, Curitiba, PR, v. 1, n. 1, p. 55-61, jan./mar. 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.7213/cienciaanimal.v1i1.14889>. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/index.php/cienciaanimal/article/view/14889/14421>. Acesso em: 24 out. 2020.

SANQUETTA, C. R.; REZENDE, A. V.; GAIAD, D.; SCHAAF, L. B.; ZAMPIER, A. C.; ARCE, J. E. Produção de madeira para celulose em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos a diferentes densidades de plantio e regimes de desbaste: Abordagem experimental. **Cerne**, Lavras, MG, v. 10, n. 2, p. 154-166, jun./dez. 2004.

SANTANA, O. A.; ENCINAS-IMANÃ, J. Influência do vento no volume de toras e no fator de forma de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Cerne**, Lavras, MG, v. 19, n. 2, p. 347-356, abr./jun. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-77602013000200020>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-77602013000200020&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 24 out. 2020.

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

SANTOS, A. C.; SILVA, S.; LEITE, H. G.; CRUZ, J. P. Influência da variabilidade edafoclimática no crescimento de clones de eucalipto no Nordeste baiano. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, PR, v. 37, n. 91, p. 259-268, jul./set. 2017a.
DOI:<https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.91.1207>

SANTOS, A.; SAVIAN, T. V.; MUNIZ, J. A.; Regressão não linear no desdobramento da interação em experimentos com parcela subdividida no tempo. **Revista Brasileira de Biometria**, São Paulo, SP, v. 31, n. 1, p. 379-396, 2013.

SANTOS, G. A.; XAVIER, A.; LEITE, H. G. Desempenho silvicultural de clones de *Eucalyptus grandis* em relação às árvores matrizes. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 737-747, set/out. 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000500007>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622006000500007. Acesso em: 24 out. 2020.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo florestal**. Lavras: Universidade Federal de Lavras. FAEPE, 1997. 433 p.

SHARMA, M.; BURKHART, H. E.; AMATEIS, R. L. Modeling the effect of density on growth of loblolly pine trees. **Southern Journal of Applied Forestry**, v. 26, n. 3, p. 124-133, ago. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1093/sjaf/26.3.124>. Disponível em: <https://academic.oup.com/sjaf/article/26/3/124/4782317>. Acesso em: 24 out. 2020.

SHARMA, R. P.; VACEK, Z.; VACEK, S.; KUCERA, M. Modelling individual tree height-diameter relationships for multi-layered and multi-species forests in central Europe. **Trees**, v. 33, p. 103-119, set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1762-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-018-1762-4>. Acesso em: 24 out. 2020.

SHIMIZU, J.Y. **Pinus na silvicultura brasileira**. 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 223 p.

SILVA, J. F. Variabilidade genética em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e sua interação com espaçamentos. 1990. 126p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, M. L. M.; BINOTTI, D. H. B.; GLERIANI, J. M.; LEITE, H. G. Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, n. 6, p. 1133-1139, nov./dez. 2009. DOI:10.1590/S0100-67622009000600015. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622009000600015. Acesso em: 24 out. 2020.

SOARES, T. S.; LEITE, H. G.; VALE, A. B.; SOARES, C. P. B.; SILVA, G. F. Avaliação de um modelo de passo invariante na predição da estrutura de um povoamento de *Eucalyptus* sp. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 31, n. 2, p. 275-283, mar./abr. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000200010>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622007000200010&lang=pt. Acesso em: 24 out. 2020.

STATSOFT, INC. **Statistica** (data analysis software system), version 12. 2017.
<www.statsoft.com>

VASCONCELOS, E.S. CRUZ, C. D.; BHERING, L. L.; RESENDE JÚNIOR, M. F. Método alternativo para análise de agrupamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n 19, p. 1421-1428, out. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000015>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2007001000008&lng=pt&tlng=pt. Acesso em: 24 out. 2020.

VASQUEZ, G.A.; NOGUEIRA, A.S.; KIRCHNER, F.F.; BERGER, R. Uma síntese da contribuição do gênero *Pinus* para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 37, n. 3, p. 445–450, set./dez/ 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/RF.V37I3.9941>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/9941/6834>. Acesso em: 24 out. 2020.

VICINI, L.; SOUZA, A. M. **Análise Multivariada da Teoria à Prática**. UFSM, CCNE, Santa Maria, 2005.

VIVALDI, L. J. **Análise de experimentos com dados repetidos ao longo do tempo ou espaço**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1999. 52p.

WEĞIEL, A.; BEMBENEK, M.; LACKA, A.; MEDERSKI, P. S. Relationship between stand density and value of timber assortments: a case study for Scots pine stands in North-Western Poland. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v. 48, n. 12, p. 2-9, set. 2018 DOI: <https://doi.org/10.1186/s40490-018-0117-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40490-018-0117-7>. Acesso em: 24 out. 2020.

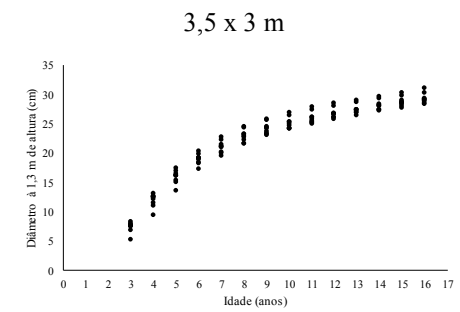
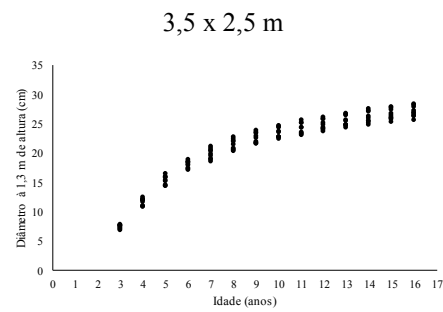
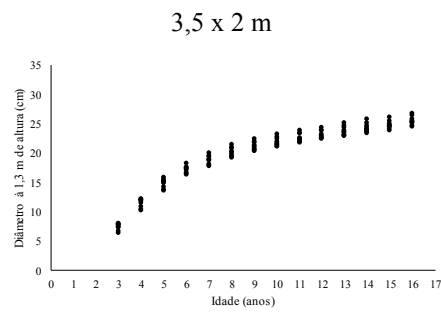
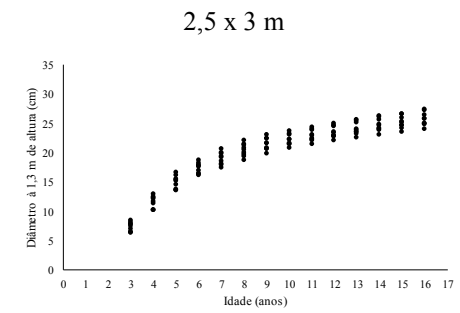
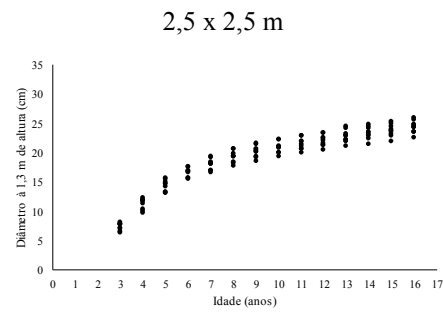
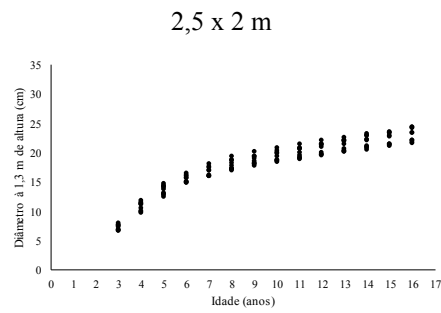
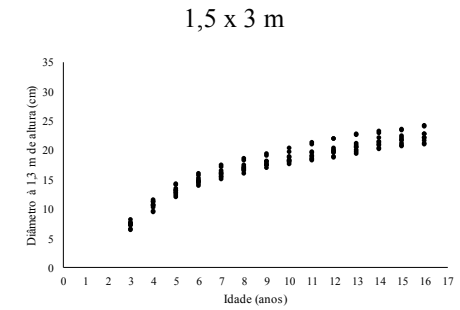
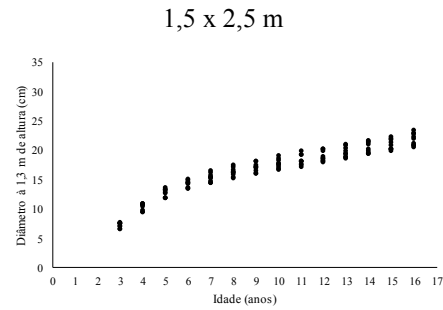
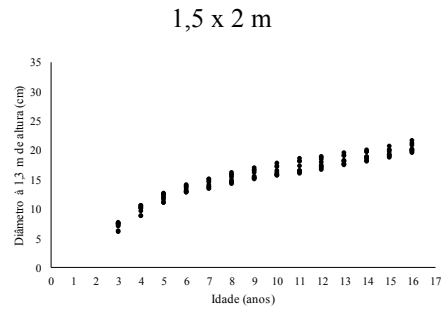
WOODRUFF, D. R.; BOND, B. J.; RITCHIE, G.A.; SCOTT, W. Effects of stand density on the growth of young Douglas-fir trees. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 32, p. 420-427, mar. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1139/x01-213>. Acesso em: 24 out. 2020.

ZEIDE, B. Analysis of growth equations. **Forest Science**, v. 39, n. 3, p. 594–616, ago. 1993. DOI: [/10.1093/forestscience/39.3.594](https://doi.org/10.1093/forestscience/39.3.594). Disponível em: <https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/39/3/594/4627173?redirectedFrom=fulltext>. Acesso em: 24 out. 2020.

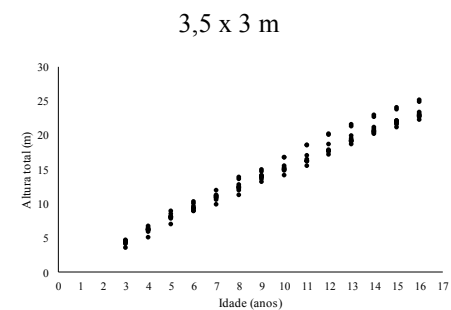
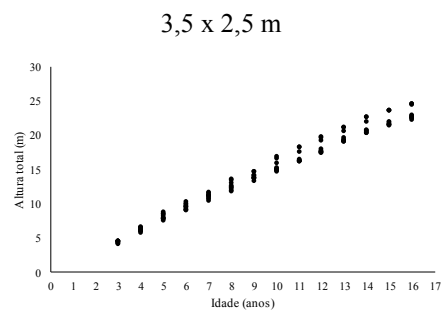
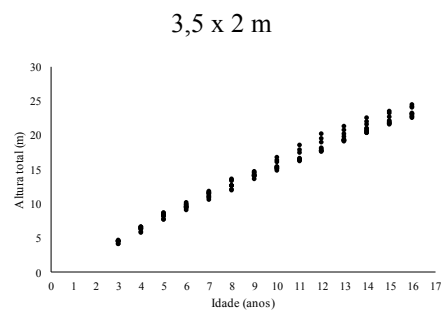
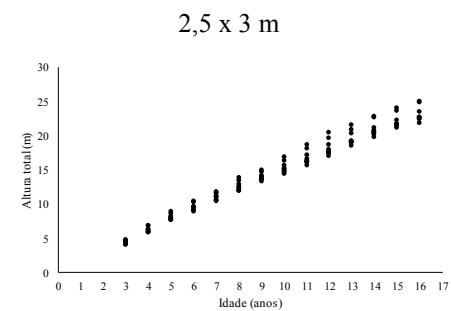
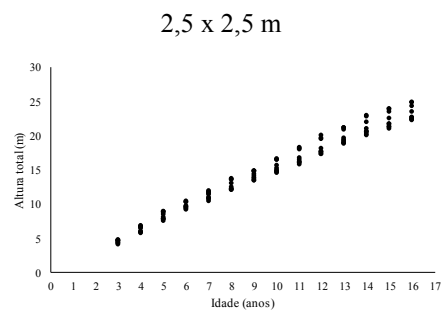
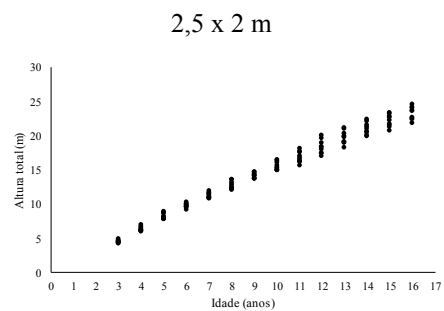
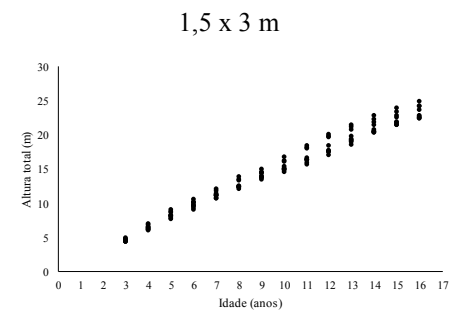
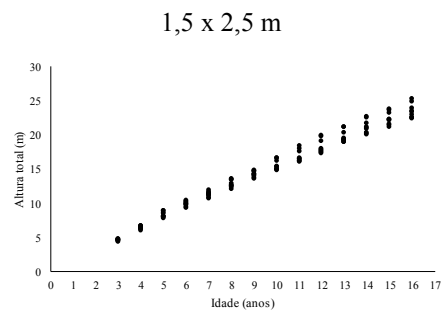
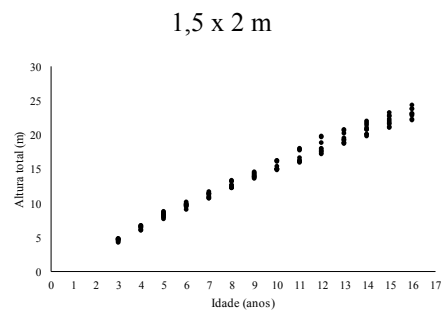
ZHAO, D. H.; KANE, M.; BORDERS, B. E. Growth responses to planting density and management intensity in loblolly pine plantations in the southeastern USA Lower Coastal Plain. **Annals of Forest Science**, v. 68, p. 625–635, out. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0045-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13595-011-0045-7>. Acesso em: 24 out. 2020.

7. APÊNDICES

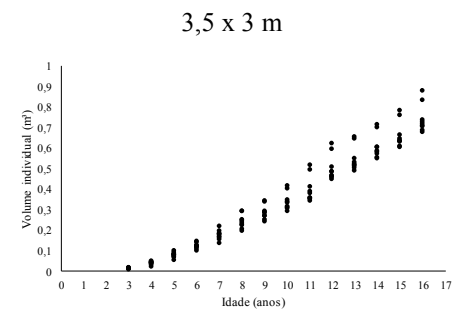
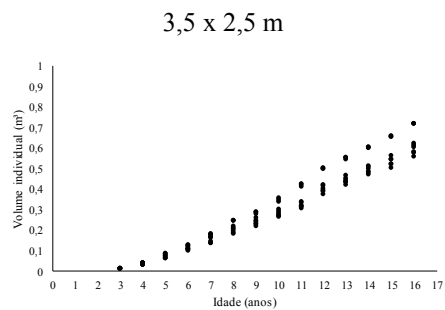
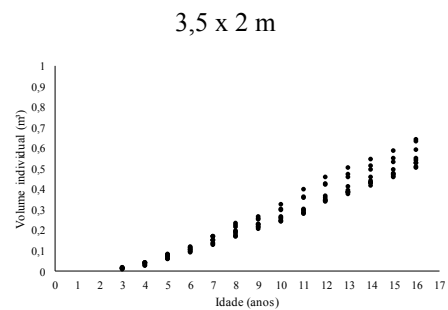
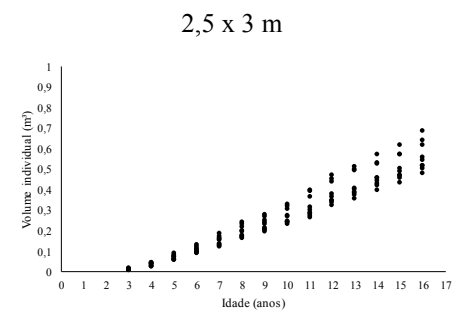
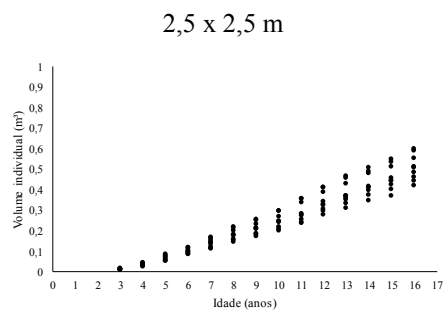
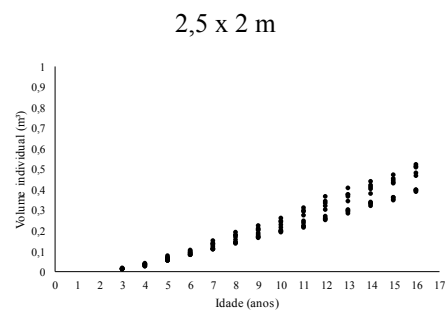
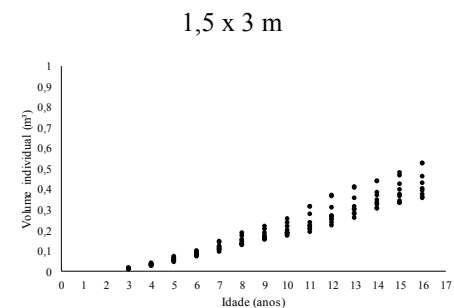
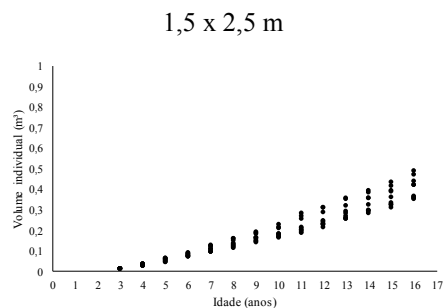
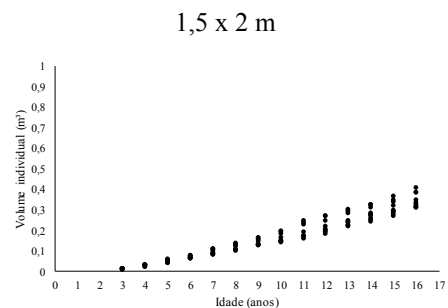
APÊNDICE A - Dispersão observada para a variável diâmetro a 1,3 m de altura – *dap* (cm) de *Pinus taeda* L em nove espaçamento



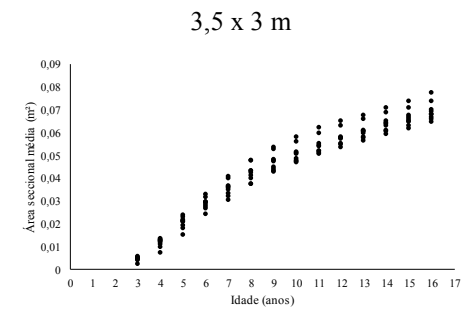
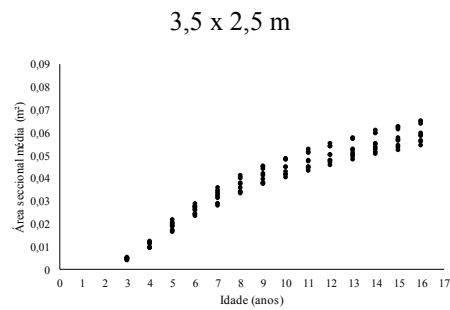
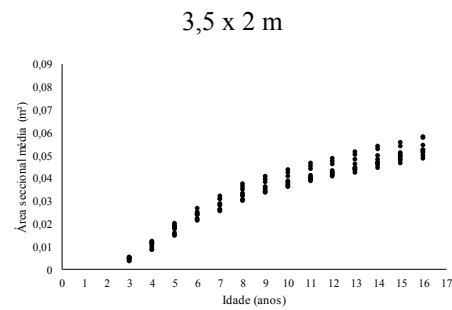
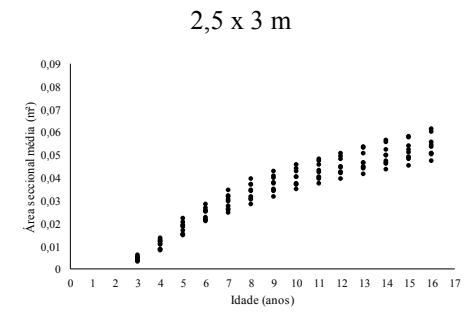
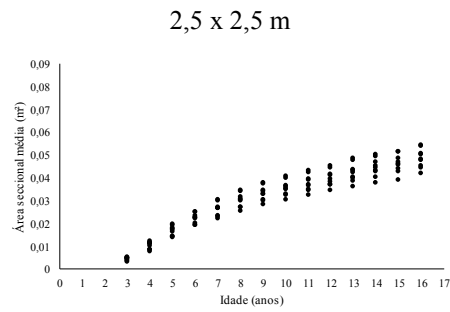
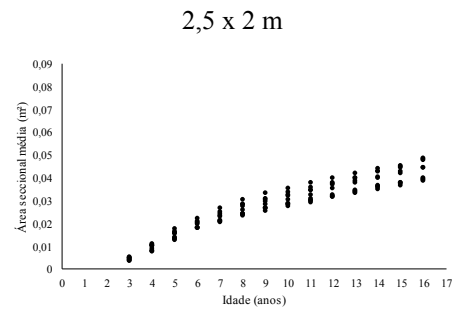
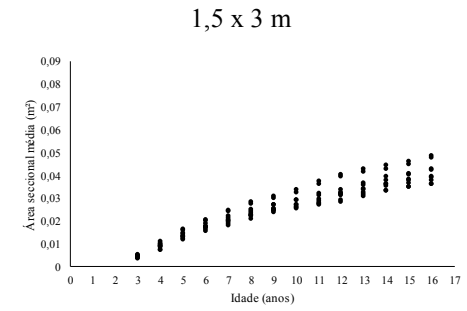
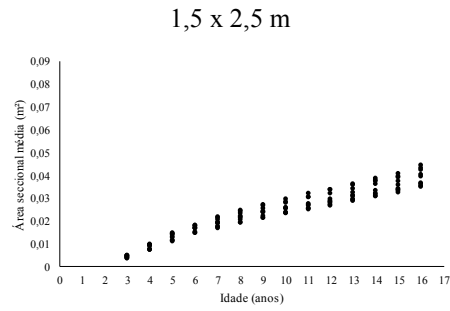
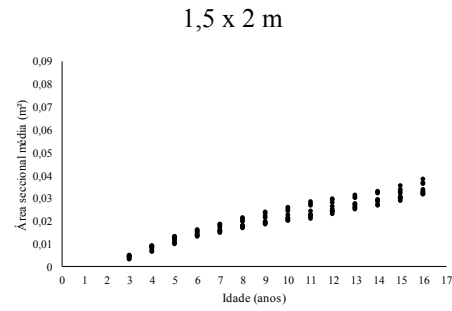
APÊNDICE B - Dispersão observada para a variável altura total – *Ht* (m) de *Pinus taeda* L em nove espaçamentos



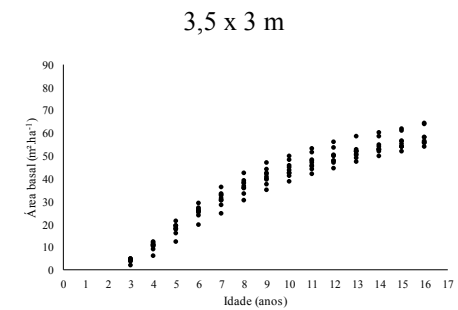
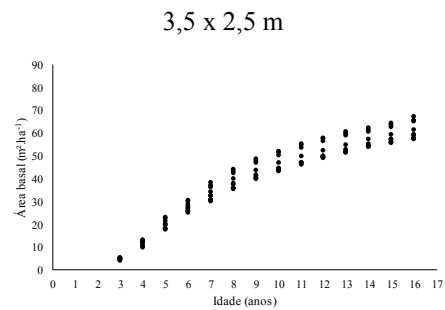
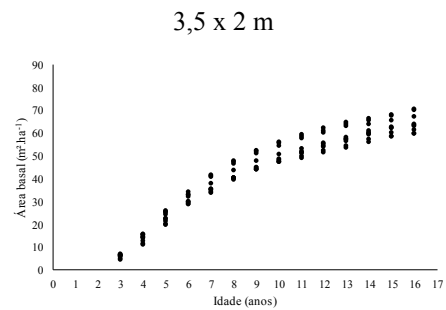
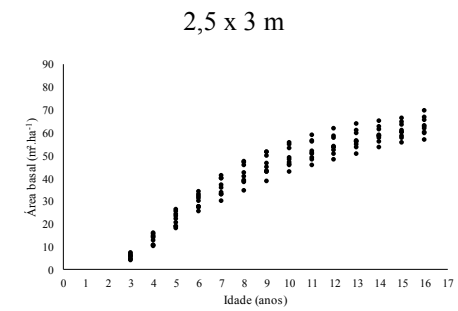
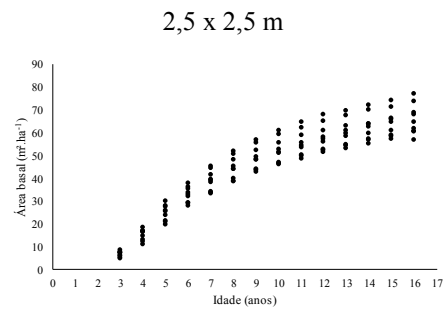
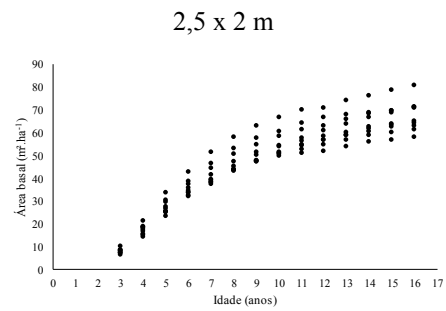
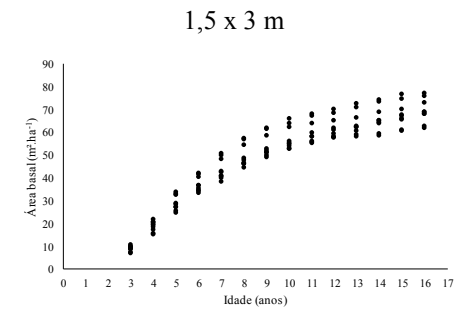
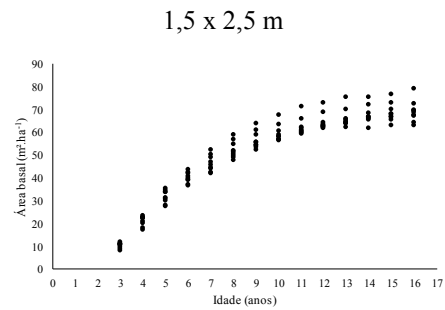
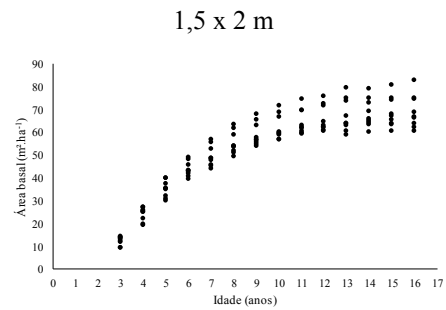
APÊNDICE C - Dispersão observada para a variável volume comercial do fuste sem casca – V (m^3) de *Pinus taeda* L em nove espaçamentos



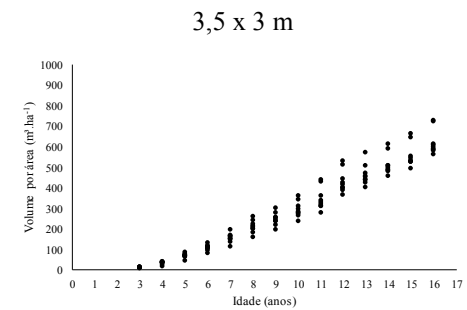
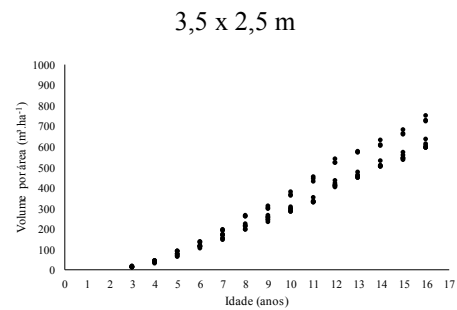
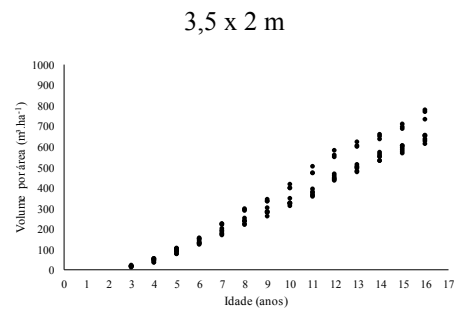
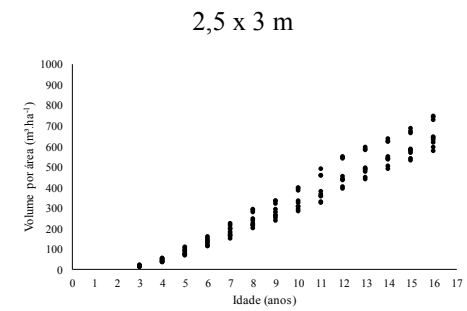
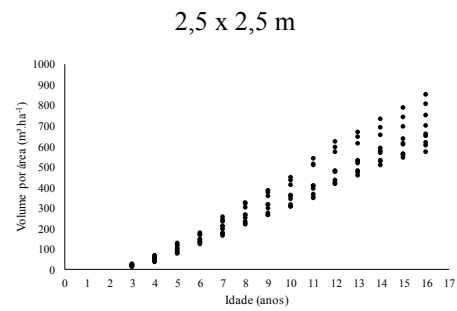
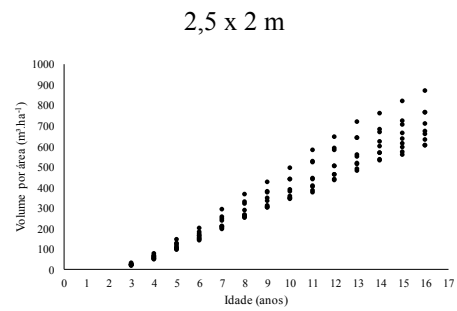
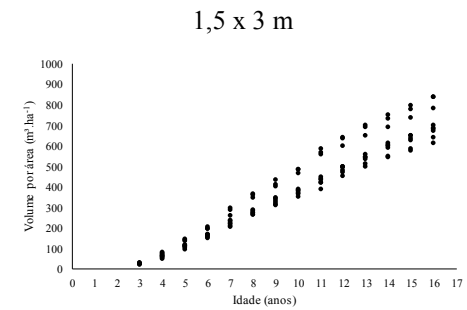
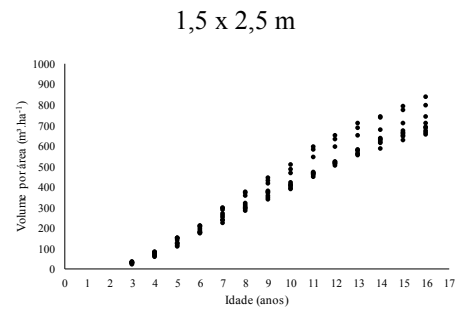
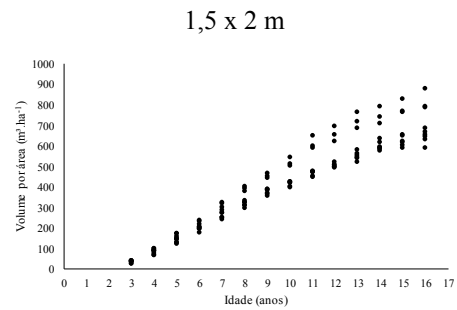
APÊNDICE D - Dispersão observada para a variável área seccional – g (m²) de *Pinus taeda* L em nove espaçamentos



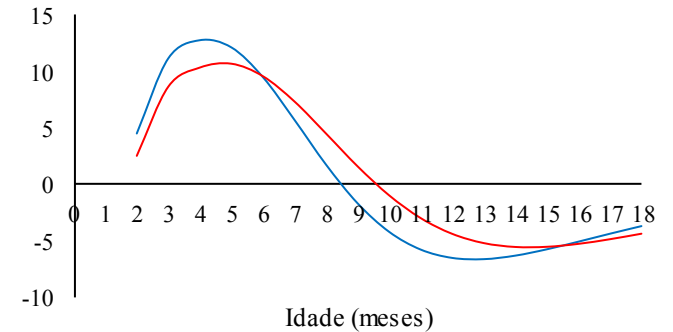
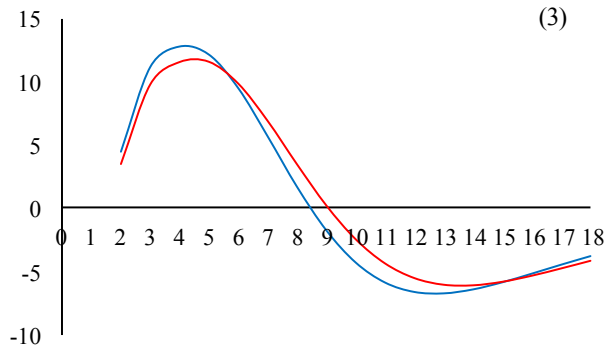
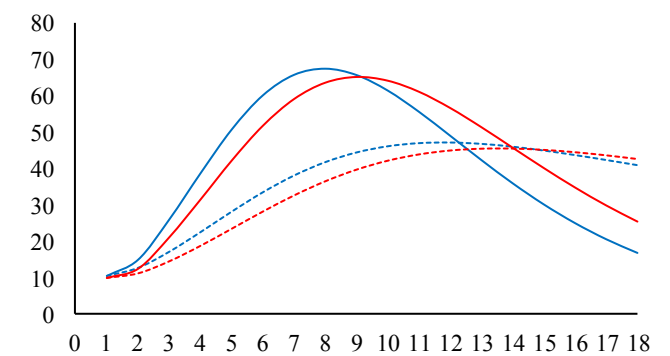
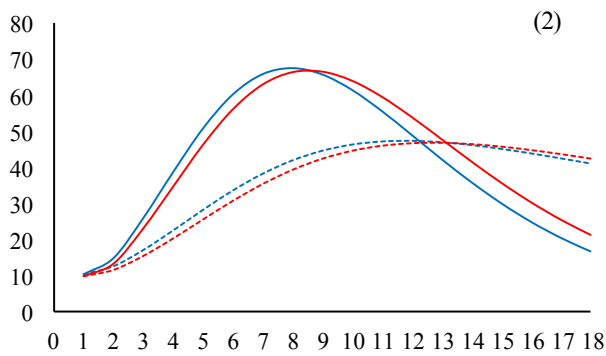
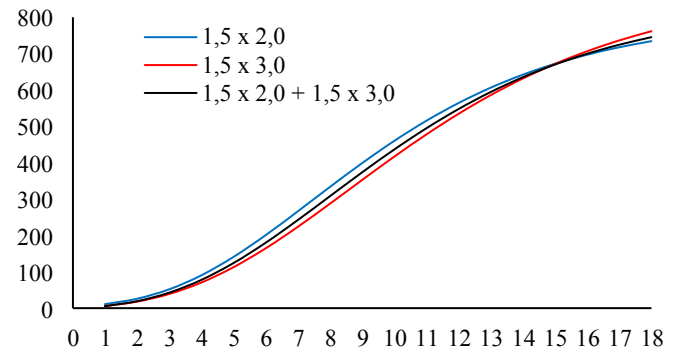
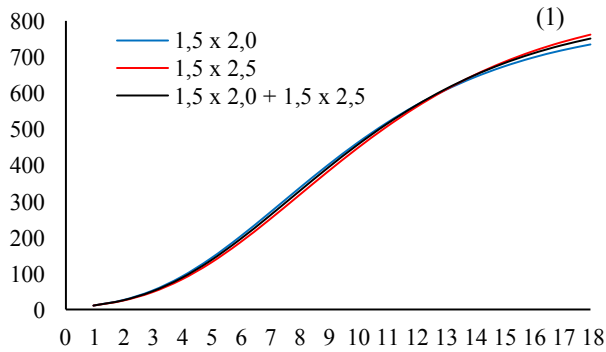
APÊNDICE E - Dispersão observada para a variável área basal – AB (m²/ha) de *Pinus taeda* L em nove espaçamentos



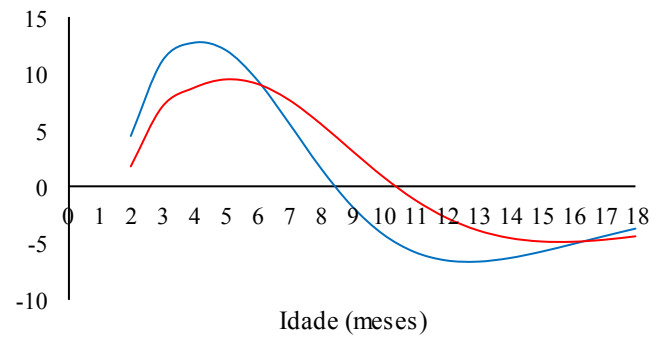
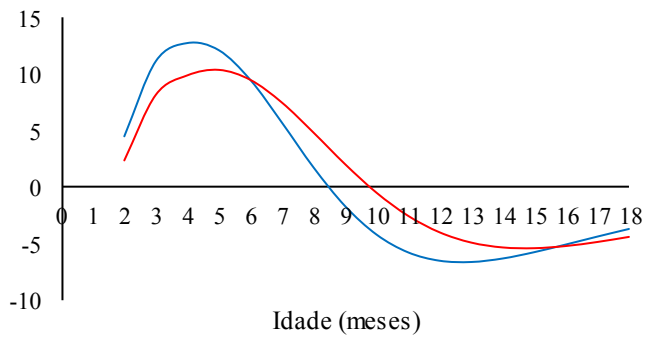
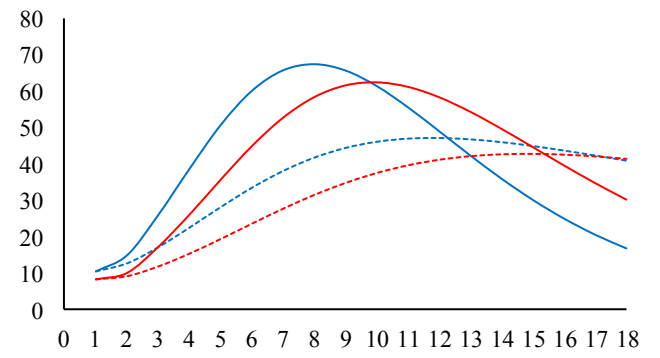
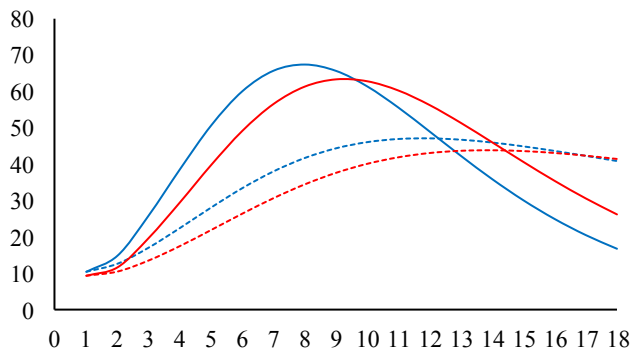
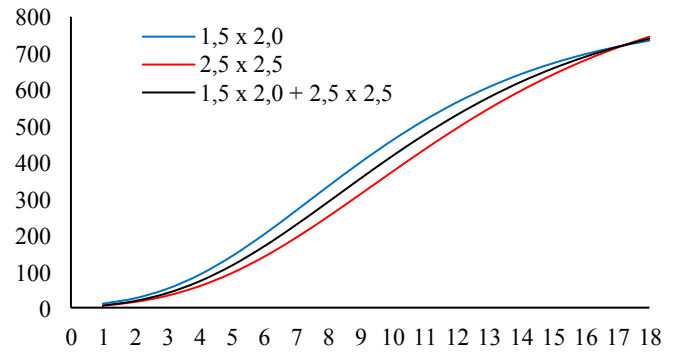
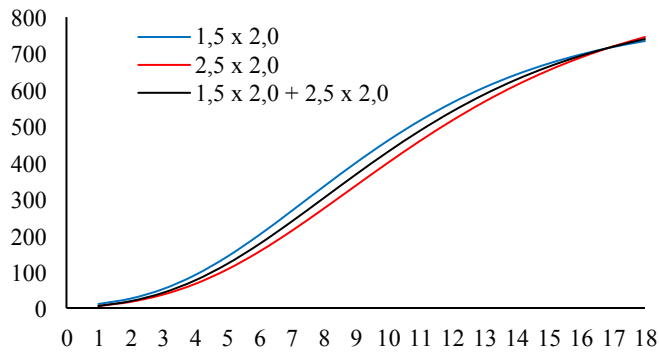
APÊNDICE F - Dispersão observada para a variável volume por área – Vha (m^3/ha) de *Pinus taeda* L em nove espaçamentos



APÊNDICE G - Curvas de produção (m^3ha^{-1}) (1), crescimento (produtividade média em $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ em linha pontilhada) (2) e aceleração do crescimento (m^3ha^{-1}) (3) estimadas pelo modelo de Gompertz (eixo y) para pares de espaçamentos (m)

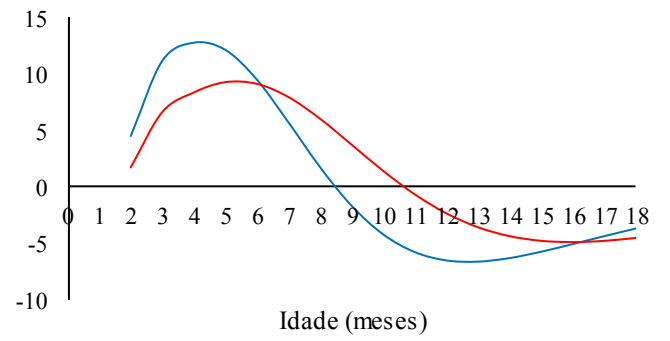
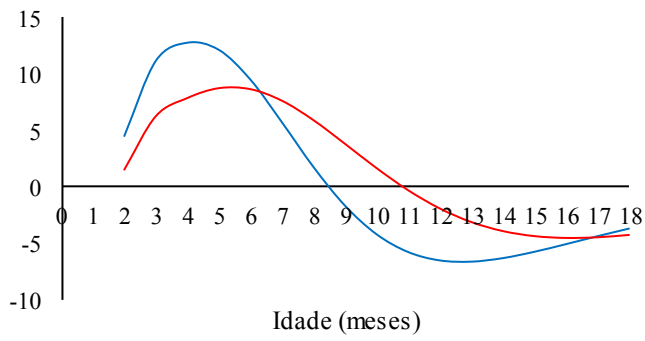
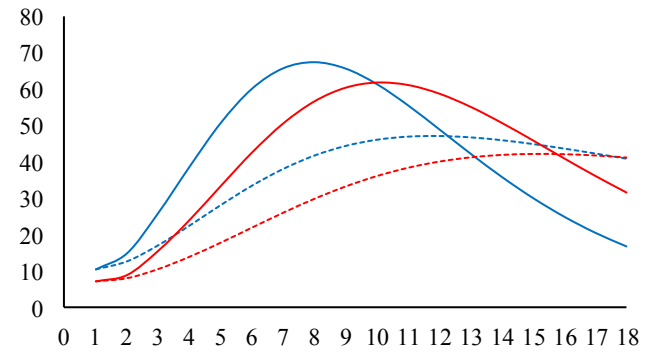
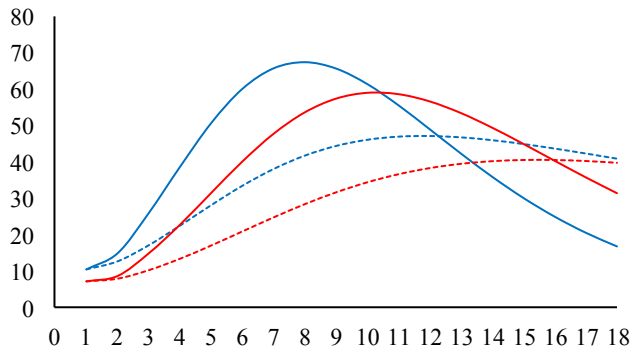
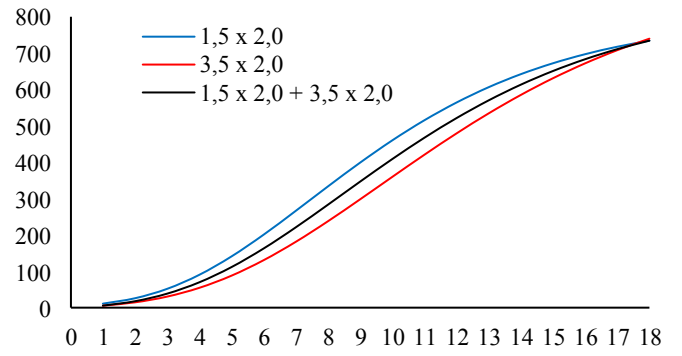
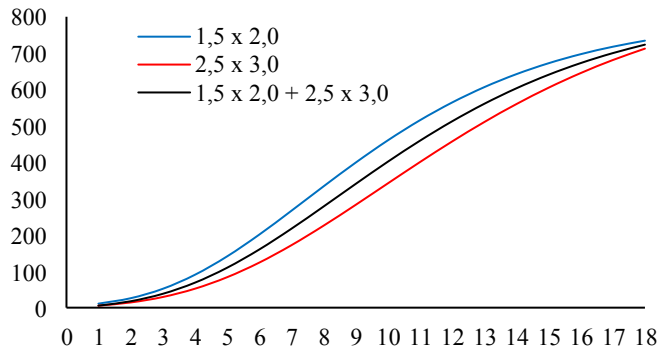


Idade (meses)



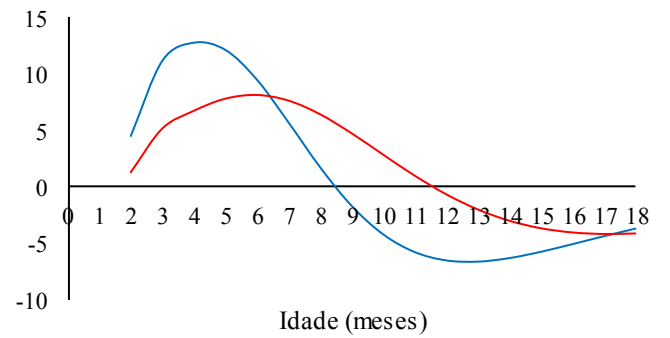
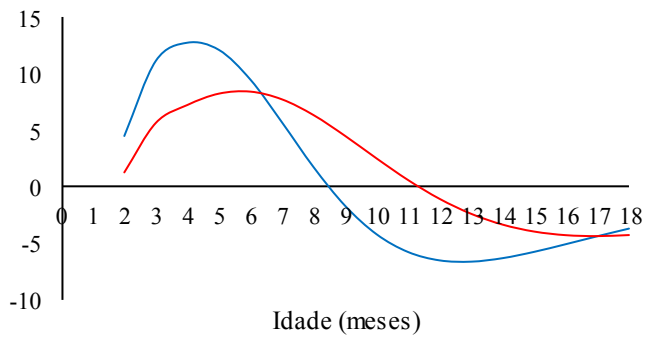
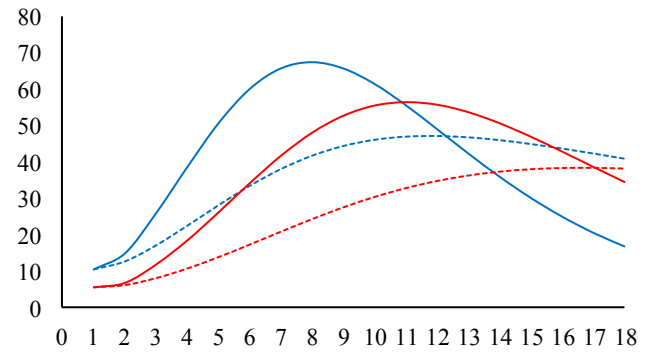
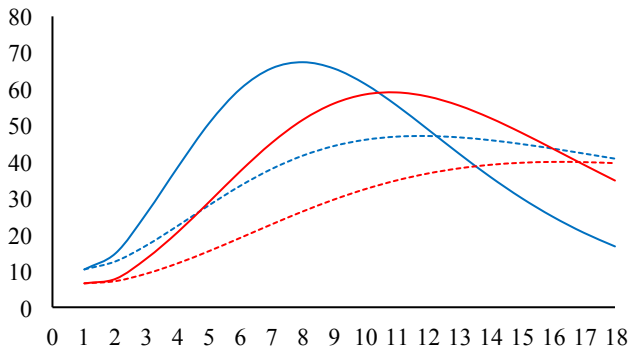
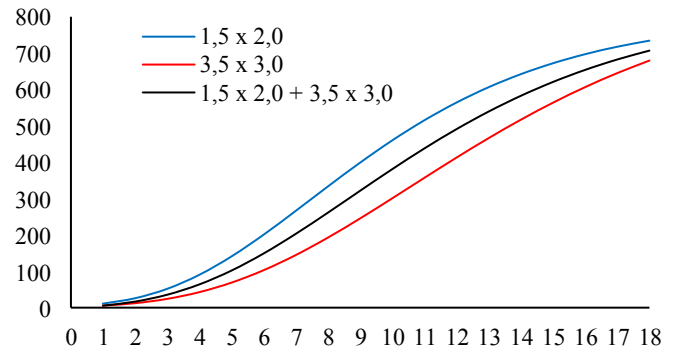
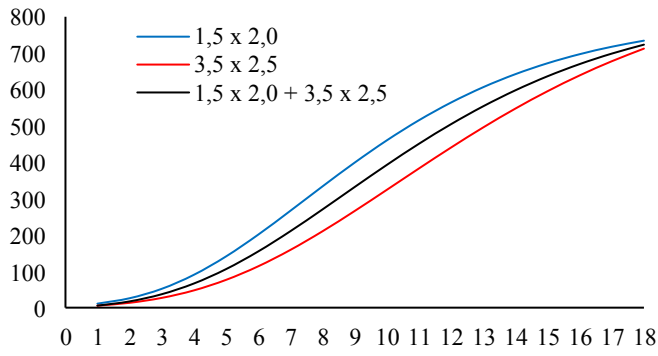
Idade (meses)

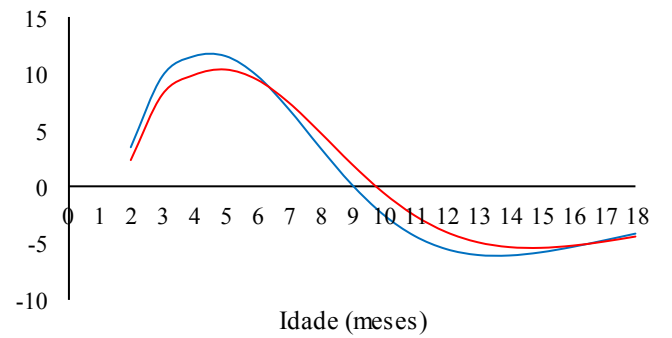
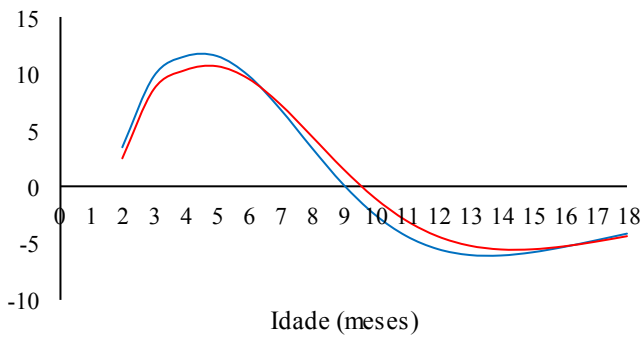
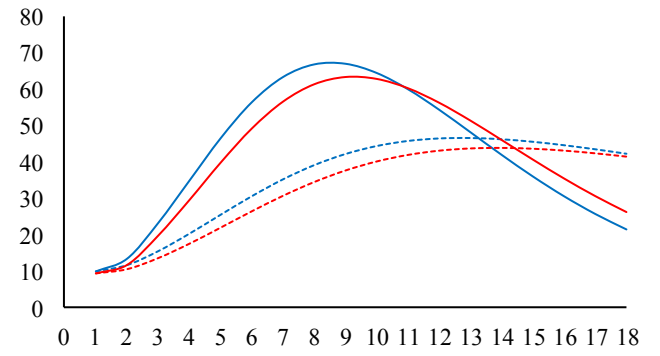
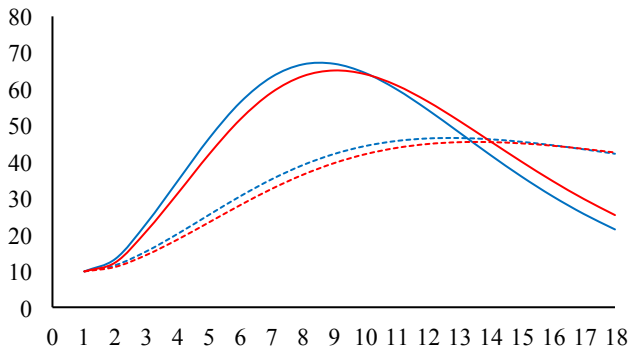
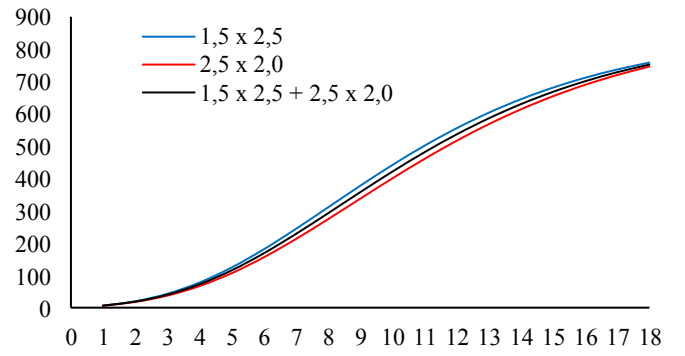
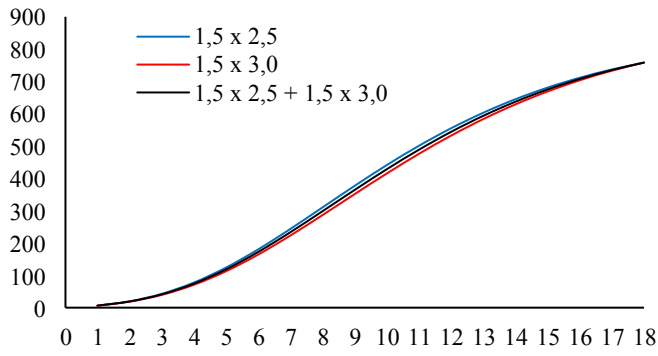
Idade (meses)

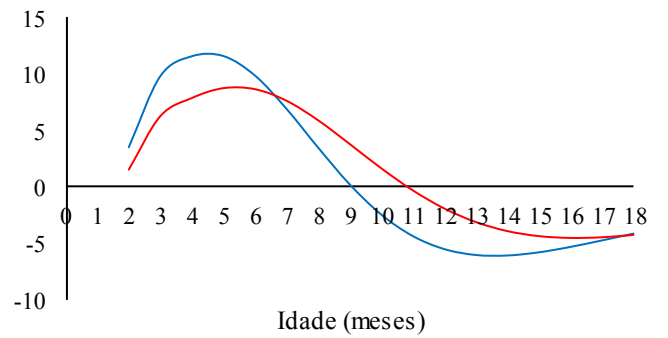
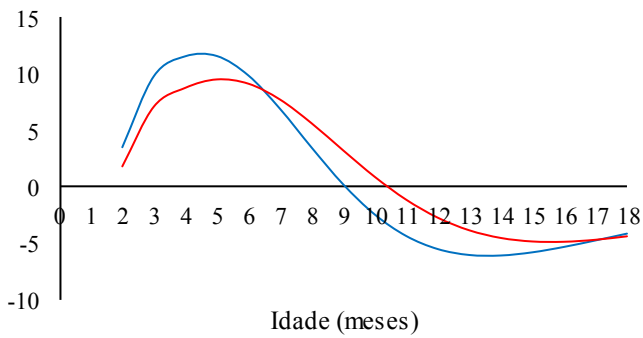
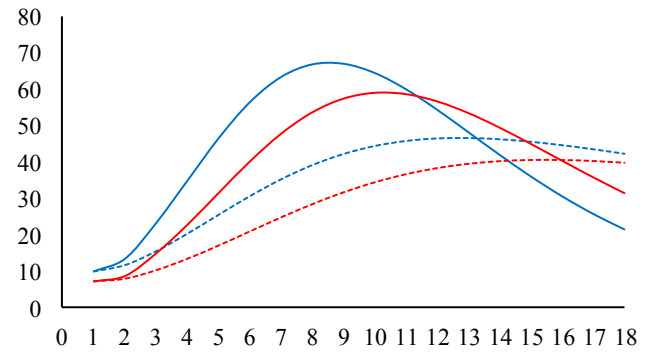
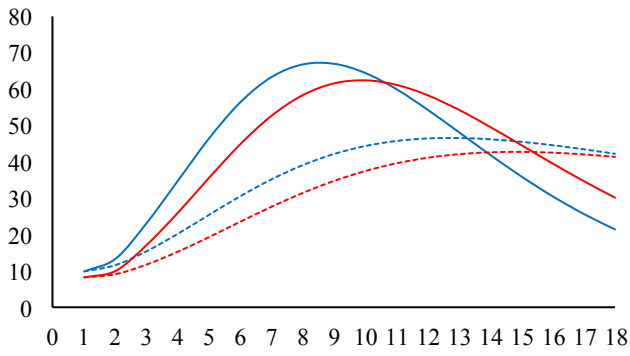
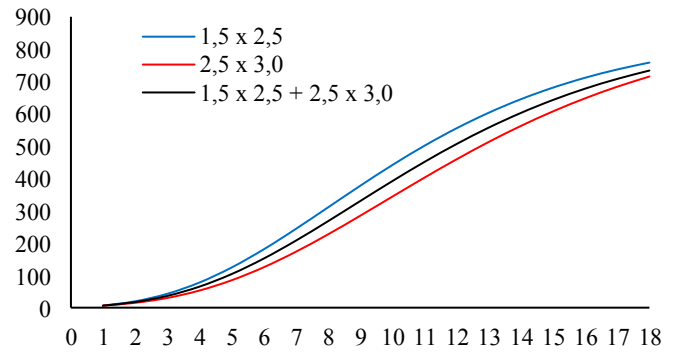
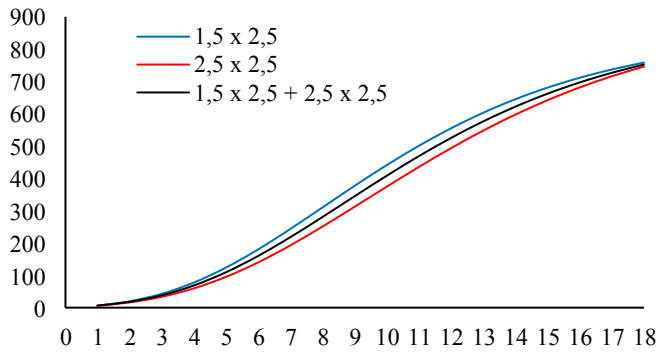


Idade (meses)

Idade (meses)

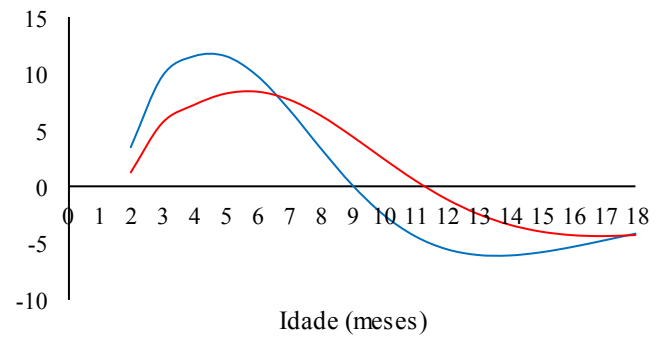
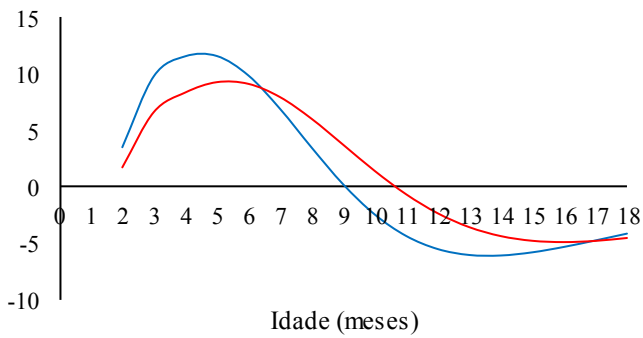
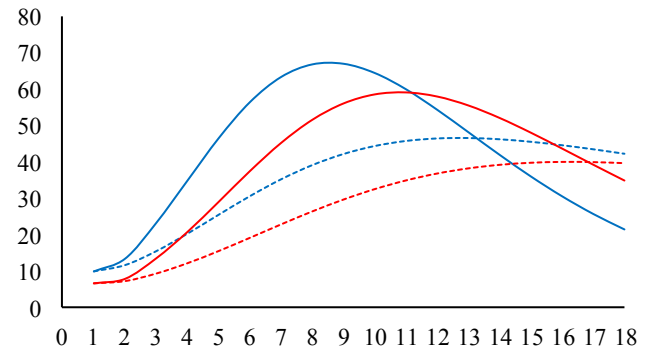
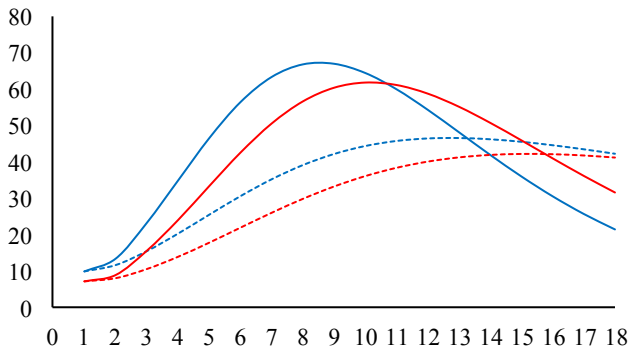
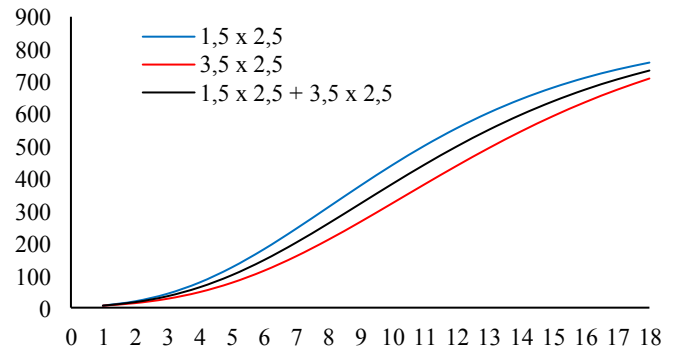
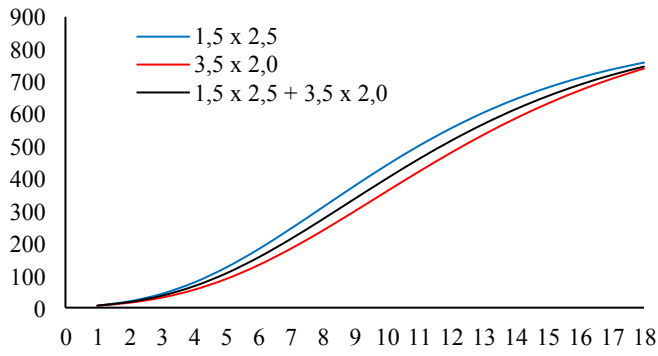


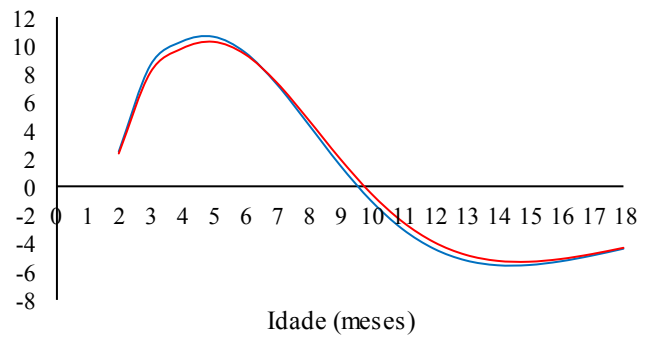
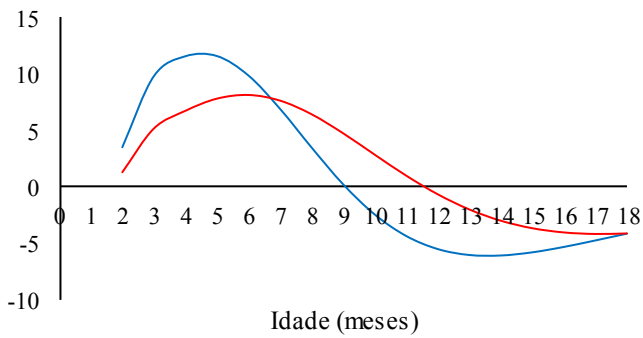
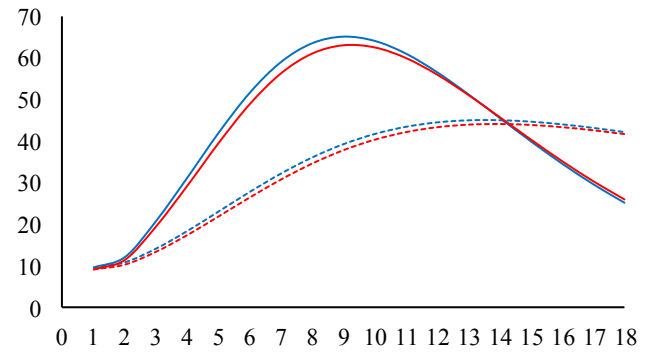
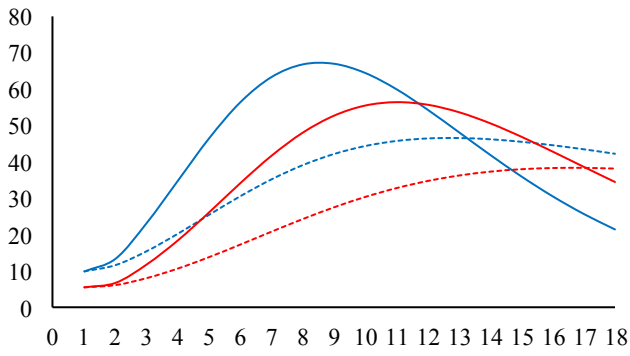
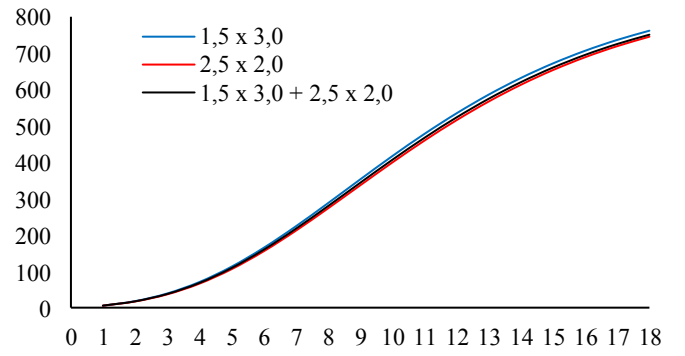
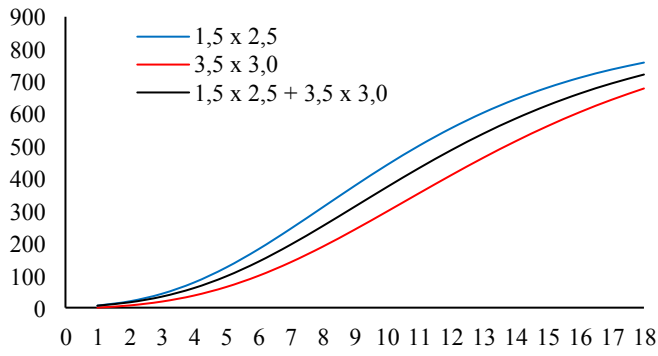




Idade (meses)

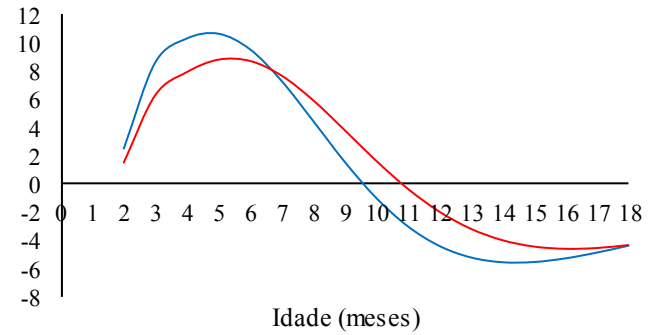
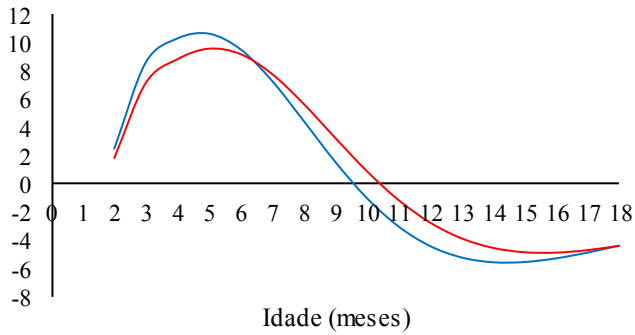
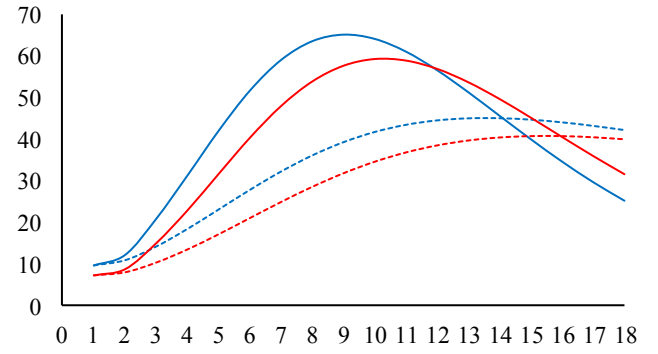
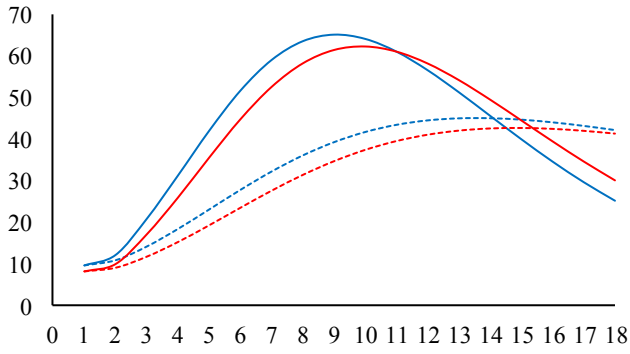
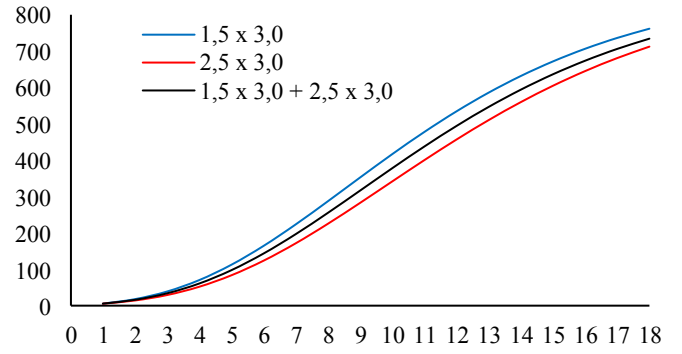
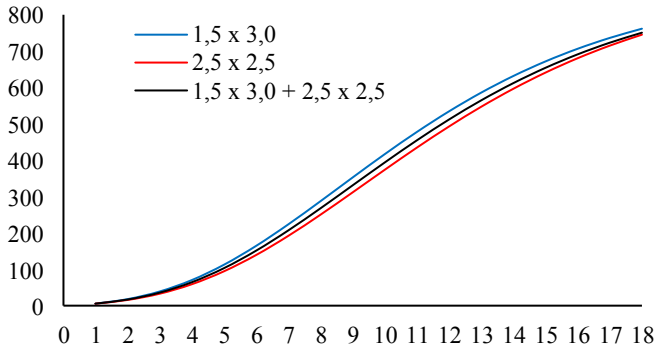
Idade (meses)





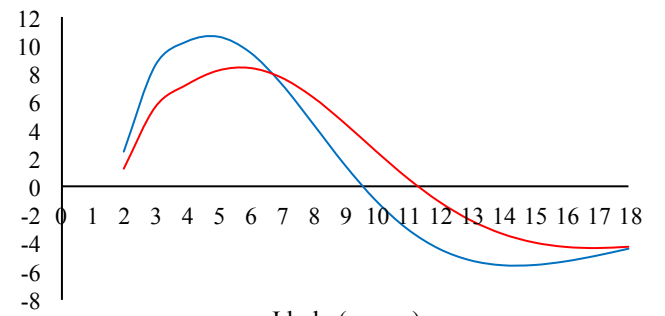
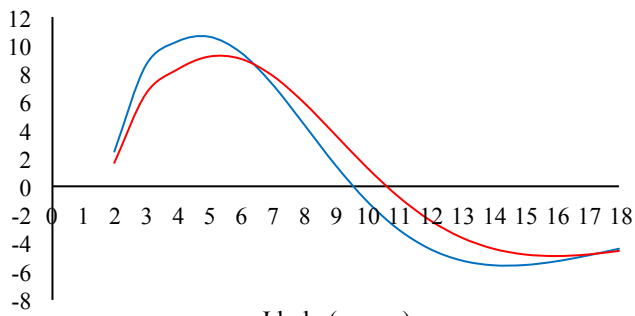
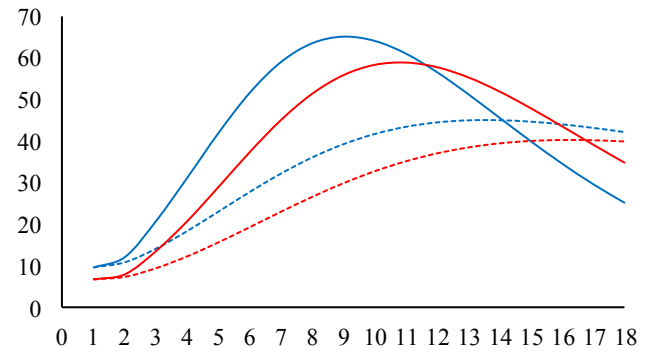
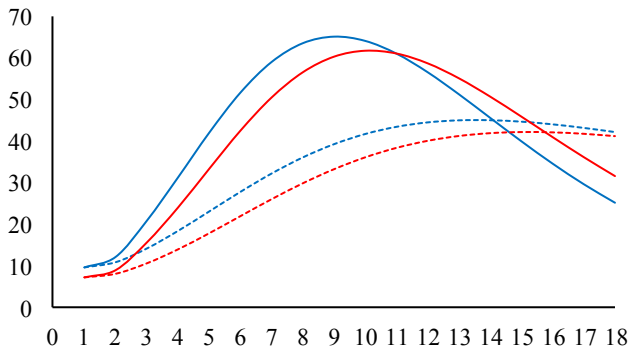
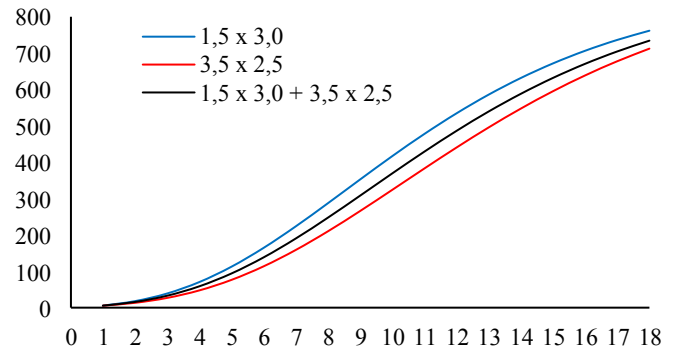
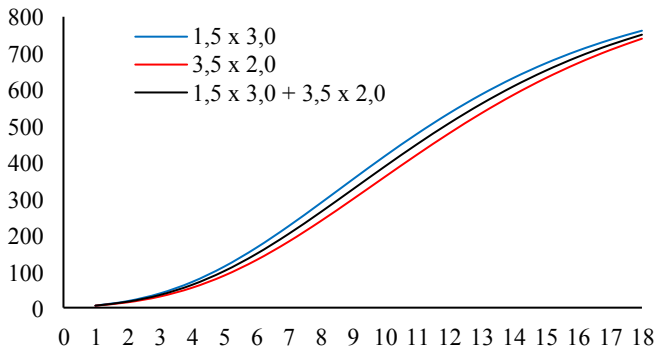
Idade (meses)

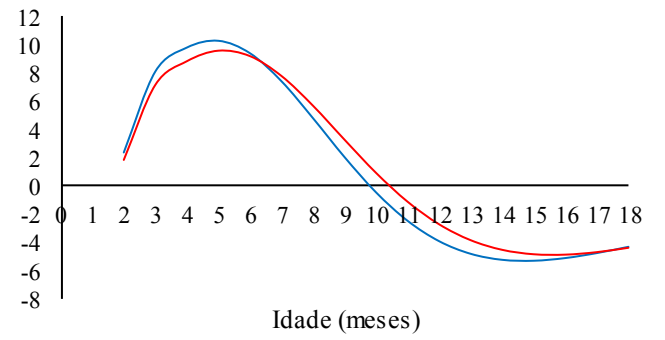
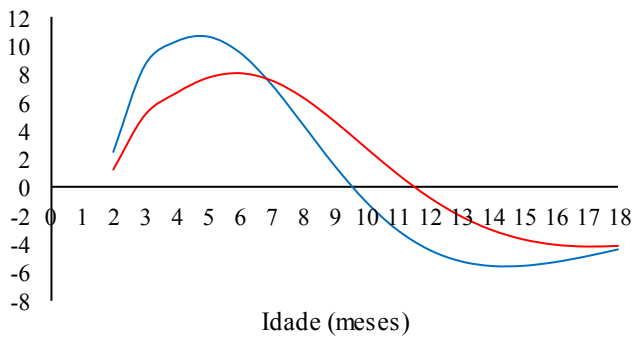
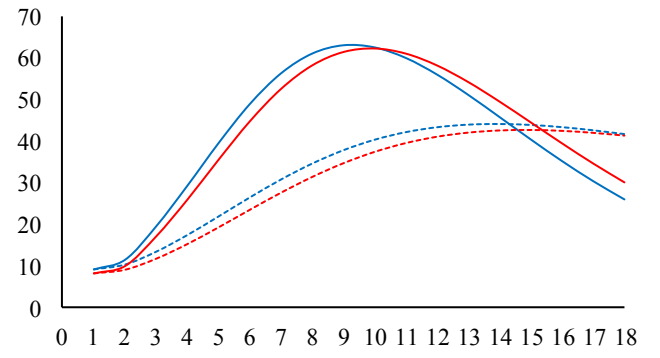
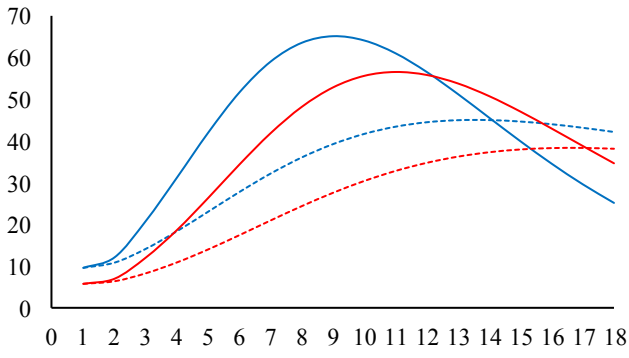
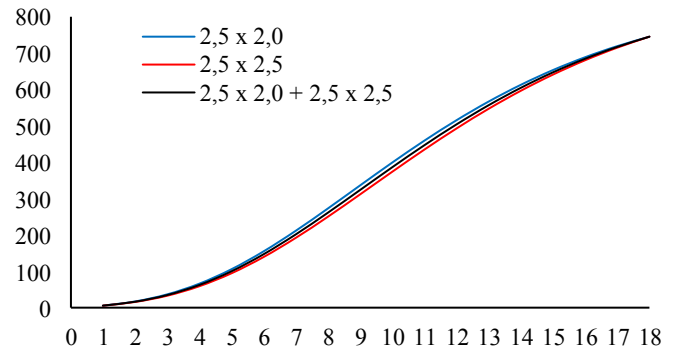
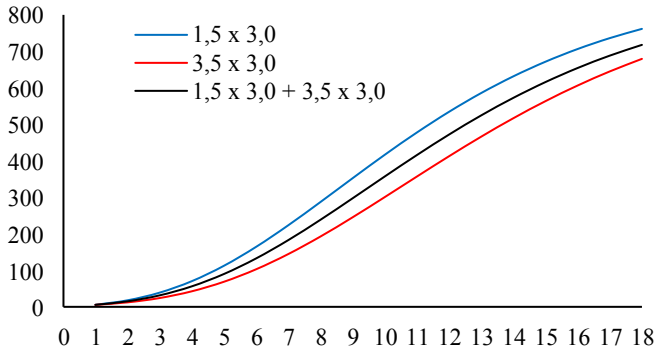
Idade (meses)



Idade (meses)

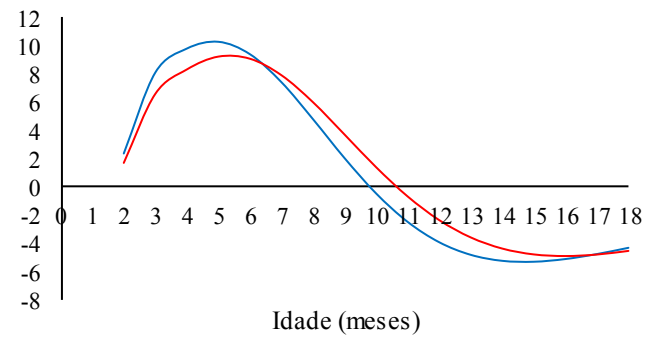
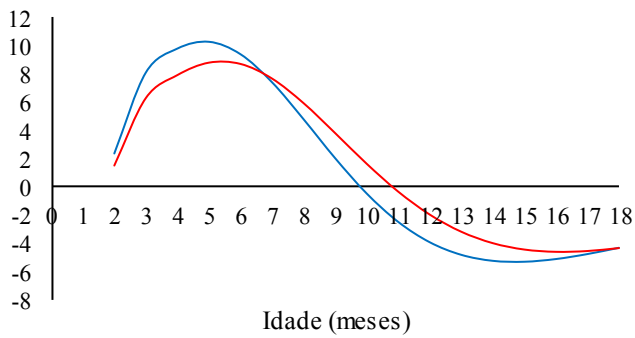
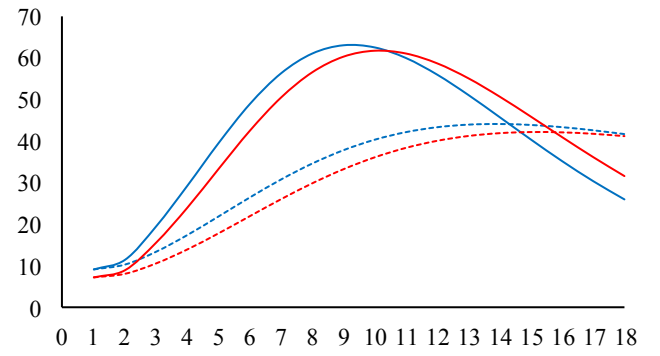
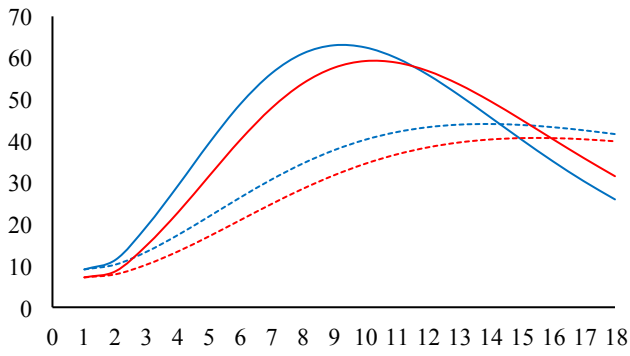
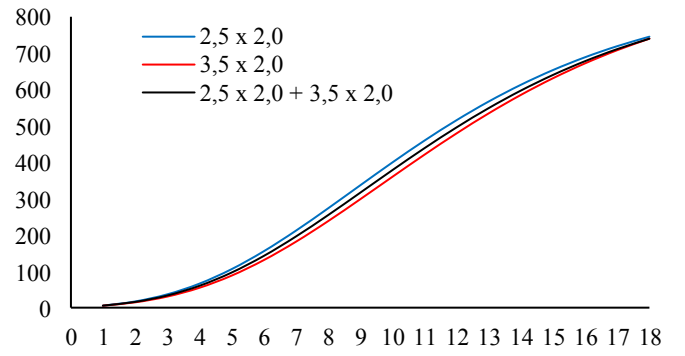
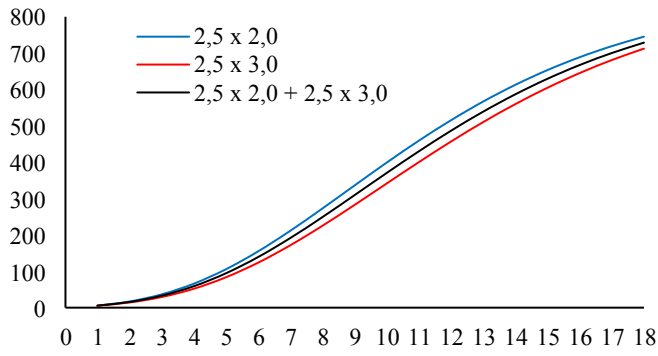
Idade (meses)





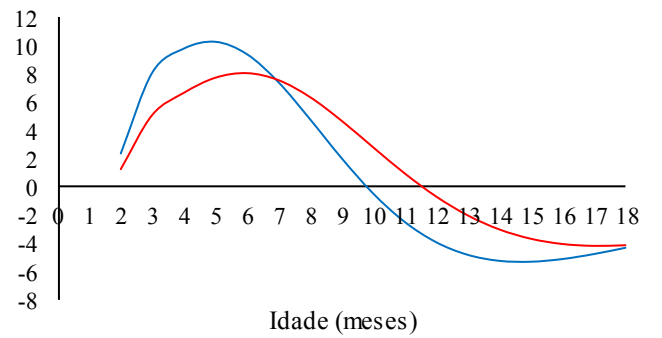
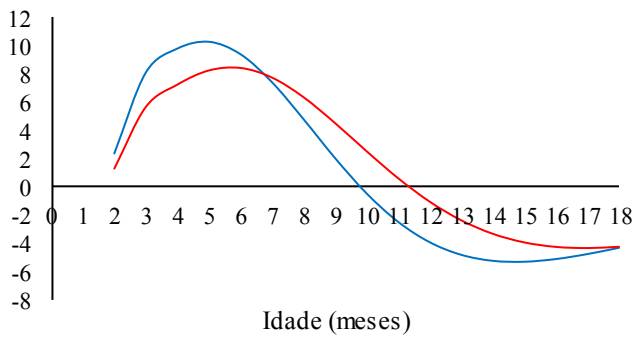
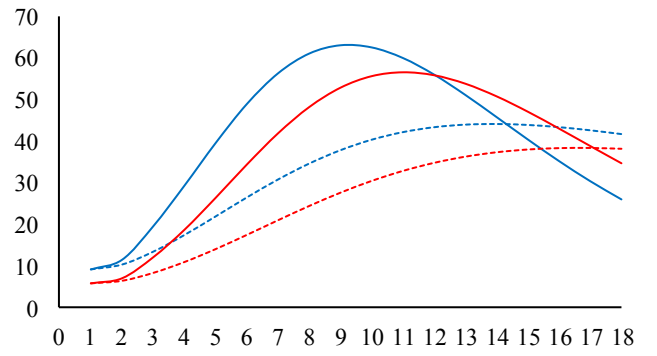
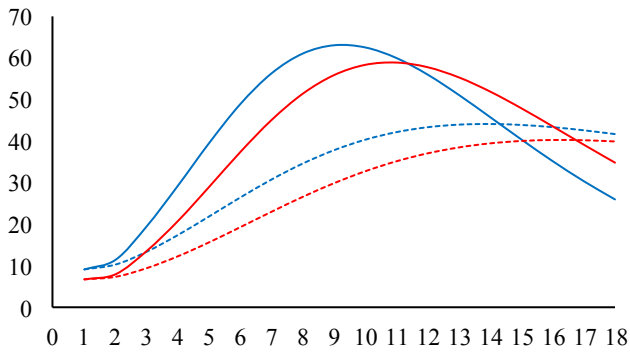
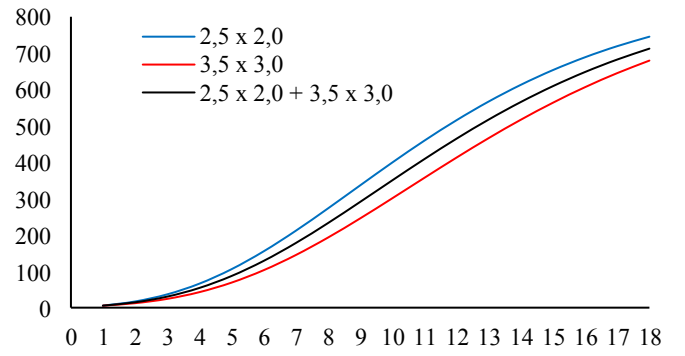
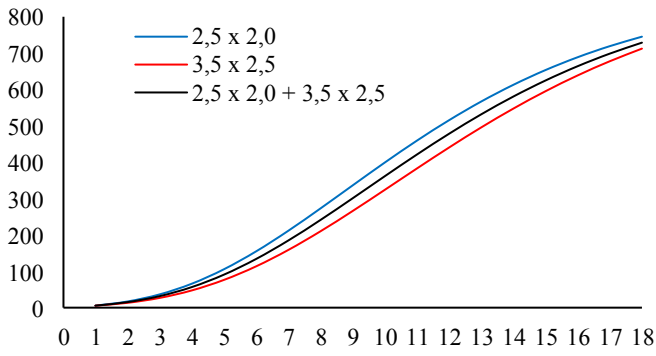
Idade (meses)

Idade (meses)



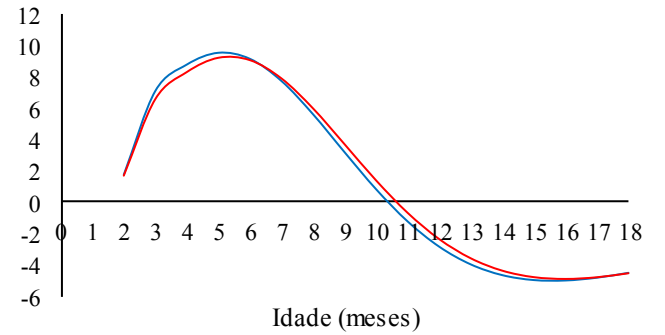
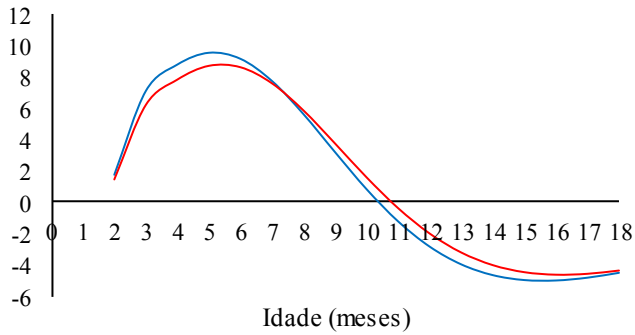
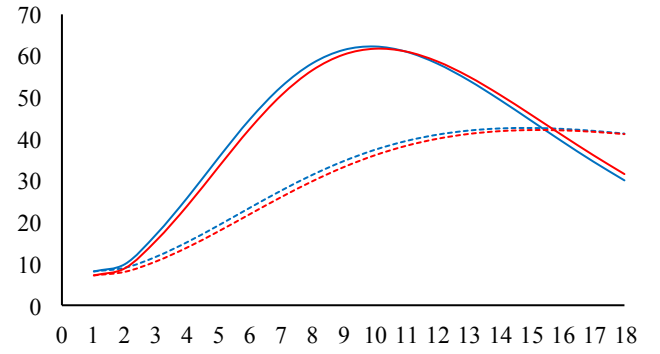
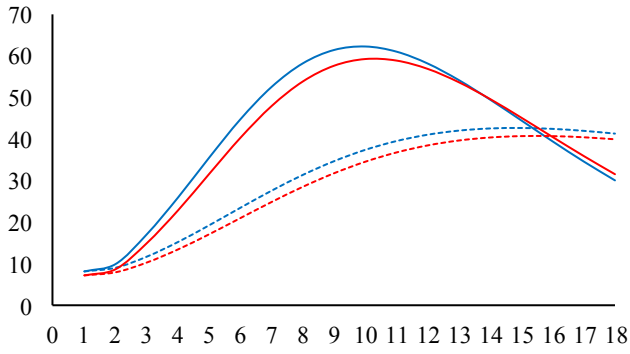
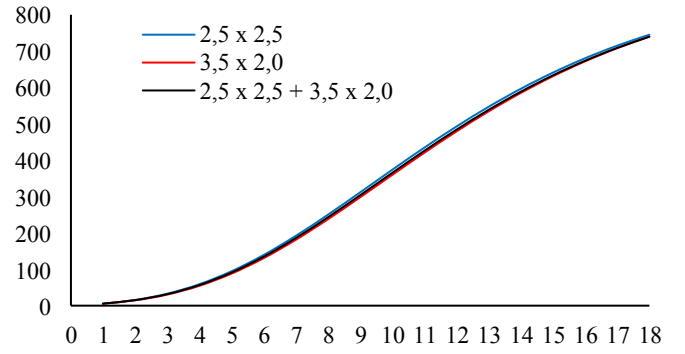
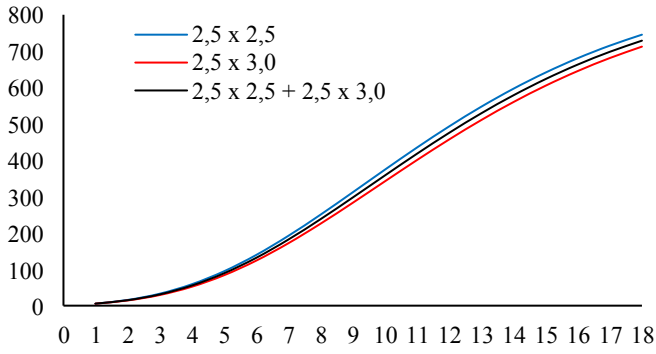
Idade (meses)

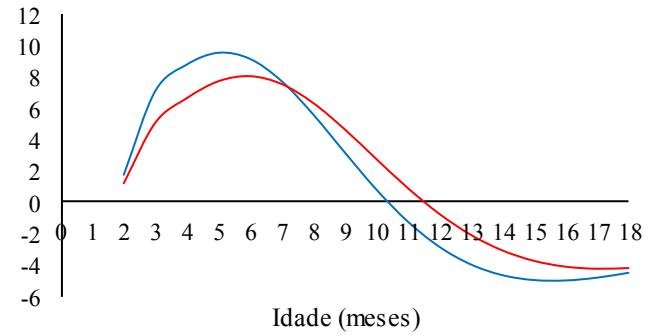
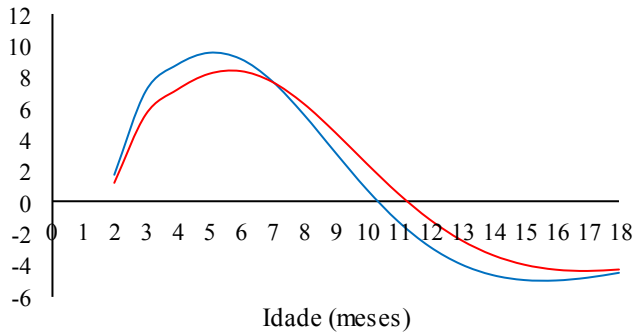
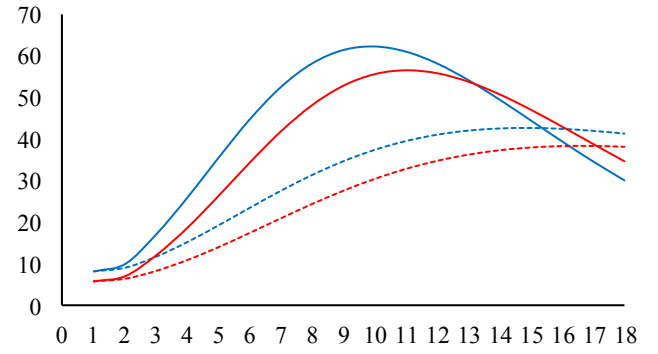
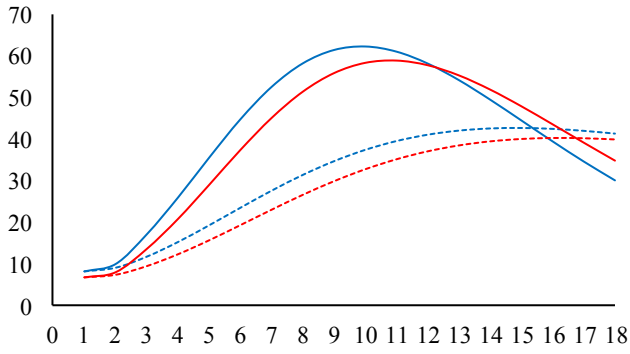
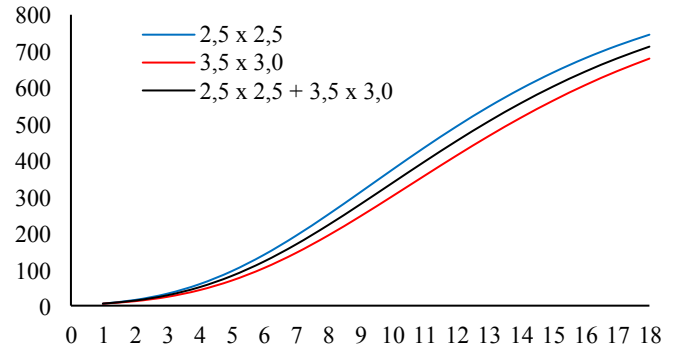
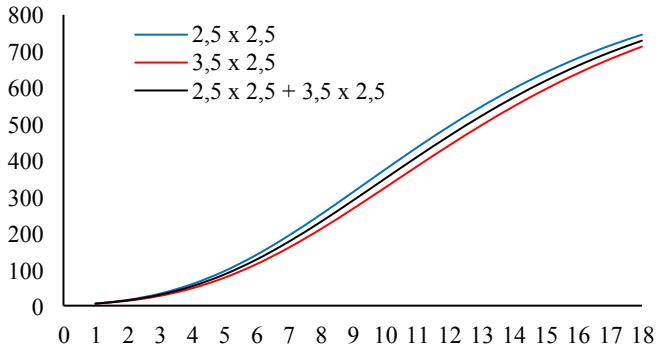
Idade (meses)

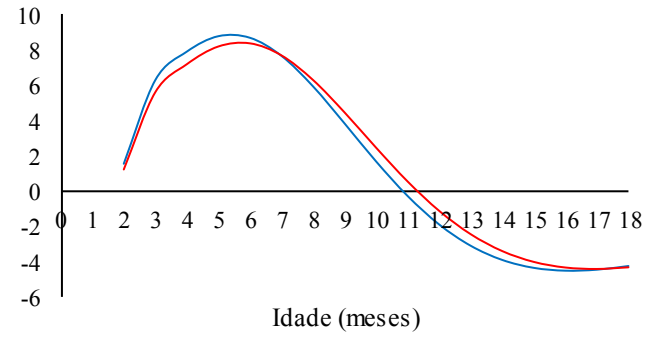
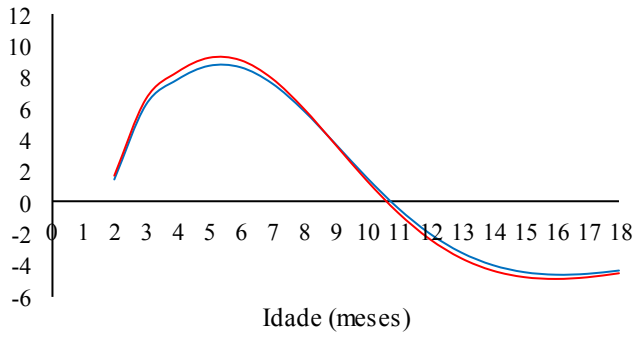
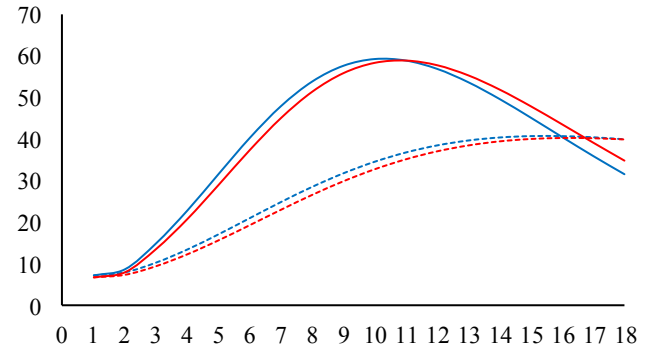
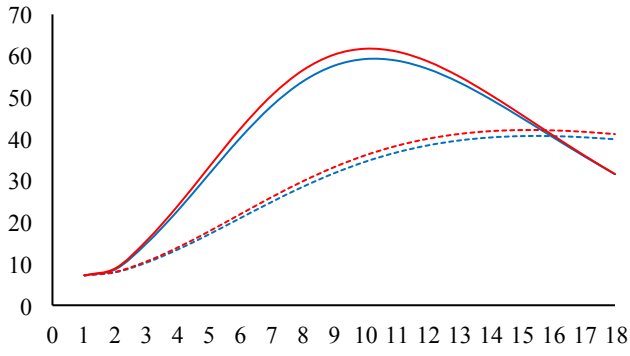
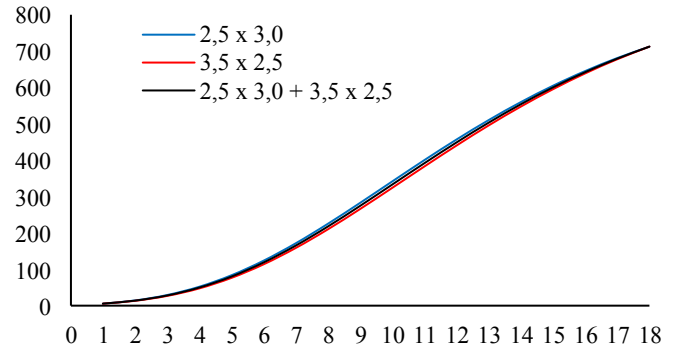
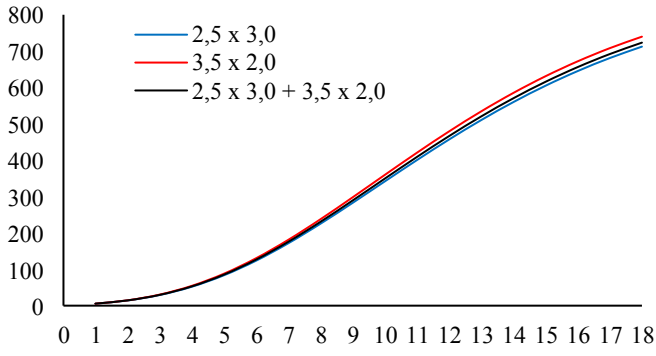


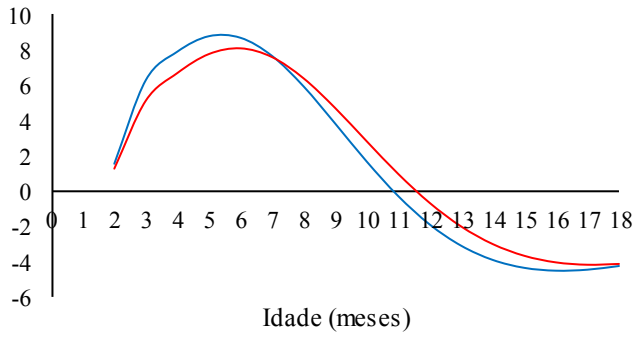
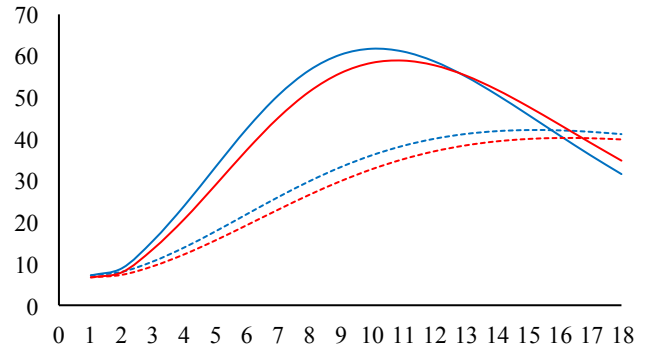
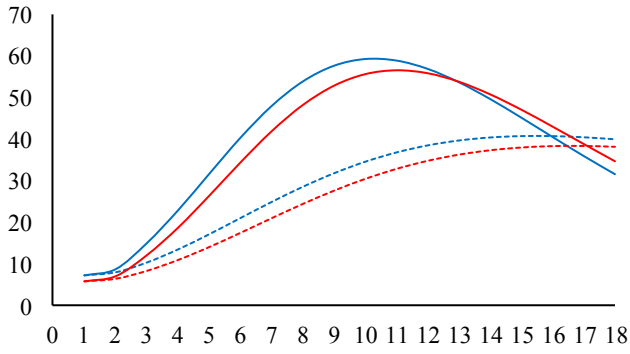
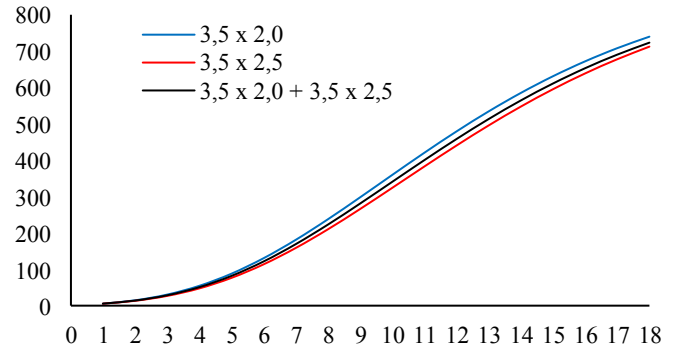
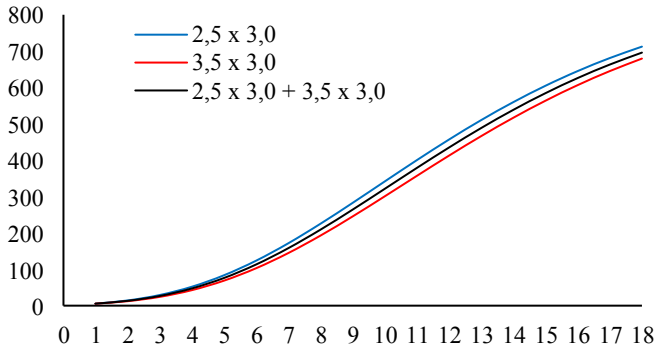
Idade (meses)

Idade (meses)

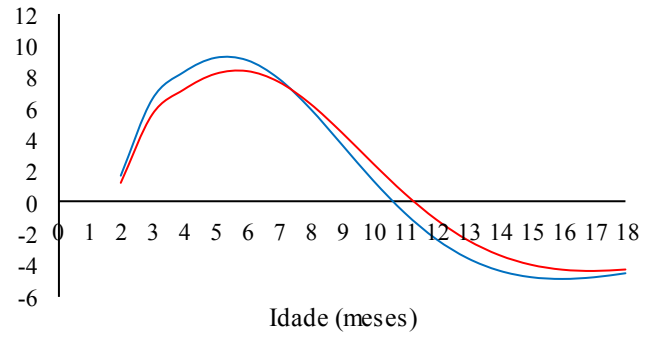




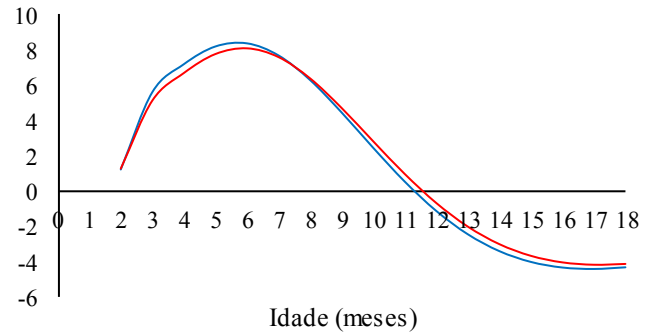
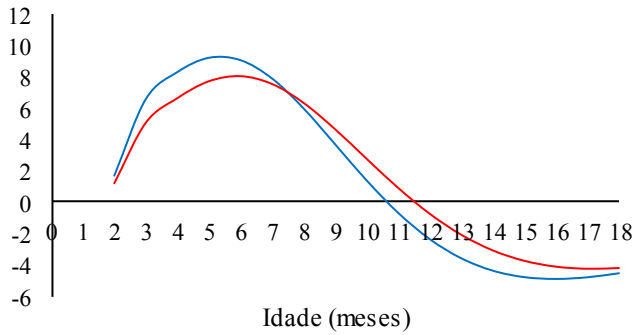
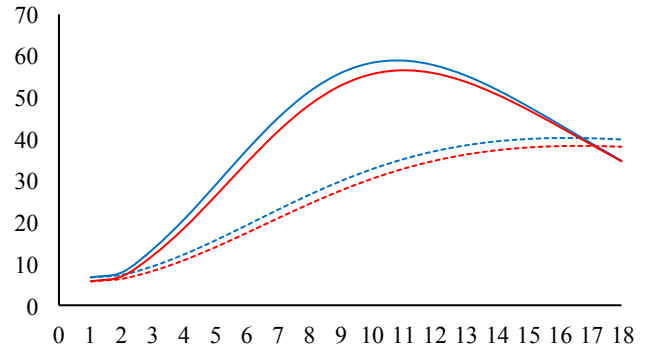
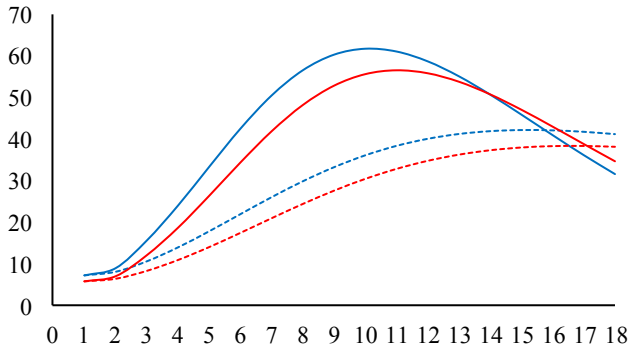
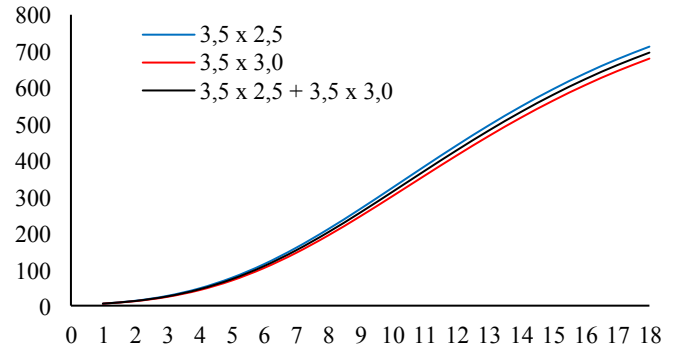
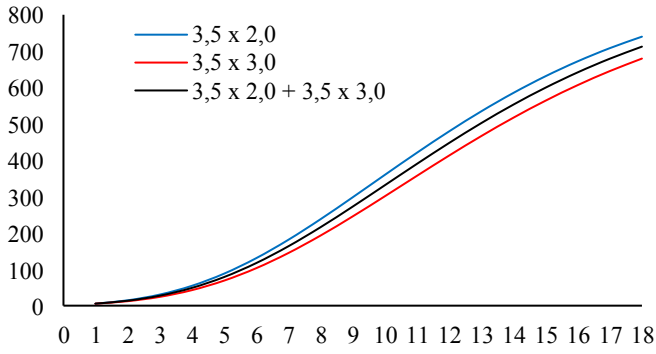




Idade (meses)



Idade (meses)



Idade (meses)

Idade (meses)