

**GIRLENE DA SILVA CRUZ**

**EFEITO DE DIFERENTES REGIMES DE MANEJO SOBRE VARIÁVEIS  
DENDROMÉTRICAS, MORFOMETRIA E SORTIMENTOS DE  
*Pinus taeda* AOS 37 ANOS DE IDADE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Felipe Nicoletti  
Co-orientador: Prof. Dr. Mário Dobner Jr

LAGES, SC  
2020

**GIRLENE DA SILVA CRUZ**

**EFEITO DE DIFERENTES REGIMES DE MANEJO SOBRE VARIÁVEIS  
DENDROMÉTRICAS, MORFOMETRIA E SORTIMENTOS DE  
*Pinus taeda* AOS 37 ANOS DE IDADE**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de mestre em Engenharia Florestal.

Banca examinadora:

Orientador: \_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Marcos Felipe Nicoletti  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Co-orientador: \_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mário Dobner Jr  
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membros:

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Jean Alberto Sampietro  
Universidade do Estado de Santa Catarina

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Rafael Rode  
Universidade Federal do Oeste do Pará

**Lages, 15 /Outubro/ 2020.**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da  
Biblioteca Setorial do CAV/UESC,  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Cruz, Girlene da Silva  
EFEITO DE DIFERENTES REGIMES DE MANEJO SOBRE  
VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS, MORFOMETRIA E  
SORTIMENTOS DE *Pinus taeda* AOS 37 ANOS DE IDADE /  
Girlele da Silva Cruz. -- 2020.  
101 p.

Orientador: Marcos Felipe Nicoletti  
Coorientador: Mário Dobner Junior  
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2020.

1. Desbastes. 2. Empreendimentos florestais. 3. Manejo  
florestal. I. Nicoletti, Marcos Felipe . II. Dobner Junior, Mário . III.  
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências  
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
Florestal. IV. Título.

Ao Paulo Cruz (*in memoriam*) e Carmelita Magalhães (*in memoriam*)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente preciso agradecer a Deus e Nossa Senhora Aparecida por serem minha luz durante os dias de escuridão.

Aos meus pais Janete Gomes e Iranilson Cruz por sempre apoiarem minhas decisões, por mais que isso me leve para longe.

Aos meus irmãos Ronilson, Girlane, Paulinha e Janilson por sempre estarem presente e me apoiando todos os momentos da minha vida.

Aos meus avós que precisaram partir antes da conclusão desta fase da minha vida. Carmelita Magalhães (*in memoriam*) e Paulo Cruz (*in memoriam*), obrigada por ter me ensinado a amar e respeitar a natureza e seus moradores. Levarei seus ensinamentos para todo sempre comigo.

Ao meu orientador Marcos Felipe Nicoletti por sempre ter sido tão humano e um dos melhores orientadores que eu poderia ter recebido de Deus.

Ao meu co-orientador Mário Dobner Junior pelas sugestões e disponibilizar o banco de dados.

Ao professor Thiago Floriani Stepka pelas sugestões para melhoria desta dissertação e ajuda sempre que necessário.

A Larissa Topanotti pela sua disponibilidade para sanar minhas dúvidas e pelas excelentes dicas que enriqueceram ainda mais este trabalho.

Aos meus amigos Bruno Lima, Albanita Macedo, Letícia Moreira por tornarem minha na graduação e mestrado mais leves, por sempre estarem presentes e serem pessoas incríveis, com as quais posso contar a qualquer momento da vida.

Ao Bruno Rafael, amigo e parceiro. Obrigada pelos conselhos, carinho, cuidados, amizade, cafés da tarde e inúmeras conversas. Muito obrigada por ter sido minha família e meu maior incentivador durante esses dois anos.

A Florestal Gateados, por disponibilizar os dados e apoiar as coletas de campo. Ao Nilton Novack Junior por sempre disponibilizar as informações que foram importantes para a finalização desta dissertação.

A Capes e FAPESC pelas bolsas de Pós-Graduação.

A todos que direta ou indiretamente me incentivaram a finalizar esta importante etapa da minha vida.

"A esperança é a expectativa segura  
Da glória futura, que resulta  
Da graça divina e do mérito precedente. ”

*Dante Alighieri (A divina comédia)*

## RESUMO

CRUZ, Girlene da Silva. Efeito de diferentes regimes de manejo sobre variáveis dendrométricas, morfometria e sortimentos de *Pinus taeda* aos 37 anos de idade. 2020, 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2020.

A aplicação de desbastes em povoamentos florestais tem como objetivo diminuir a competição entre árvores por espaço, luz e nutrientes. As intervenções realizadas dentro de um povoamento florestal, podem exercer influências significativas nas variáveis dendrométricas e morfométricas, devido ao maior espaço para o desenvolvimento em diâmetro em copa. Portanto, esta dissertação teve por o objetivo avaliar a resposta das variáveis dendrométricas, morfométricas e sortimentos florestais de um plantio de *Pinus taeda* aos 37 anos de idade submetidos a diferentes intensidades de desbastes. O experimento analisado é formado por um povoamento com 18 parcelas submetidas a nove intensidades de desbastes, nove tratamentos com duas repetições. Os dados coletados foram diâmetro a altura do peito (dap), altura total (h), altura de inserção de copa (hic), diâmetro de copa (dc). Para a estimativa do volume foram aplicadas equações provenientes do Polinômio do Quinto grau. Além dos dados morfométricos e dendrométricos, foram analisados a proporção de volume para cinco classes de sortimentos (L1, L2, S1, S2 e MPP). Para a escolha do melhor tratamento foi realizado análise econômica, por meio da análise do VPL. As aplicações de desbastes exerceram influencias significativas nas variáveis diâmetro médio, diâmetro dominante, área basal e volume individual. Para as características morfométricas foi observado que quanto maior a intensidade de desbaste aplicado, maiores os resultados de crescimento para variáveis diâmetro de copa e altura de copa. Quanto aos sortimentos foram observados que aproximadamente 30% do volume dos tratamentos estão concentrados no sortimento de laminação, 78% para serraria e 2% para processo. Quanto ao VPL todos os tratamentos são considerados economicamente viáveis, porém, o tratamento que recebeu desbaste forte apresenta maior retorno econômico.

Palavras – chave: Desbastes; Empreendimentos Florestais; Manejo Florestal.

## ABSTRACT

CRUZ, Girlene da Silva. Effect of different management regimes on dendrometric variables, morphometry and assortments of *Pinus taeda* at 37 years of age. 2020, 101f. Dissertation (Master in Forestry Engineering) - State University of Santa Catarina. Graduate Program in Forestry, Lages, 2020.

The application of thinning in forest stands aims to reduce competition between trees for space, light and nutrients. Those carried out within a forest stand can influence the dendrometric and morphometric variables, due to the greater space for development in canopy diameter. This, the objective of this dissertation was to evaluate the response of dendrometric, morphometric and forest assortments of a *Pinus taeda* plantation at 37 years of age to different thinning intensities. The analyzed experiment is formed by a stand of 18 plots submitted to nine thinning intensities, nine treatments with two repetitions. The data collected were diameter at breast height (dap), total height (h), crown insertion height (hic), crown diameter (dc). To estimate the volume, equations from the fifth degree polynomial were applied. In addition to the morphometric and dendrometric data, the proportion of volume was proposed for five classes of assortments (L1, L2, S1, S2 and MPP). Thinning applications influenced the mean diameter, dominant diameter, basal area and individual volume variables. For the morphometric characteristics observed that the greater the intensity of thinning applied, the greater the results for variables of copy diameter and copy height. When analyzing the modeling of the main morphometric indexes, satisfactory results were obtained for the indexes of slenderness, comprehensiveness index and formal copy. As for the assortments, it was observed that approximately 30% of the treatment volume is concentrated in the rolling assortment, 78% for sawmill and 2% for process. Regarding the NPV, all treatments are considered economically viable, however, the treatment that gives strong thinning has a higher economic return.

Keywords: Thinning; Forestry Projects; Forest management.



## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Mapa de localização do experimento no município de Campo Belo do Sul, SC.....  | 30 |
| Figura 2. Disposição das parcelas no experimento localizado no município de Campo Belo do Sul, SC.....   | 30 |
| Figura 3. Evolução do número de árvores ha <sup>-1</sup> para o <i>P. taeda</i> submetidos a diferentes intensidades de desbastes.....                     | 34 |
| Figura 4.Boxplot para a variável dap de <i>P. taeda</i> nos tratamentos avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.....                               | 38 |
| Figura 5. Boxplot para a variável diâmetro dominante de <i>P. taeda</i> nos tratamentos avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.....               | 39 |
| Figura 6. Boxplot para a variável altura total de <i>P. taeda</i> nos tratamentos avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC. ....                    | 40 |
| Figura 7. Boxplot para a variável altura dominante de <i>P. taeda</i> nos tratamentos avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.....                 | 40 |
| Figura 8. Boxplot para a variável volume individual de <i>P. taeda</i> nos tratamentos avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.....                | 42 |
| Figura 9. Distribuição diamétrica para os indivíduos de <i>P. taeda</i> nos tratamentos avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.....               | 46 |
| Figura 10. Correlação entre as variáveis dap, h e v, de todos tratamentos, do povoamento de <i>P. taeda</i> , no município de Campo Belo do Sul, SC. ....  | 47 |
| Figura 11. Distribuição diamétrica e diâmetros médios das árvores de <i>P. taeda</i> selecionadas para a avaliação das características morfométricas. .... | 57 |
| Figura 12. Boxplot para a variável altura total das árvores de <i>P. taeda</i> selecionadas para a avaliação das características morfométricas.....        | 59 |
| Figura 13. Boxplot para a variável altura total das árvores de <i>P. taeda</i> selecionadas para a avaliação das características morfométricas.....        | 59 |
| Figura 14. Boxplot para a variável diâmetro de copa para as árvores de <i>P. taeda</i> , no município de Campo Belo do Sul. ....                           | 60 |
| Figura 15. Representação da variável área de copa para as árvores de <i>P. taeda</i> , no município de Campo Belo do Sul.....                              | 61 |
| Figura 16. Representação do comprimento de copa para as árvores de <i>P. taeda</i> , no município de Campo Belo do Sul. ....                               | 62 |
| Figura 17. Representação da proporção de copa para as árvores de <i>P. taeda</i> , no município de Campo Belo do Sul.....                                  | 63 |
| Figura 18. Variação do grau de esbeltez em função do tratamento aplicado nas árvores de <i>P. taeda</i> , no município de Campo Belo do Sul. ....          | 65 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 19. Variação do grau do índice de saliência em função do tratamento aplicado nas árvores de <i>P. taeda</i> , no município de Campo Belo do Sul.....   | 65 |
| Figura 20. Variação do grau do índice de abrangência em função do tratamento aplicado nas árvores de <i>P. taeda</i> , no município de Campo Belo do Sul..... | 66 |
| Figura 21. Variação do grau do formal de copa em função do tratamento aplicado nas árvores de <i>P. taeda</i> , no município de Campo Belo do Sul.....        | 67 |
| Figura 22. Distribuição gráfica de resíduos para as equações selecionadas de cada tratamento de <i>P. taeda</i> , no município de Campo Belo do Sul.....      | 71 |
| Figura 23. Proporção do volume para laminação, serraria e madeira para processo do povoamento de <i>P. taeda</i> aos 37 anos.....                             | 87 |
| Figura 24. Número de toras ha <sup>-1</sup> de cada tratamento avaliado para o povoamento de <i>P. taeda</i> aos 37 anos de idade.....                        | 88 |
| Figura 25. Proporção dos sortimentos florestais de <i>P. taeda</i> pertencentes aos diferentes tratamentos avaliados. ....                                    | 90 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1. Descrição dos desbastes realizados no experimento Canoas, ao longo dos 37 anos de monitoramento.....   | 33 |
| Tabela 2. Equações utilizadas para estimar a altura das árvores de <i>P. taeda</i> nas idades que foram realizados desbastes. ....   | 36 |
| Tabela 3. Número de árvores cubadas por classe de idade para obtenção de equações de volume da empresa Florestal Gateados. ....  | 36 |
| Tabela 4. Parâmetros dos ajustes e estatísticas de precisão para estimativas volumétricas de <i>P. taeda</i> . ....  | 37 |
| Tabela 5. Síntese dos resultados para as variáveis analisadas por ha <sup>-1</sup> de <i>P. taeda</i> , no município de Campo Belo do Sul, Estado de Santa Catarina. ....  | 44 |
| Tabela 6. Modelos ajustados para a variável diâmetro de copa de <i>P. taeda</i> no município de Campo Belo do Sul, Santa Catarina. ....  | 56 |
| Tabela 7. Correlação entre as variáveis dendrométricas e morfométricas dos indivíduos de <i>P. taeda</i> , de todos os tratamentos, pelo teste de Pearson a 95% de probabilidade. ....   | 69 |
| Tabela 8. Parâmetros de precisão das melhores equações para a estimativa de diâmetro de copa, dos tratamentos de <i>P. taeda</i> avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC. ....   | 70 |
| Tabela 9. Parâmetros de precisão das melhores equações obtidos pelo método do <i>Stepwise</i> para a estimativa de proporção de copa, dos tratamentos de <i>P. taeda</i> avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.....      | 73 |
| Tabela 10. Melhores equações obtidas pelo método de <i>Stepwise</i> para a variável grau de esbeltez de cada tratamento e seus respectivos parâmetros de precisão. <b>Erro! Indicador não definido.</b>                            |    |
| Tabela 11. Parâmetros de precisão das melhores equações obtidos pelo método de <i>Stepwise</i> para a estimativa do índice de saliência, dos tratamentos de <i>P. taeda</i> avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.....   | 74 |
| Tabela 12. Parâmetros de precisão das melhores equações obtidos pelo método de <i>Stepwise</i> para a estimativa do índice de abrangência, dos tratamentos de <i>P. taeda</i> avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC..... | 74 |
| Tabela 13. Parâmetros de precisão das melhores equações obtidos pelo método de <i>Stepwise</i> para a estimativa do formal de copa, dos tratamentos de <i>P. taeda</i> avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC. ....       | 75 |
| Tabela 14. Descrição das variáveis diâmetro à altura do peito (dap) e altura total (h) das árvores de <i>P. taeda</i> utilizados para análise deste capítulo. ....   | 81 |
| Tabela 15. Classes de sortimentos que foram analisados para <i>P. taeda</i> , no município de Campo Belo do Sul, Santa Catarina. ....  | 84 |
| Tabela 16. Custos para implantação de desenvolvimento do povoamento de <i>P. taeda</i> , no Estado de Santa Catarina. ....   | 84 |

|  |    |
|--|----|
| Tabela 17. Receitas obtidas nos desbastes realizados no povoamento de <i>P. taeda</i> no Estado de Santa Catarina.....                                 | 85 |
| Tabela 18. Volume (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) por sortimentos dos tratamentos avaliados para <i>P. taeda</i> aos 37 anos em Santa Catarina..... | 86 |
| Tabela 19. Receita bruta atual ha <sup>-1</sup> para os sortimentos florestais do povoamento de <i>P. taeda</i> aos 37 anos de idade.....              | 92 |

## LISTA DE SIGLAS

|                              |  |
|------------------------------|--|
| AB/G                         | Área basal em m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>  |
| ANOVA                        | Análise de variância                           |
| $\beta_i$                    | Parâmetros da equação                          |
| Cap                          | Circunferência a altura do peito               |
| Cc                           | Comprimento de copa                            |
| Cm                           | Centímetros                                    |
| Dc                           | Diâmetro de copa                               |
| Dap                          | Diâmetro a altura do peito                     |
| Dd <sub>om</sub>             | Diâmetro dominante                             |
| F                            | Fator de proporcionalidade                     |
| Ge                           | Grau de esbeltez                               |
| H                            | Altura total                                   |
| Hd <sub>om</sub>             | Altura dominante                               |
| Hic                          | Altura de inserção de copa                     |
| Ia                           | Índice de abrangência                          |
| Is                           | Índice de saliência                            |
| m                            | Metros   |
| n                            | Número de árvores inventariadas por tratamento |
| N                            | Número de árvores ha <sup>-1</sup>             |
| Pc                           | Proporção de copa                              |
| R <sup>2</sup> <sub>aj</sub> | Coefficiente de determinação ajustado          |
| rc                           | Raio de copa                                   |
| Sy.x%                        | Erro padrão da estimativa em porcentagem       |
| T0                           | Tratamento sem desbaste                        |
| T1                           | Desbaste fraco                                 |
| T2                           | Desbaste fraco/médio                           |
| T3                           | Desbaste médio                                 |
| T4                           | Desbaste médio/médio                           |
| T5                           | Desbaste médio/forte                           |
| T6                           | Desbaste sistemático                           |
| T7                           | Desbaste forte                                 |
| T8                           | Desbaste extremo                               |

|                    |   |
|--------------------|---|
| V ac               | Volume acumulado em m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> |
| V ha <sup>-1</sup> | Volume por hectare                                  |

## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO GERAL .....   | 16 |
| 1.1 OBJETIVOS .....  | 17 |
| 1.1.2 Objetivo geral .....   | 17 |
| 1.1.3 Objetivos específicos .....  | 17 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA .....  | 18 |
| 2.1 <i>Pinus taeda</i> L. ....   | 18 |
| 2.2 REGIMES DE MANEJO .....  | 18 |
| 2.2. 2 Desbaste .....  | 19 |
| 2.3 MORFOMETRIA .....  | 20 |
| 2.4 FUNÇÕES DE AFILAMENTO .....  | 21 |
| 2.5 SORTIMENTO FLORESTAL .....   | 22 |
| 2.6 REFERÊNCIAS .....  | 23 |
| CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DE UM POVOAMENTO DE <i>Pinus taeda</i> L.<br>SUBMETIDOS A DIFERENTES REGIMES DE MANEJOS ..... | 27 |
| RESUMO .....   | 27 |
| ABSTRACT .....   | 27 |
| 3.1 INTRODUÇÃO.....  | 28 |
| 3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....  | 29 |
| 3.2.1 ÁREA DE ESTUDO .....   | 29 |
| 3.2.2 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO .....   | 30 |
| 3.2.3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS .....  | 34 |
| 3.2.4 CÁLCULO DO VOLUME.....   | 35 |
| 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 37 |
| 3.4 CONCLUSÃO.....   | 48 |
| 3.5 REFERÊNCIAS .....  | 48 |
| CAPÍTULO II.....   | 52 |
| MORFOMETRIA DE <i>Pinus taeda</i> L. SUBMETIDOS A DIFERENTES INTENSIDADES DE<br>DESBASTES.....                               | 52 |
| ABSTRACT .....   | 53 |
| 4.1 INTRODUÇÃO.....  | 53 |
| 4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....  | 54 |
| 4.2.1 ÁREA DE ESTUDO .....   | 54 |
| 4.2.2 COLETA DE DADOS.....   | 54 |

|  |    |
|--|----|
| 4.2.3 MODELAGEM DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS .....  | 56 |
| 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 57 |
| 4.3.1 CARACTERÍSTICAS DAS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS .....  | 57 |
| 4.3.2 CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS .....   | 68 |
| 4.3.3 MODELAGEM DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS .....  | 70 |
| 4.3.3.1 Diâmetro de copa .....   | 70 |
| 4.3.3.2 Proporção de copa .....  | 72 |
| 4.3.3.3 Índice de saliência .....  | 73 |
| 3.3.5 Índice de abrangência.....   | 74 |
| 4.3.3.6 Formal de copa .....   | 75 |
| 4.4 CONCLUSÃO.....   | 75 |
| 4.5 REFERÊNCIAS .....  | 76 |
| CAPÍTULO III .....   | 79 |
| IMPACTO DE DIFERENTES REGIMES DE MANEJO NA PRODUÇÃO DE<br>SORTIMENTOS FLORESTAIS EM <i>Pinus taeda</i> L. .... | 79 |
| RESUMO .....   | 79 |
| ABSTRACT .....   | 79 |
| 5.1 INTRODUÇÃO.....  | 80 |
| 5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....  | 81 |
| 5.2.1 ÁREA DE ESTUDO E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO .....  | 81 |
| 5.2.2 INFORMAÇÕES COLETADAS .....  | 81 |
| 5.2.3 Estimativa volumétrica dos sortimentos .....   | 82 |
| 5.2.4 ANÁLISE DOS SORTIMENTOS .....  | 83 |
| 5.2.5 ANÁLISE ECONÔMICA .....  | 84 |
| 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 85 |
| 5.3.1 ANÁLISE DOS SORTIMENTOS FLORESTAIS.....  | 85 |
| 5.4 CONCLUSÕES .....   | 93 |
| 5.5 REFERÊNCIAS .....  | 93 |



## 1 INTRODUÇÃO GERAL

*P. taeda* é a espécie mais cultivada no sul do Brasil, devido à região apresentar as melhores condições de solo e clima. A espécie apresentou boa adaptabilidade, podendo se obter produtividade média de  $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , podendo chegar a  $45 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , produtividade superior ao encontrado no local de origem da espécie (IBÁ, 2017; LAMBERT, 2018).

Plantios de *Pinus* ocupam uma área de 1,6 milhões de hectares, e concentram-se principalmente no Paraná (42%), Santa Catarina (34%), Rio Grande do Sul (12%) e São Paulo (8%), nos últimos sete anos, a área plantada com esse gênero vem se mantendo estável, concentrando-se cada vez mais nesses estados (IBÁ, 2019).

Atualmente, plantações do gênero *Pinus* constituem a principal fonte de produtos advindos de florestas plantadas no Brasil. A demanda por matéria prima está cada vez mais em ascensão, devido à grande utilização no setor de serraria e laminação. Para suprir a demanda por madeira existente no mercado, são necessários estudos visando a produção florestal e avaliando as técnicas de manejo empregadas (KOHLENER et al., 2013; WEBER et al., 2013).

No manejo um aspecto importante para ser avaliado são as características morfométricas dos indivíduos, no qual através de informações obtidas em campo são calculados índices que determinam o grau de concorrência do povoamento, além de indicar qual o período ideal para a realização dos desbastes (KLEIN, 2017; DIONISIO et al., 2018).

Os desbastes consistem na redução do número de árvores que crescem num determinado povoamento, de modo a condicionar a competição e, dar às árvores restantes mais espaço, luz e nutrientes para o seu desenvolvimento (RIBEIRO et al., 2002). Promovem o aumento no espaço vital disponível para os indivíduos, fato que afeta as variáveis dendrométricas das árvores, pois proporciona mais espaço para a expansão da copa dos indivíduos remanescentes.

Além disto, quando aplicado um desbaste adequado ocorre melhora na qualidade da madeira e aumenta a dimensão das árvores remanescentes, sem levar a perdas significativas de volume. No entanto, quando aplicados desbastes extremos podem levar ao aumento desproporcional da copa e dos galhos, além de reduzir a produção volumétrica da floresta (SCHNEIDER et al., 1998; INOUE et al., 2011; DIONISIO et al., 2018).

As aplicações de desbastes podem ser: por baixo, onde os indivíduos dominados são removidos; do tipo sistemático em que linhas pré-definidas são removidas e; pelo alto, onde as árvores concorrentes das dominantes são removidas, no sentido de diminuir a competição e favorecer das árvores promissoras do povoamento (RIBEIRO et al., 2002; DAVID et al., 2016).

Como dito, o principal objetivo do desbaste pelo alto é favorecer as árvores potenciais ao final da rotação do povoamento, para isso, experimentos foram instalados no sul do Brasil

na década de 80 que tinham como objetivo avaliar o comportamento das árvores sob diferentes regimes de manejos, sendo empregados regimes extremos, onde as árvores cresciam sob diferentes intensidades de competição (DOBNER JR., 2015). Nesse estudo foi avaliado um experimento instalado na década de 80 em que foi aplicado o desbaste pelo alto em seis períodos diferentes e com intensidades variadas, o que gerou um conjunto de dados onde foi possível avaliar como a floresta respondeu a essas intervenções ao longo dos anos.

Avaliar como a floresta evolui ao longo do tempo é uma tarefa essencial ao manejo, pois através de informações coletadas no inventário florestal possível definir o tempo adequado para intervir e maximizar o rendimento da madeira (KOHLENER et al., 2014). Além disto, conhecer a produtividade de uma área florestal por classes de sortimentos, é imprescindível para o planejamento florestal, pois possibilita considerar no planejamento a combinação dos efeitos que o sítio e o regime de manejo exercem sobre a produção (GOMES et al., 1997).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.2 Objetivo geral

- Avaliar a resposta das variáveis dendrométricas, morfométricas e sortimento de um plantio de *P. taeda* aos 37 anos de idade submetidos a diferentes intensidades de desbastes.

### 1.1.3 Objetivos específicos

- Identificar as principais diferenças nas variáveis dendrométricas do povoamento de *P. taeda* submetidos a diferentes regimes de manejo;
- Conhecer a correlação entre as variáveis morfométricas e ajustar modelos e selecionar equações para variáveis morfométricas de *P. taeda*, em Campo Belo do Sul.
- Avaliar o sortimento de madeira de *P. taeda* em diferentes níveis de competição e analisar a viabilidade econômica do povoamento.

### 1.1.4 Hipóteses

- Nas parcelas em que a intervenção foi maior no início do experimento, os indivíduos de *Pinus taeda* apresentam maiores diâmetros e melhores características morfométricas no final da rotação;
- Apesar das diferentes intensidades de desbastes aplicados, não existem diferenças no volume acumulado do povoamento;
- Ao longo dos anos parcelas que apresentaram maiores intervenções no início do experimento apresentaram maiores sortimentos para a serraria.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 *Pinus taeda* L.

É uma conífera pertencente ao reino *Plantae*, filo *Coniferophyta*, classe *Pinopsida*, ordem *Pinales*, família *Pinaceae*. Conhecido popularmente como pinheiro americano e pinheiro amarelo (KOHLE, 2013). Nativa do Estado Unidos da América, encontrada desde no nível do mar até em altitudes acima de 600 metros (BARRICHELO et al., 1977). Tem sido plantado nas últimas décadas em regiões tropicais e subtropicais com altitudes entre 0 e 900 m, precipitação anual entre 900 e 2.200 mm, com uma estação seca de 0 a 6 meses e temperatura média anual de 14°C e 24°C. Esta espécie é tolerante a geadas e pode suportar períodos de alagamento e déficit hídrico (HIGA et al., 2008).

Atualmente é a principal conífera plantada para produção de papel, celulose e madeira serrada no Brasil, principalmente na região sul do país. Desenvolve-se bem em regiões com clima ameno e inverno frio (AGUIAR et al., 2011). No ano de 2016 as plantações de *Pinus* eram de 1,5 milhão de hectares, porém ao analisar o período de 2007 a 2016 a área de plantio apresentou um decréscimo 290 mil hectares. No estado de Santa Catarina cerca de 275,3 mil hectares de plantio de *Pinus*, essas espécies se adaptaram ao estado devido as condições edafoclimáticas serem favoráveis para seu desenvolvimento (ACR, 2019).

Os principais plantios se localizam nos Estados do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, São Paulo e Minas Gerais. As indústrias de celulose, painéis e de móveis que consomem a maior quantidade de madeira de *Pinus* estão situadas nesses estados que somam aproximadamente 89% do total da área plantada desse gênero (AGUIAR et al., 2011).

A espécie apresenta alto potencial para reflorestamento das áreas degradadas no sul do Brasil, isto devido se destacar pelo incremento volumétrico nessa região (SHIMIZU; HIGA, 1981). A produtividade média dos plantios de *Pinus* é de 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, podendo chegar a 45 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> com uso de tecnologia de clonagem via embriogênese e enraizamento de mini estaquia (LAMBERT, 2018; IBÁ, 2019).

### 2.2 REGIMES DE MANEJO

Durante o processo de planejamento florestal um dos maiores problemas encontrados é a elaboração de práticas de manejo adequadas ao objetivo da produção. Para plantios de *Pinus* é importante definir a densidade inicial do povoamento, os regimes de desbastes que deverão ser aplicados, regimes de poda e idade de rotação (GOMES, 1999).

Os principais sistemas de manejo encontrados, que possuem objetivo de produção de madeira são o *pulpwood* (madeira para processo), *clearwood* (madeira livre de nós) e *utility*. O *pulpwood* tem como objetivo principal a produção do máximo volume possível, para isso são empregados espaçamentos de até 3,0 x 1,5m, correspondendo a 2.222 árvores ha<sup>-1</sup>, podendo alcançar até 30 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. No método *clearwood*, o objetivo é obter madeira limpa, livre de nós, para isso, são empregados espaçamentos maiores de até 2,5 x 4,0 m e realizado podas até os indivíduos atingirem pelo menos 7,5m de altura (KRONKA et al., 2005).

O regime *utility* foi o mais utilizado nas empresas florestais, e preconiza desbastes periódicos durante o ciclo produtivo. Neste tipo de regime, são obtidas toras de diferentes bitolas, o que possibilita o atendimento de mercado de madeira fina à madeira de maiores dimensões (SCOLFORO, 1997).

## 2.2. 2 Desbaste

Consiste na redução artificial do número de árvores que crescem num determinado povoamento, de modo a condicionar a competição e, dar às árvores restantes mais espaço, luz e nutrientes para o seu desenvolvimento, permitindo maior crescimento das árvores individuais e, com isso, o aumento do valor das mesmas, devido ao melhor aproveitamento industrial, entre outros (FINGER; SCHNEIDER, 1999; RIBEIRO et al., 2002). Apesar da diminuição volumétrica total, os desbastes possibilitam a produção de toras de maiores diâmetros, uma vez que o crescimento radial da árvore responde de forma positiva a essas intervenções (SCHNEIDER; FINGER, 1994).

Os desbastes podem ser classificados em:

- Desbaste seletivo por baixo: são removidas árvores do dossel inferior da floresta (DAVID et al., 2016). É considerada como uma antecipação da mortalidade natural das árvores que compõem o povoamento florestal, pois são removidas as menores árvores e aquelas com menor vigor, de tal modo que o futuro incremento é concentrado nas melhores árvores (AHRENS, 1992).
- Desbaste seletivo pelo alto: Neste tipo de desbastes são removidas árvores do estrato médio ou superior da floresta, tem a finalidade de diminuir a competição para árvores dominantes ou codominantes (RIBEIRO et al., 2002).

Neste desbaste, o primeiro passo é definir quais árvores apresentam maior potencial futuro, ou seja, as árvores dominantes do povoamento. Após isto, é necessário identificar quais as principais concorrentes dos indivíduos dominantes, e assim marcar para futura remoção do

plantio. Vale ressaltar que neste tipo de desbaste, árvores concorrentes são indivíduos bem desenvolvidos e que por algum motivo não foram selecionadas como potenciais. Essas árvores são removidas para que os indivíduos potenciais possam desenvolver suas copas sem restrições de espaço (DOBNER JR.; HUSS, 2015).

➤ Desbaste sistemático: são removidas linhas de plantio com intervalos preestabelecidos (DAVID et al., 2016). Neste método a qualidade das árvores não é levada em consideração, e o desbaste é definido pela remoção em linhas de plantio ou segundo algum critério de espaçamento (AHRENS, 1992).

Os desbastes diminuem a competição das árvores por fatores necessários para o seu desenvolvimento, como luz, nutrientes, além de favorecer o crescimento e desenvolvimento da copa das árvores, raízes e ramos. A remoção de árvores inferiores deixando no povoamento apenas indivíduos com características superiores, o que possibilita qualidade genética para as rotações subsequentes (RIBEIRO et al., 2002).

## 2.3 MORFOMETRIA

A morfometria é definida como o estudo da forma das árvores através das informações de dimensões de copa, diâmetro à altura do peito e altura e das relações existentes entre essas variáveis (FLORIANO, 2018). Os primeiros estudos sobre a forma das árvores e caracterização dos modelos de copa foram realizados por Burger (1939) e Assmann (1961).

Estudos de morfometria permitem inferir sobre as relações interdimensionais e também reconstruir o espaço ocupado por cada árvore. Sendo possível julgar o grau de competição de um povoamento, e poder inferir sobre a estabilidade e a produtividade de cada indivíduo (DURLO; DERNARDI, 1998; TONINI et al., 2008). A morfometria das espécies florestais e suas correlações com as variáveis dendrométricas são importantes para a compreensão do desenvolvimento da espécie e tomadas de decisões quanto as práticas de manejo (PADOIN et al., 2010; OLIVEIRA et al, 2018).

2.3.2 Formal de copa: É a relação entre o diâmetro de copa e o comprimento da copa. Seus resultados indicam se a forma da copa do povoamento é esbelta ou achatada (OLIVEIRA et al., 2018). Valores de formal de copa inferiores a 1 (um) indicam que as árvores do povoamento apresentam copas esbeltas, enquanto valores acima de um indicam copas mais arredondadas.

2.3.3 Diâmetro de copa: É a variável básica na dedução das demais característica da árvore, corresponde ao comprimento da linha de projeção entre os pontos extremos da copa. É uma

variável utilizada para comparar a densidade dos povoamentos, pois é o espaço horizontal do terreno ocupado pelo indivíduo. É obtida pela medição em quatro (N-S, L-O) ou em oito pontos (DURLO; DENARDI, 1998).

Conforme aumenta o diâmetro dos indivíduos do povoamento, o diâmetro de copa tende a aumentar. Por isto, a partir das informações de diâmetro de copa é possível se conhecer o espaço reservado para cada árvore, sendo possível prever antecipadamente o momento da aplicação de desbastes, além de determinar o número de indivíduos que serão mantidos em determinada área (ZIMMERMANN et al., 2012).

2.3.4 Proporção de copa: É a relação entre a altura comercial e altura total da árvore. Quanto maior a proporção de copa, maior a produtividade da árvore. É a variável mais utilizada, pois reflete o tamanho e o vigor da árvore, a posição social dentro do povoamento e a densidade (COSTA; FINGER, 2017).

2.3.5 Grau de esbeltez: É conhecido como relação  $ht/dap$ , é uma variável utilizada para caracterizar a estabilidade das árvores. Quanto menor o o valor do grau de esbeltez maior a estabilidade da árvore (DURLO; DENARDI, 1998). A diminuição do grau de esbeltez com o crescimento da árvore, indica que as mesmas estão crescendo mais em diâmetro do que em altura, sendo um fator positivo para sua estabilidade contra o vento (DIONÍSIO et al., 2018).

2.3.6 Índice de saliência: Relaciona o diâmetro da copa e o dap, e demonstra quantas vezes o diâmetro da copa é maior que o dap (DURLO; DENARDI, 1998). Utilizado quando se prevê o desbaste de um povoamento não pela sua idade, mas pelo diâmetro atingido por seus componentes. O número máximo de árvores por unidade de área, à medida em que as árvores forem crescendo, pode ser calculado pelo índice de saliência, se existir uma correlação significativa entre este e o dap (DURLO; DENARDI, 1998).

## 2.4 FUNÇÕES DE AFILAMENTO

Afilamento é o termo utilizado para descrever o perfil do tronco de espécies florestais, e é definido como o decréscimo do diâmetro ao longo do fuste das árvores. As equações obtidas são conhecidas no meio florestal como equações de afilamento do tronco, equações de adelgaçamento ou funções de forma (SILVA et al., 2011). Para Ahrens e Holbert (1981) função de forma é uma descrição matemática do perfil longitudinal do tronco. E quando definido o

melhor modelo para descrever o afilamento, pode se obter o volume em qualquer ponto ao longo do tronco.

As funções de afilamento são utilizadas para a quantificação dos sortimentos dos povoamentos florestais e começaram a ser empregadas devido à necessidade de estimativas mais precisas do volume das árvores, uma vez que essas equações descrevem o perfil do tronco (GUIMARÃES; LEITE, 1992; SOUZA et al., 2008). As equações são geradas a partir da análise de regressão em dados de cubagem rigorosa, onde são empregados modelos estatísticos adequados à caracterização da variação de diâmetros do tronco em toda a sua extensão no sentido base-topo. Desta caracterização, é possível identificar, facilmente, produtos madeireiros de acordo com informações pré-estabelecidas de diâmetros comerciais e comprimentos de toras desejados (ANDRADE, 2014).

No setor florestal as funções de afilamento têm proporcionado melhoras significativas nos resultados de inventário, ajudando na otimização dos recursos florestais (CIARNOSCHI, 2016). Diversos modelos têm sido propostos nas últimas décadas para estimar o afilamento de espécies florestais, mas a escolha do melhor modelo depende dos objetivos, porque em alguns casos determinado modelo tem melhor performance para estimar diâmetros ao longo do fuste, pode não ser o melhor para calcular altura comercial e volume, ou seja, a maioria dos modelos não conseguem descrever todo o fuste com a mesma precisão (CAMPOS; LEITE, 2009; SOUZA et al., 2016).

As primeiras aplicações de modelagem na tentativa de representar o perfil do tronco tiveram seu início na aplicação de modelos de regressão linear, seguidos de modelos não lineares. Já os modelos de afilamento, os primeiros utilizados foram os modelos não segmentados. Com o avanço da tecnologia e o aprimoramento dos computadores, passou-se a utilizar modelos segmentados (CIARNOSCHI, 2016).

Os modelos não segmentados, frequentemente utilizados, caracterizam-se por um ajuste de regressão que relaciona vários diâmetros tomados ao longo do tronco e suas respectivas alturas, com o diâmetro a 1,30 m e a altura total das árvores (LANSSANOVA, 2012). Esses modelos foram desenvolvidos com o conceito de que a forma do fuste corresponde a um único sólido geométrico, por isso, são considerados modelos menos flexíveis e podem apresentar problemas nas estimativas próximas à base e no ápice (MÔRA, 2015).

## 2.5 SORTIMENTO FLORESTAL

O conhecimento dos diversos fins da madeira é importante para o planejamento florestal, pois possibilitam um maior aproveitamento e conseqüentemente maior retorno

econômico, pois os diversos usos finais da madeira alcançam preços diferentes no mercado. O conhecimento desta proporcionalidade é denominado sortimento (CONCEIÇÃO, 2004). Para isso são importantes utilizar funções de afilamento, pois indicam os volumes comerciais parciais ao longo do fuste e maximiza o aproveitamento da madeira pelo sortimento (RAMOS, 2012).

O sortimento florestal é um termo utilizado para resumir a avaliação comercial qualitativa da floresta em pé a partir de uma lista de diferentes multiprodutos. É considerado uma ferramenta importante durante o processo de planejamento florestal, pois possibilita maior retorno econômico ao empreendimento florestal, uma vez que possibilita realizar estimativas de multiprodutos que podem ser retirados de uma árvore. O sortimento pode ser considerado como seccionamento da árvore pelas dimensões diâmetro e comprimento, onde quando maior essas dimensões, maiores as dimensões das peças resultantes e consequentemente, maior o preço (ARCE, 2000; CONCEIÇÃO, 2004; QUEIROZ, 2006; FIGUEIREDO FILHO et al., 2014; KOHLER et al., 2015). A partir de equações que descrevem o fuste dos indivíduos, são criadas tabelas de sortimentos. Essas equações tem a função de reproduzir os valores diamétricos situados em alturas sucessivas (QUEIROZ, 2006).

É considerado uma importante ferramenta para o planejamento florestal, pois é possível realizar estimativas de multiprodutos, permitindo um melhor aproveitamento da madeira. Além disto, planos de manejos podem ser elaborados a partir de estudos da evolução dos sortimentos florestais, o que pode ajudar o manejador a tomar decisões mais seguras em relações as intervenções que serão necessárias na floresta ao longo do tempo (KOHLER et al., 2015; QUEIROZ, 2006).

## 2.6 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A.V.; SOUSA, V.A.; FRITZSONS, E.; PINTO JUNIOR, J.E. Programa de melhoramento de *Pinus* da Embrapa Florestas. Documentos/ Embrapa Florestas. 2011, 83p.
- AHRENS, S. A seleção simultânea do ótimo regime de desbastes e da idade de rotação, para povoamentos de *Pinus taeda* L., através de um modelo de programação dinâmica. 1992, 199f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- AHRENS, S.; HOLBERT, D. Uma função para forma de tronco e volume de *Pinus taeda* L. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 3, p. 37-68, dez. 1981.
- ANDRADE, V. C. L. Modelos de taper do tipo expoente-forma para descrever o perfil fuste de árvores. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, v. 34, n. 80, p. 271 – 283, out./dez. 2014.
- ARCE, J. E. Um sistema de análise, simulação e otimização do sortimento florestal em função da demanda por multiprodutos e dos custos de transporte. 2000. 125 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.



- ASSOCIAÇÃO CATARINENSE DE EMPRESAS FLORESTAIS – ACR. Anuário estatístico de base florestal para o estado de Santa Catarina 2019 (ano base 2018), 2019, 115p.
- BARRICHELO, L.E.G.; KAGEYAMA, P.Y.; SPELTZ, R.M.; BONISH, H.J.; BRITO, J.O.; FERREIRA, M. Estudos de procedências de *Pinus taeda* visando seu aproveitamento industrial. IPEF, n. 15, p. 1-14, 1977.
- CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. Mensuração Florestal: perguntas e respostas. Viçosa, MG: UFV, 407p., 2009.
- CIARNOSCHI, L. D. Modelos de afilamento do tronco de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, no oeste do estado de Santa Catarina. 2016, 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- CONCEIÇÃO, M.B. Comparação de métodos de estimativa de volume em diferentes idades em plantações de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. 2004, 166f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- COSTA, E.A.; FINGER, C.A.G. Efeito da competição nas relações dimensionais de Araucária. Floresta e Ambiente, v. 24, p. 1-11, 2017.
- DAVID, H.C.; ARCE, J.E.; PÉLLICO NETO, S.; CORTE, A.P.D.; MARINHESKI FILHO, A.; ARAÚJO, E.J.G. Efeito do desbaste e da qualidade do sítio na relação hipsométrica de *Pinus taeda*. Floresta e Ambiente, v. 23, n. 2, p. 220-228, 2016.
- DIONISIO, L.F.S.; ARAÚJO, H.X.; CORREIA, R.G.; MARTINS, W.B.R.; COSTA, J.S.; MACIEL, F.C.S. Influência do primeiro desbaste na morfometria de *Tectona grandis* L.f. em Roraima. Floresta e Ambiente, v. 25, n. 1, p. 1-8, 2018.
- DOBNER JUNIOR, M. Impacto do manejo de povoamentos na produtividade e qualidade da madeira de *Pinus taeda*. 2015, 330f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- DOBNER JUNIOR, M.; HUSS, J. Desbaste pelo alto: uma alternativa rentável para povoamentos de *Pinus taeda* no sul do Brasil. Pomerode, SC: Imprensa Mayer, 2015, 28p.
- DURLO, M.A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio grande do Sul. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55 – 66, 1998.
- FIGUEIREDO FILHO, A.; KOHLER, S. V.; FELDE, J. L.; DIAS, A. N. Dinâmica do afilamento do tronco e da produção de madeira em plantios de *Araucaria angustifolia*. Cerne, v. 20, n. 4, p. 595–603, 2014.
- GOMES, F.S. A seleção de regimes de manejo mais rentáveis em *Pinus taeda* L. na produção de madeira para papel e celulose. 1999, 154f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- GOMES, F.S.; MAESTRI, R.; SANQUETTA, C.R. Avaliação da produção em volume total e sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes condições de espaçamento inicial e sítio. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 101 – 126, 1997.
- GUIMARÃES, D. P.; LEITE, H. G. Um novo modelo para descrever o perfil do tronco. Revista Árvore, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 170 – 180, 1992.
- HIGA, R.C.V.; WREGE, M.S.; RADIN, B.; BRAGA, H.; CAVIGLONE, J.H.; BOGNOLA, I.; ROSOT, M.A.D.; GARRASTAZU, M.C.; CARAMORI, P.H.; OLIVEIRA, Y.M.M.

Zoneamento climático: *Pinus taeda* no Sul do Brasil. Documentos/ Embrapa Florestas. 2008, 17p.

IBÁ. Relatório anual 2019, ano base 2018. Brasília: 2019, 80p.

INOUE, M.T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; LIMA, R. Influência do espaço vital de crescimento na altura e diâmetro de *Pinus taeda* L. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 377, 385, set., 2011.

KLEIN, D.R. Morfometria e crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no planalto sul catarinense. 2017, 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

KOHLER, S.V. Evolução do afilamento do tronco e do sortimento em plantios de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina. 2013, 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

KOHLER, S.V.; KOHLER, H.S.; FIGUEIREDO FILHO, A. Modelos de afilamento para *Pinus taeda* por classes de idade. Floresta e Ambiente, v. 20, n. 4, p. 470-479, out./dez., 2013.

KOHLER, S.V.; WOLFF II, N.I.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J.E. Dinâmica do sortimento de plantios de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítio no Sul do Brasil. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 403-410, set., 2014.

KOHLER, S.V.; KOEHLER, H.S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J.E.; MACHADO, S.A. Evolução do sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina. Floresta, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 545-554, jul./set., 2015.

KRONKA, F.J.N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R.H. A cultura do *Pinus* no Brasil. Sociedade Brasileira de Silvicultura. 160p. 2005.

LAMBERT, L. Crescimento de diferentes espécies de *Pinus* spp. na região serrana de Santa Catarina. 2018, 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.

LANSSANOVA, L. R. Ajuste de funções de afilamento para espécies florestais comerciais do bioma Amazônico mato-grossense. 2012, 184f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso.

MÔRA, R. Funções de afilamento de forma variável e modelagem de efeitos mistos em fustes de *Pinus taeda* e *Eucalytus saligna*. 2015, 277f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

OLIVEIRA, T.M.; MADI, J.P.S.; CERQUEIRA, C.L.; MILLIKAN, P.H.K.; CARVALHO, M.P.L.C.; CARVALHO, S.P.C. Relações morfométricas para árvores de *Tectona grandis*. Advances in Forestry Science, Cuiabá, v. 5, n. 4, p. 461-465, 2018.

PADOIN, V.; FINGER, G.; AUGUSTO, C. Relações entre as dimensões da copa e a altura das árvores dominantes em povoamentos de *Pinus taeda* L. Ciência Florestal, v. 20, n. 1, p. 95-105, 2010.

QUEIROZ, D. Avaliação de funções de afilamento e sortimentos para *Mimosa scabrella* Benthham em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR. 2006. 134 f. (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

- RAMOS, M. Comparação de métodos para estimar o volume comercial em floresta ombrófila densa no estado do Amazonas. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2012.
- RIBEIRO, A.; SITO, A.A.; GUEDES, B.S.; STAIS, C. Manual de Silvicultura Tropical. FAO, Projecto GCP/Moz, 2002, 130p.
- SCOLFORO, J.R.S. Manejo Florestal. UFLA/FAEPE, 438p., 1997.
- SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Determinação de regimes de desbaste para povoamentos de *Pinus elliottii* E. do planalto ocidental no Estado de Santa Catarina. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 43-59, 1994.
- SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; HOPPE, J.M.; DRESCHER, R.; SCHEEREN, L.W.; MAINARDI, G.; FLEIG, F.D. Produção de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em diferentes intensidades de desbaste. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 129-140, 1998.
- SHIMIZU, J. Y.; HIGA, A. R. Variação racial do *Pinus taeda* L. no sul do Brasil até o sexto ano de idade. Boletim de Pesquisa Florestal, Colombo, n. 2, p. 1-25, 1981.
- SILVA, F.; CORTE, A.P.D.; SANQUETTA, C.R. Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de *Pinus caribea* var. hondurensis na região do triângulo mineiro. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 367-376, 2011.
- SOUZA, C. A. M.; SILVA, G. F.; XAVIER, A. C.; MENDONÇA, A. R.; ALMEIDA, A. Q. Avaliação de modelos de afilamento não segmentados na estimação da altura e volume comercial de *Eucalyptus* sp. Revista Ciência Florestal, Santa Maria, v. 18, n. 3, p. 387 – 399, jul.-set., 2008.
- SOUZA, C.A.M. Modelos de afilamento para *Pinus taeda* L. ajustados segundo a forma do tronco e métodos de estratificação. 2009, 120f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- SOUZA, R. R.; NOGUEIRA, G. S.; MURTA JUNIOR, L. S.; PELLI, E.; OLIVEIRA, M. L. R.; ABRAHÃO, C. P.; LEITE, H. G. Forma de fuste de árvores de *Eucalyptus* em plantios com diferentes densidades iniciais. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 44, n. 109, p. 33-40, mar. 2016.
- TONINI, H.; KAMINSKI, P.E.; COSTA, P. Relação da produção de sementes de castanha-do-brasil com características morfométricas da copa e índices de competição. Pesquisa Agropecuária brasileira, Brasília, v. 43, n. 11, p. 1509-1516, 2008.
- WEBER, V.P.; FINGER, C.A.G.; FLEIG, F.D.; SOUZA, C.A.M.; MUNARETO, F.F.; SILVA, L.T.M. Diretrizes para desbaste de *Pinus taeda* L. em função da altura dominante. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 193-201, jan.-mar., 2013.
- ZIMMERMANN, A.P.L.; FLEIG, F.D.; REDIN, C.G.; AGUIAR, A.V. Relações morfométricas para árvores dominantes de *Pinus taeda* no estado do Paraná. Anais, VII Simpósio de Pós-Graduação em Ciências Florestais, p. 5, 2012.

## CAPÍTULO 1

### CARACTERÍSTICAS DENDROMÉTRICAS DE UM POVOAMENTO DE *Pinus taeda* L. SUBMETIDOS A DIFERENTES REGIMES DE MANEJOS

#### RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência de diferentes intensidades de desbastes nas características dendrométricas de um povoamento de *P. taeda* aos 37 anos de idade, no município de Campo Belo do Sul, Santa Catarina. O experimento é formado por 18 parcelas de 1.000 m<sup>2</sup> cada. Foram aplicados nove tratamentos de diferentes intensidades de desbastes com duas repetições. Em cada parcela foram coletadas informações de circunferência à 1,30 m do solo e altura total. Posteriormente, foram calculados os valores de diâmetro, número de árvores por hectare, diâmetro dominante ( $d_{dom}$ ), altura dominante ( $h_{dom}$ ), área basal por hectare e volume individual, acumulado e por hectare. Todas as variáveis analisadas entre os tratamentos, exceto para as variáveis volume acumulado, altura média e dominante, apresentaram diferenças significativas entre si. Foi verificado uma correlação forte e significativa entre as variáveis  $d_{ap}$  e volume (0,97), e uma baixa correlação entre o  $d_{ap} \times h$  (0,31) e  $v \times h$  (0,43). As intensidades de desbaste aplicadas nas parcelas avaliadas exerceram influências nas variáveis dendrométricas do povoamento, com apenas a variável  $h_{dom}$  não afetada pelos desbastes. O tratamento sem desbaste apresentou área basal e volume por hectare superior aos dos demais tratamentos, isto ocorreu devido à presença de um grande número de árvores. Já para o volume acumulado não foram encontradas diferenças significativas entre todos os tratamentos avaliados.

Palavras-chave: Intensidade de desbaste; Crescimento diamétrico; Tratamentos silviculturais.

#### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the influence of different thinning intensities on the dendrometric characteristics of a population of *P. taeda* at 37 years of age, in the municipality of Campo Belo do Sul, Santa Catarina. The experiment consists of 18 plots, with nine treatments of different thinning intensities and two repetitions of 1,000 m<sup>2</sup> each. In each plot, information on circumference at breast height and total height was collected. Subsequently, the values of diameter at breast height, number of trees per hectare,  $d_{dom}$  per treatment,  $h_{dom}$  per treatment, basal area per hectare and individual volume, accumulated and per hectare were calculated. All variables analyzed between treatments, except for the accumulated volume, mean and dominant height variables, showed significant differences between them. There was a strong and

significant correlation between the variables dap and volume (0.97), and a low correlation between dap x h (0.31) and v x h (0.43). The thinning intensities applied in the evaluated plots had an influence on the dendrometric variables of the stand, only the hdom variable was not affected by the thinning. The non-thinned treatment had a basal area and standing volume higher than the other treatments, this was due to the presence of a large number of trees ha<sup>-1</sup>. As for the accumulated volume, no significant differences were found between all treatments evaluated.

Keywords: Thinning intensity; Diametric growth; Silvicultural treatments.

### 3.1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos a demanda por matéria prima de origem florestal de qualidade vem aumentando, ocasionando maior valorização de florestas bem manejadas. Durante o processo de planejamento florestal, é necessário levar em consideração à finalidade da madeira proveniente do plantio, para determinar quais práticas silviculturais serão aplicadas. Porém, durante o planejamento da produção, é importante a escolha adequada da densidade do plantio (GOMES et al., 1997; WEBER et al., 2013).

Determinar o espaçamento inicial é um fator importante, pois os espaços disponíveis para o desenvolvimento desses indivíduos influência diretamente nas variáveis dendrométricas do povoamento, uma vez que espaçamentos menores resultam em menor diâmetro, maior área basal, maior volume total e menor volume individual (LEITE; NOGUEIRA; MOREIRA, 2006; INOUE; FIGUEIREDO FILHO; LIMA, 2011).

Devido à elevada densidade de árvores ocasionar em poucos anos a diminuição do crescimento do diâmetro, são aplicados desbastes que visam liberar espaço para que continue ocorrendo o crescimento das árvores remanescentes. Além disto, desbastes são aplicados visando a obtenção de multiprodutos, como madeira para laminação, serraria, celulose, entre outras (SCHNEIDER; FINGER; HOPPE, 1999; SOUZA; FIORENTIN, 2015; DAVID et al., 2017).

Regimes de desbastes influenciam na produção da floresta, pois quando aplicados resultam na diminuição da competição por água, luz e nutrientes, favorecendo dessa forma o crescimento das árvores remanescentes (OLIVEIRA et al., 2018). Desbastes mais leves tendem gerar maior volume total da floresta, enquanto os mais pesados causam maior crescimento diamétrico dos indivíduos remanescentes e consequentemente, maior volume individual (SCHNEIDER; FINGER, 1994; SCOLFORO; MACHADO, 1996; SCHEEREN; SCHNEIDER; FINGER, 2004).

Considerando que a intensidade dos desbastes tem influência direta nas características dendrométricas das árvores remanescentes, o objetivo deste estudo foi analisar o efeito de diferentes intensidades de desbastes nas variáveis dendrométricas de um povoamento de *P. taeda* no município de Campo Belo do Sul - SC.

### 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

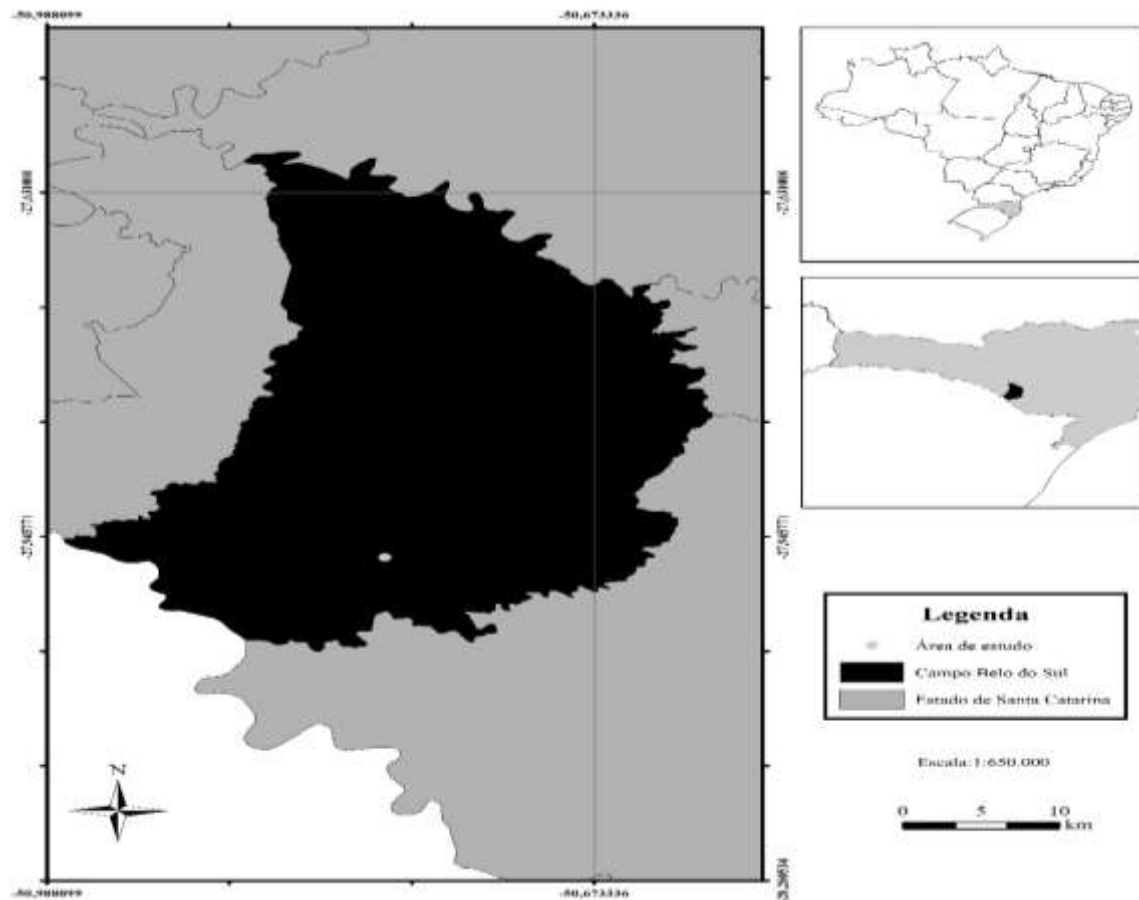
#### 3.2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em um plantio de 37 anos, localizado na região serrana de Santa Catarina, município de Campo Belo do Sul, microrregião dos Campos de Lages (Figura 1). Esta região apresenta altitude variando entre 950 a 1.017 m e o clima é classificado como Cfb de acordo com a classificação de Köppen, com verão ameno e apresenta umidade superior a 60% em pelo menos oito meses por ano (ALVARES et al., 2013). A temperatura média anual é de 15,6°C e a precipitação média anual é de 1.400 mm, bem distribuídos ao longo do ano (MAFRA et al., 2008; SEBRAE, 2010).

O relevo da região é suave-ondulado com predominância de Nitossolo Háplico, com associação de Cambissolo e Neossolo litólico nas áreas declivosas. São solos minerais, bem drenados, não hidromórficos, de coloração tipicamente brunada originados de riodacito, rocha efusiva na formação da Serra Geral. Os horizontes superficiais apresentam elevados teores de matéria orgânica (FORMENTO et al., 2004; GUEDES, 2005; IBGE, 1992).

A tipologia florestal característica do município é Floresta Ombrófila Mista Montana com predominância das espécies *Araucaria angustifolia*, *Myrcianthes pungens*, *Matayba elaeagnoides* e *Dasyphyllum tomentosum*. Esse tipo de vegetação ocorre entre 400 e 1.000 metros de altitude, ocupando quase inteiramente o planalto situado acima de 500 m nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (IBGE, 1992; FORMENTO et al., 2004; VIBRANS et al., 2013).

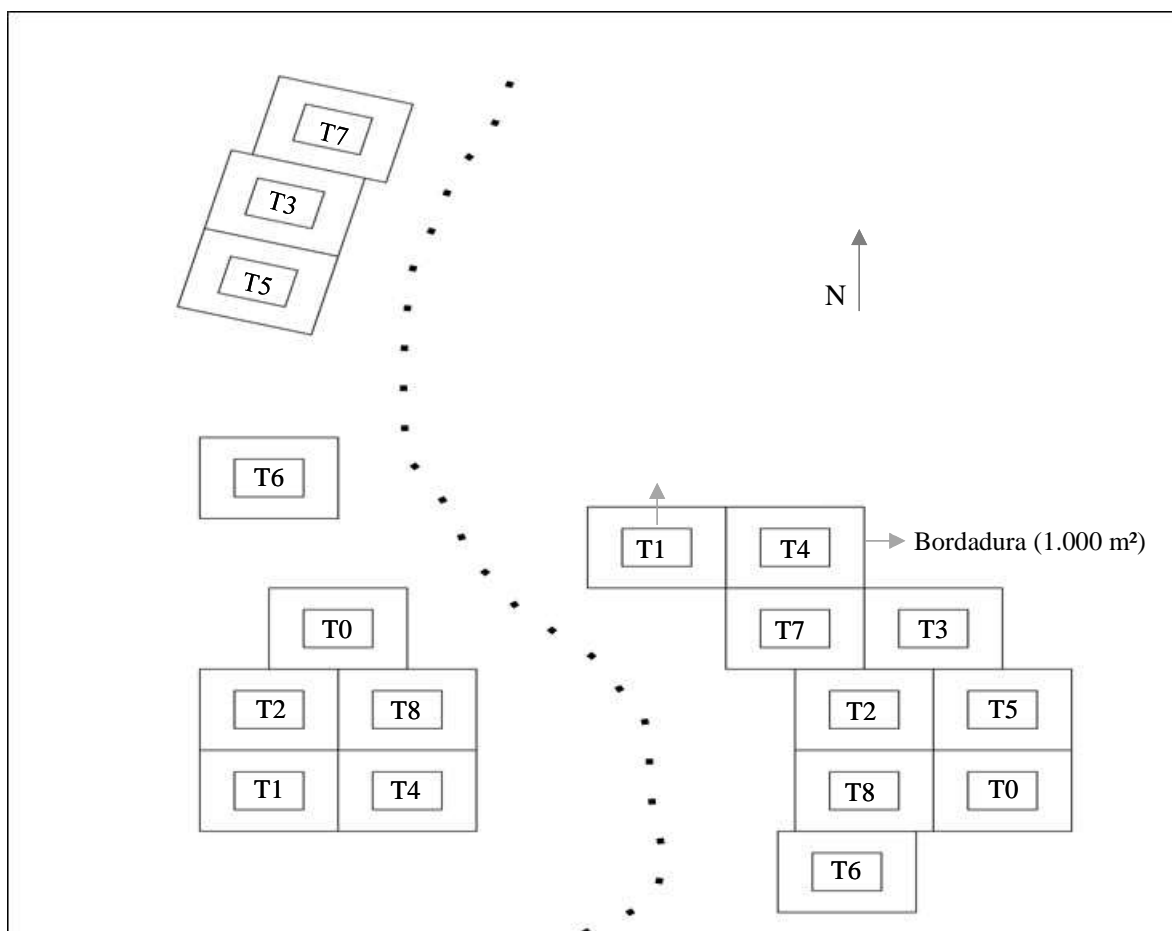
Figura 1. Mapa de localização do experimento no município de Campo Belo do Sul, SC.



### 3.2.2 DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi instalado em 1986, quando o povoamento tinha 4 anos de idade, pelo então diretor do Instituto de Silvicultura da Albert-Ludwigs Universität, Freiburg, Alemanha, Prof. Dr. Jürgen Huss, com objetivo de avaliar a resposta de *P. taeda* a diferentes intensidades de desbastes. Foram instaladas 18 parcelas de 2.000 m<sup>2</sup>, sendo 1.000 m<sup>2</sup> de área útil, em que foram testados nove tratamentos com duas repetições (Figura 2).

Figura 2. Disposição das parcelas no experimento localizado no município de Campo Belo do Sul, SC.



Em que: T0: sem desbaste; T1: desbaste fraco; T2: desbaste fraco/médio; T3: desbaste médio; T4: desbaste médio/médio; T5: desbaste médio/forte; T6: desbaste sistemático; T7: desbaste forte; T8: desbaste extremo.

A densidade inicial do experimento foi de 2.500 árvores  $\text{ha}^{-1}$  (1,6 x 2,4 m). Aos 4 anos de idade foi verificada a mortalidade de alguns indivíduos, o que reduziu a densidade para uma média de 2.400 árvores  $\text{ha}^{-1}$ . Em cada tratamento foram selecionadas 400 árvores potenciais  $\text{ha}^{-1}$ , que foram liberadas de nenhuma, uma, duas, ou todas as árvores concorrentes diretas.

Nos tratamentos fraco e fraco/médio foram removidos uma árvore concorrente para cada dominante no ano de 1984, restando na área 1.845 árvores  $\text{ha}^{-1}$  para o tratamento fraco (T1) e 1.865 árvores  $\text{ha}^{-1}$  para o tratamento fraco/médio (T2). O povoamento submetido a uma intervenção fraco/médio recebeu 6 desbastes, enquanto que o fraco recebeu apenas cinco (Figura 3). Nas parcelas avaliadas foram aplicados desbastes pelo alto.

No tratamento médio e médio/médio houve a remoção de duas árvores concorrentes para cada dominante no primeiro desbaste e uma árvore concorrente nas demais intervenções, enquanto que no povoamento médio/forte foram removidas duas árvores concorrentes nas duas primeiras intervenções (Tabela 1).

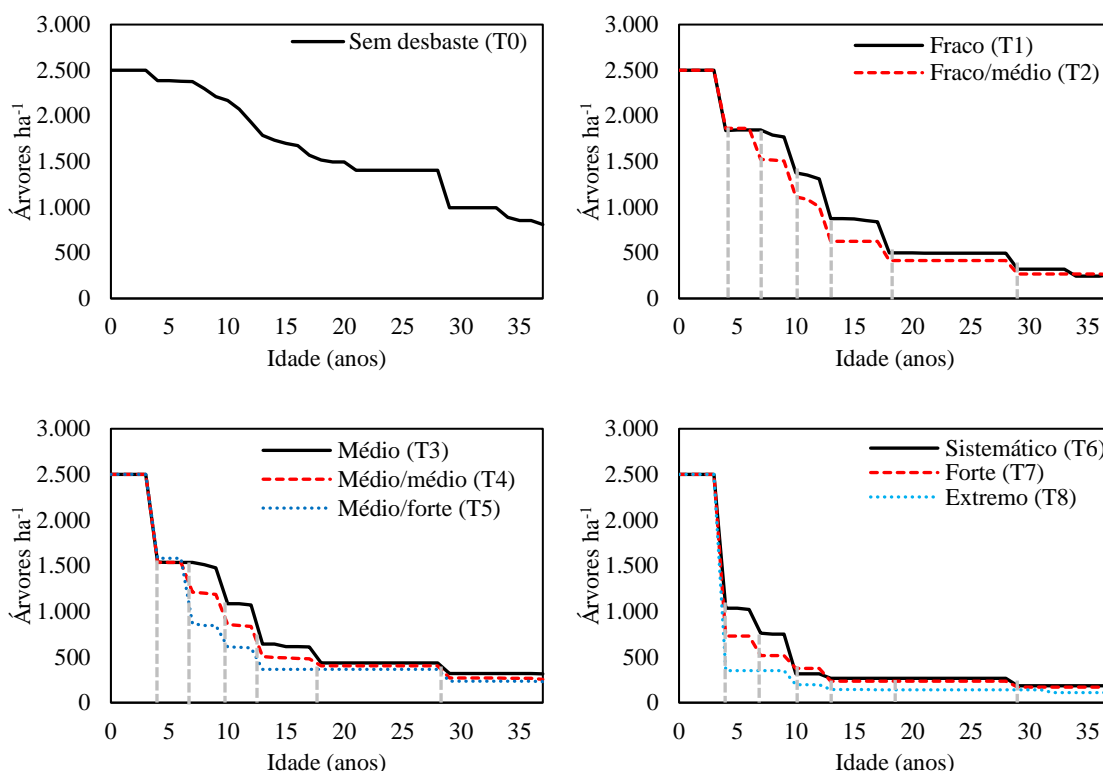


A aplicação do tratamento com desbaste sistemático consistiu na remoção de cinco linhas do povoamento na primeira intervenção. Apesar disto, foi necessário a remoção de uma árvore concorrente para cada árvore potencial nos anos de 1989 e 1992. Para o tratamento forte foram selecionadas 800 árvores  $\text{ha}^{-1}$  para permanecer no povoamento, as demais foram removidas na primeira intervenção. Nos anos de 1989, 1992 e 1995 foi verificado a existência de competição entre as árvores remanescentes, sendo removido 0,5 árvores concorrentes para cada dominante. No desbaste extremo, foram removidas todas as árvores concorrentes, restando apenas as 400 árvores  $\text{ha}^{-1}$  selecionadas; em 1992 realizou-se outra intervenção devido a competição existente, sendo removido 0,5 árvores concorrentes (Figura 3).

Tabela 1. Descrição dos desbastes realizados no experimento Canoas, ao longo dos 37 anos de monitoramento.

| Tratamento        | 1986   | 1989                          | 1992                          | 1995                          | 2000                          | 2011                          |
|-------------------|--|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Sem desbaste (T0) | -  | -                             | -                             | -                             | -                             | -                             |
| Fraco (T1)        | 1 concorrente/<br>potencial  | -                             | 1 concorrente/<br>potencial   | 1 concorrente/<br>potencial   | 1 concorrente/<br>potencial   | 0,5 concorrente/<br>potencial |
| Fraco/médio (T2)  | 1 concorrente/<br>potencial  | 1 concorrente/<br>potencial   | 1 concorrente/<br>potencial   | 0,5 concorrente/<br>potencial | 0,5 concorrente/<br>potencial | 0,5 concorrente/<br>potencial |
| Médio (T3)        | 2 concorrentes/<br>potencial   | -                             | 1 concorrente/<br>potencial   | 1 concorrente/<br>potencial   | 0,5 concorrente/<br>potencial | 0,5 concorrente/<br>potencial |
| Médio/médio (T4)  | 2 concorrentes/<br>potencial   | 1 concorrente/<br>potencial   | 1 concorrente/<br>potencial   | 0,5 concorrente/<br>potencial | 0,2 concorrente/<br>potencial | 0,5 concorrente/<br>potencial |
| Médio/forte (T5)  | 2 concorrentes/<br>potencial   | 2 concorrentes/<br>potencial  | 0,5 concorrente/<br>potencial | 0,5 concorrente/<br>potencial | -                             | 0,2 concorrente/<br>potencial |
| Sistemático (T6)  | 2 <sup>a</sup> , 4 <sup>a</sup> , 6 <sup>a</sup> , 8 <sup>a</sup> , 10 <sup>a</sup><br>linha | 1 concorrente/<br>potencial   | 1 concorrente/<br>potencial   | 0,2 concorrente/<br>potencial | -                             | 0,2 concorrente/<br>potencial |
| Forte (T7)        | 4 concorrentes/<br>potencial   | 0,5 concorrente/<br>potencial | 0,5 concorrente/<br>potencial | 0,5 concorrente/<br>potencial | -                             | 0,2 concorrente/<br>potencial |
| Extremo (T8)      | Todas as<br>concorrentes   | -                             | 0,5 concorrente/<br>potencial | 0,2 concorrente/<br>potencial | -                             | 0,2 concorrente/<br>potencial |

Figura 3. Evolução do número de árvores ha<sup>-1</sup> para o *P. taeda* submetidos a diferentes intensidades de desbastes.



Em que: linha vertical pontilhada demonstra a idade em que foi realizado a intervenção no povoamento.

### 3.2.3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Foram inventariadas as 18 parcelas, onde as informações coletadas foram circunferência a 1,30 m do solo (cap em cm) e altura total (h em m) de todos os indivíduos. Posteriormente, foram calculados os diâmetros médios ( $d_{ap}$ ) e dominantes ( $dd_{om}$ ) e a altura dominante ( $hd_{om}$ ) por tratamento. Foi realizado a distribuição diamétrica empiricamente, empregando cinco classes. O diâmetro ( $dd_{om}$ ) e altura dominante ( $hd_{om}$ ) foram obtidos utilizando as 100 árvores com maiores diâmetros por hectare, respectivamente, o que correspondeu a 20 árvores por tratamento.

Para a estimativa dos parâmetros por hectare, foi utilizado o fator de proporcionalidade proposto por Péllico Netto e Brena (1997), calculado pela seguinte fórmula:

$$F = \frac{A}{a}$$

F: fator de proporcionalidade; A: área de 1 ha, em m<sup>2</sup>; a: área da unidade amostral, em m<sup>2</sup>.

Após a determinação do F, multiplicou-se o número de árvores inventariadas em cada tratamento pelo fator de proporcionalidade, para se obter o número de árvores por hectare (árv ha<sup>-1</sup>).

$$N = n * F$$

Em que: N: número de árvores ha<sup>-1</sup>; n: número de árvores inventariadas por tratamento; F: fator de proporcionalidade;

A área basal por hectare (AB), foi obtido através da soma da área transversal multiplicado pelo fator de proporcionalidade.

$$AB = (\sum g_i) * F, \text{ onde } g_i = \frac{dap^2 * \pi}{40000}$$

Em que: AB: área basal, em m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>; g<sub>i</sub>: área transversal da i-ésima árvore, em m<sup>2</sup>; dap: diâmetro à altura do peito, em cm; π: 3,14.

Para o volume por hectare (V ha<sup>-1</sup>), foi multiplicado o volume individual pelo fator de proporcionalidade.

$$V \text{ ha}^{-1} = (\sum v_i) * F$$

Em que: V ha<sup>-1</sup>: volume por hectare, obtido em m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; v<sub>i</sub>: volume individual da i-ésima árvore; F: fator de proporcionalidade.

Foi verificado a correlação entre as variáveis dap, h e volume pelo método de correlação linear de Pearson a 95% de probabilidade. Para a análise do experimento foi realizado análise de variância (ANOVA) a 95% de probabilidade. Posteriormente, foi realizado o teste de Scott-Knott a 95% de probabilidade para verificar se houve diferenças significativas entre as médias das variáveis analisadas por tratamento.

### 3.2.4 CÁLCULO DO VOLUME

Para a estimativa do volume individual nas idades 4, 7, 10, 13, 18 e 29 anos, foi necessário estimar as alturas que não foram mensuradas nos inventários florestais realizados nessas idades. As alturas foram estimadas através das equações hipsométricas cedidas pela Florestal Gateados, conforme descritas na Tabela 2.

Tabela 2. Equações utilizadas para estimar a altura das árvores de *P. taeda* nas idades que foram realizados desbastes.

| Idade | N   | Equação  | R <sup>2</sup> aj | Sy.x% |
|-------|-----|--|-------------------|-------|
| 4     | 70  | $h = 0,908799 + 0,816441 * dap + (-0,023980 * dap^2)$          | 0,70              | 9,70  |
| 7     | 313 | $h = dap^2 / (-0,215348 + 0,542505 * dap + 0,054201 * dap^2)$  | 0,73              | 8,24  |
| 10    | 76  | $h = 2,640692 + 1,223909 * dap + (-0,02683 * dap^2)$           | 0,34              | 7,51  |
| 13    | 110 | $h = dap^2 / (3,551434 + -0,126074 * dap + 0,052147 * dap^2)$  | 0,31              | 6,31  |
| 18    | 66  | $h = 18,849225 + 0,431238 * dap + (-0,005498 * dap^2)$         | 0,09              | 4,19  |
| 29    | 22  | $h = dap^2 / (10,416098 + -0,436546 * dap + 0,037308 * dap^2)$ | 0,10              | 8,54  |

Em que: N: número de árvores utilizadas nos ajustes; h: altura total estimada, em m; dap: diâmetro à altura do peito, em cm; R<sup>2</sup> aj: coeficiente de determinação ajustado; Sy.x%: erro padrão da estimativa da altura, em porcentagem.

Foram utilizadas quatro equações cedidas pela empresa Florestal Gateados para a estimativa do volume atual e removido nos desbastes realizados nos anos de 1986, 1989, 1992, 1995, 2000 e 2011. Para a obtenção das equações foram utilizadas 793 árvores no total com diâmetros variando entre 4 e 65 cm e idades entre 4 e 34 anos (Tabela 3).

Tabela 3. Número de árvores cubadas por classe de idade para obtenção de equações de volume da empresa Florestal Gateados.

| < 10 anos     |                 | 10 - 20 anos |                 | 20 - 30 anos |                 | ≥30 anos |                 |
|---------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|----------|-----------------|
| Idade         | Árvores cubadas | Idade        | Árvores cubadas | Idade        | Árvores cubadas | Idade    | Árvores cubadas |
| 4             | 20              | 10           | 29              | 21           | 40              | 30       | 72              |
| 5             | 28              | 11           | 35              | 23           | 76              | 31       | 48              |
| 6             | 21              | 12           | 25              | 24           | 40              | 32       | 19              |
| 7             | 20              | 13           | 16              | 25           | 40              | 34       | 27              |
| 8             | 20              | 19           | 15              | 26           | 40              |          |                 |
| 10            | 29              |              |                 | 27           | 74              |          |                 |
|               |                 |              |                 | 28           | 15              |          |                 |
|               |                 |              |                 | 29           | 6               |          |                 |
|               |                 |              |                 | 30           | 38              |          |                 |
| dap mín. (cm) | 4               |              | 10              |              | 25              |          | 25              |
| dap máx. (cm) | 22              |              | 38              |              | 62              |          | 65              |
| h mín. (m)    | 4               |              | 12              |              | 25              |          | 25              |
| h máx. (m)    | 33              |              | 30              |              | 40              |          | 40              |

As equações utilizadas são provenientes da integração do polinômio do quinto grau e todas apresentaram coeficiente de determinação ajustado acima de 90% e erro padrão da estimativa abaixo de 12%, conforme descrito na Tabela 4.

$$v = \frac{\pi}{40000} \text{ dap}^2 \left[ \begin{aligned} & \frac{1}{11} \left( \frac{\beta_5^2 h^{11}}{h^{10}} \right) + \frac{1}{5} \left( \frac{\beta_4 \beta_5}{h^9} \right) + \frac{1}{9} \left( \frac{2\beta_5 \beta_3}{h^8} + \frac{\beta_4^2}{h^8} \right) h^9 + \\ & \frac{1}{8} \left( \frac{2\beta_3 \beta_4}{h^7} + \frac{2\beta_5 \beta_2}{h^7} \right) h^8 + \frac{1}{7} \left( \frac{2\beta_2 \beta_4}{h^6} + \frac{2\beta_5 \beta_1}{h^6} + \frac{\beta_3^2}{h^6} \right) h^7 + \\ & \frac{1}{6} \left( \frac{2\beta_1 \beta_4}{h^5} + \frac{2\beta_3 \beta_2}{h^5} + \frac{2\beta_5 \beta_0}{h^5} \right) h^6 + \frac{1}{5} \left( \frac{\beta_2^2}{h^4} + \frac{2\beta_4 \beta_0}{h^4} + \frac{2\beta_1 \beta_3}{h^4} \right) h^5 + \\ & \frac{1}{4} \left( \frac{2\beta_3 \beta_0}{h^3} + \frac{2\beta_1 \beta_2}{h^3} \right) h^4 + \frac{1}{3} \left( \frac{\beta_1^2}{h^2} + \frac{2\beta_2 \beta_0}{h^2} \right) h^3 + \frac{\beta_0 \beta_1 h^2}{h} + \beta_0 h \end{aligned} \right]$$

Em que:  $\beta_i$ : parâmetros das equações;  $v$ : volume individual, em  $\text{m}^3$ ;  $h$ : altura total, em m;  $\text{dap}$ : diâmetro à altura do peito, em cm.

Tabela 4. Parâmetros dos ajustes e estatísticas de precisão para estimativas volumétricas de *P. taeda*.

| Parâmetros | Idade    |            |            |          |
|------------|----------|------------|------------|----------|
|            | <10 anos | 10-20 anos | 20-30 anos | >30 anos |
| $\beta_0$  | 1,1313   | 1,0436     | 0,9108     | 0,8684   |
| $\beta_1$  | -1,0277  | -1,0887    | 0,0435     | 1,1080   |
| $\beta_2$  | 1,2034   | 2,3333     | -5,1049    | -7,9757  |
| $\beta_3$  | -4,2083  | -4,2810    | 13,5378    | 18,9491  |
| $\beta_4$  | 4,2494   | 2,1212     | -16,8284   | -21,2809 |
| $\beta_5$  | -1,2557  | -0,0676    | 7,1701     | 8,3966   |
| $R^2$ aj   | 0,96     | 0,96       | 0,95       | 0,97     |
| Sy.x%      | 11,38    | 8,13       | 7,53       | 7,27     |

Em que:  $\beta_i$ : parâmetros das equações;  $R^2$  aj: coeficiente de determinação ajustado; Sy.x%: erro padrão da estimativa volumétrica, em porcentagem.

A integração foi realizada usando a função *integrate* associada a função *mapply*, ambas implementadas no *software* R. Foram gerados gráficos em formato *boxplot* para a análise da estatística descritiva das variáveis altura total,  $\text{dap}$  e volume individual e gráficos de barras para a distribuição diamétrica utilizando o pacote *ggplot2*. Para avaliar as diferenças estatísticas foi aplicado Anova e teste de médias Scott Knott, por meio dos pacotes *agricolae* e *scottknott*. Para o gráfico de correlação foi utilizado o pacote *PerformanceAnalytics*. Os dados foram analisados no *software* estatístico R® (R CORE TEAM, 2019).

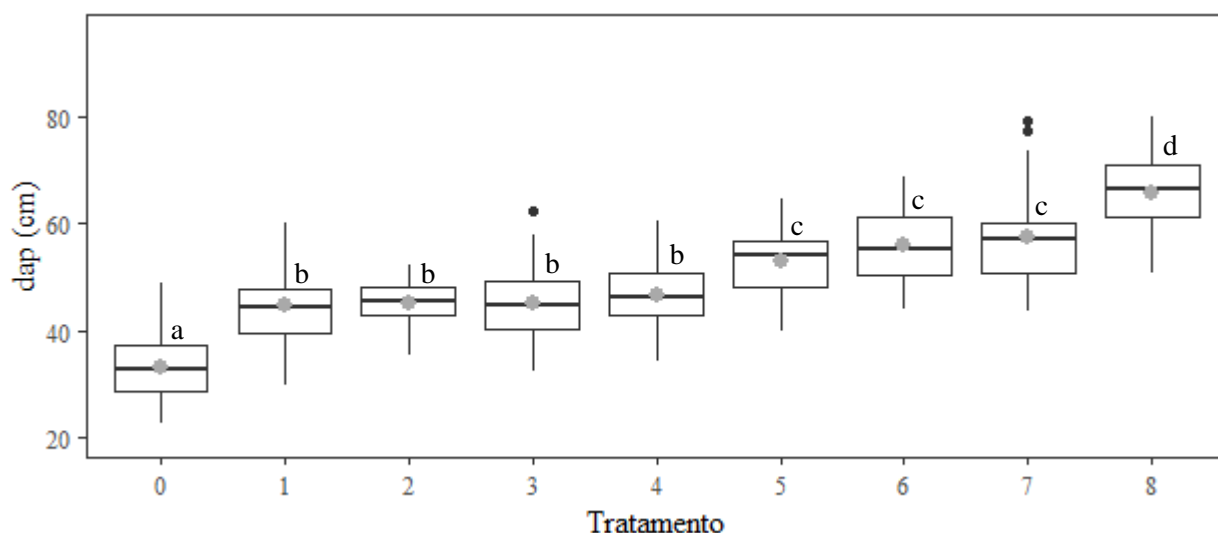
### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O espaço disponível para o crescimento das árvores ao longo dos anos foi fundamental para o crescimento diamétrico, sendo verificado diferenças significativas entre os tratamentos

para a variável diâmetro médio (Figura 4). Aqueles mais extremos, sem desbaste (T0) e desbaste extremo (T8), apresentaram diferença de 32,4 cm para esta variável.

Os tratamentos fraco (T1), fraco/médio (T2), médio (T3) e médio/médio (T4) foram semelhantes entre si, e apresentaram menos de 2 cm de diferenças, demonstrando que a remoção de uma ou duas árvores concorrentes para cada potencial na primeira intervenção não afetou significativamente esta variável. Porém, uma intervenção mais forte no início do plantio, como a realizada nos tratamentos médio/forte (T5), sistemático (T6) e forte (T7), gerou valores superiores quando comparados com os demais tratamentos, apresentando resultados inferiores apenas quando comparado ao desbaste extremo (T8).

Figura 4.Boxplot para a variável dap de *P. taeda* nos tratamentos avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.



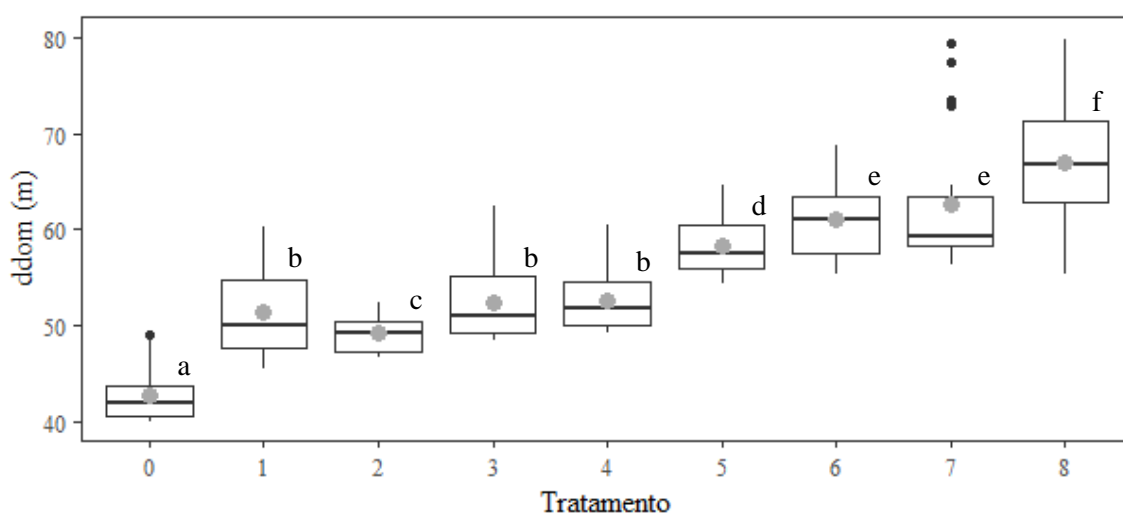
Em que: dap: diâmetro à altura do peito, em cm; T0: sem desbaste; T1: desbaste fraco; T2: desbaste fraco/médio; T3: desbaste médio; T4: desbaste médio/médio; T5: desbaste médio/forte; T6: desbaste sistemático; T7: desbaste forte; T8: desbaste extremo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Scott Knott a 95% de probabilidade. Círculo cinza nos boxplots representa a média de cada tratamento.

Para a variável  $d_{dom}$  foi verificado uma tendência semelhante ao observado para o diâmetro médio, em que tratamentos que sofreram desbastes mais fortes apresentaram resultados superiores aos do tratamento sem desbaste e com desbastes mais leves. A não aplicação de desbaste gerou diferenças significativas quando comparados aos demais, sendo verificado uma diferença de 24,3 cm para com o extremo (T8). Já para os tratamentos fraco

(T1), fraco/médio (T2) médio (T3) e médio/médio (T4) não apresentaram diferenças significativas entre si (Figura 5).

Ao comparar a aplicação do desbaste sistemático (T6) com os demais tratamentos foi possível verificar que apresentou resultados satisfatórios, sendo observado uma diferença de 5,9 cm quando comparado ao extremo (T8), e não demonstrando diferenças significativas com o tratamento forte (T7).

Figura 5. Boxplot para a variável diâmetro dominante de *P. taeda* aos 37 anos de idades nos tratamentos avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.



Em que:  $d_{dom}$ : diâmetro dominante, em cm; T0: sem desbaste; T1: desbaste fraco; T2: desbaste fraco/médio; T3: desbaste médio; T4: desbaste médio/médio; T5: desbaste médio/forte; T6: desbaste sistemático; T7: desbaste forte; T8: desbaste extremo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Scott Knott a 95% de probabilidade. Círculo cinza nos boxplots representam a média de cada tratamento.

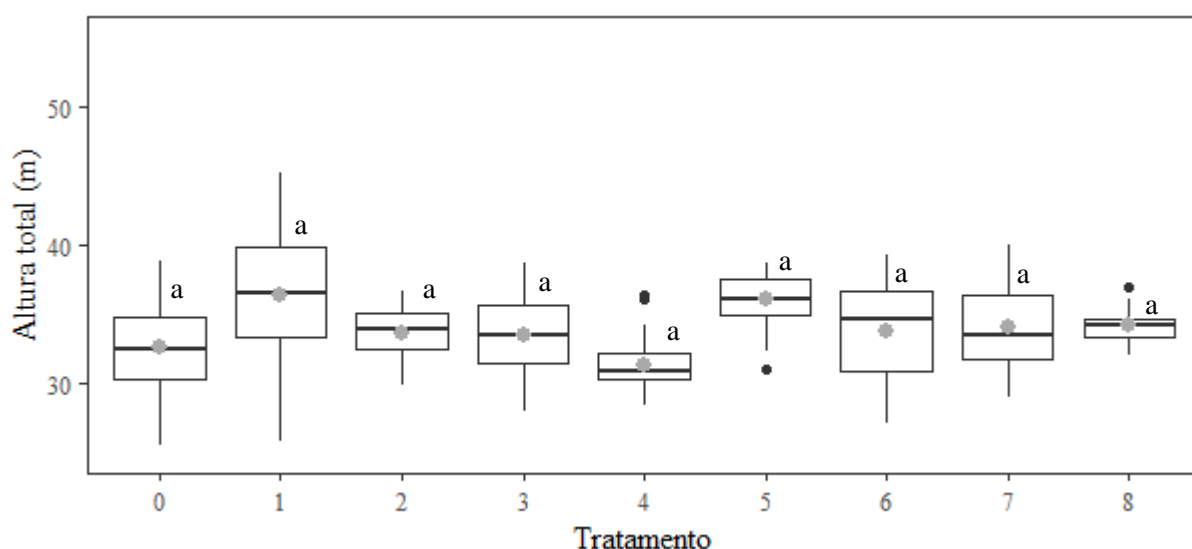
O crescimento em diâmetro foi proporcional à intensidade do desbaste aplicado, sendo verificado diferenças significativas entre os tratamentos, podendo estabelecer quatro grupos com diâmetros iguais estatisticamente. Com a remoção das árvores concorrentes, as remanescentes foram favorecidas pela diminuição da competição por espaço, nutrientes, água e luz.



Resultado semelhante ao do presente estudo foi obtido por Dobner Jr (2015) ao avaliar um povoamento de *P. taeda* aos 30 anos no Estado de Santa Catarina, em que o tratamento sem desbaste apresentou  $d_{dom}$  de 47,6 cm, tratamento com desbaste moderado 55,9 cm, desbaste pesado 57,8 cm e desbaste extremo 66,6 cm. Buford (1991) ao avaliar um plantio de *P. taeda* aos 30 anos na Carolina do Sul, verificou que a medida que aumenta o espaçamento do plantio ocorre o aumento do diâmetro médio, sendo encontrado diâmetro de até 28,6 cm para o espaçamento de 3,7 x 3,7 m. Além disto, a remoção de árvores favorecem os indivíduos remanescentes, fazendo com que ocorra um aumento no diâmetro médio (ASSMANN, 1970).

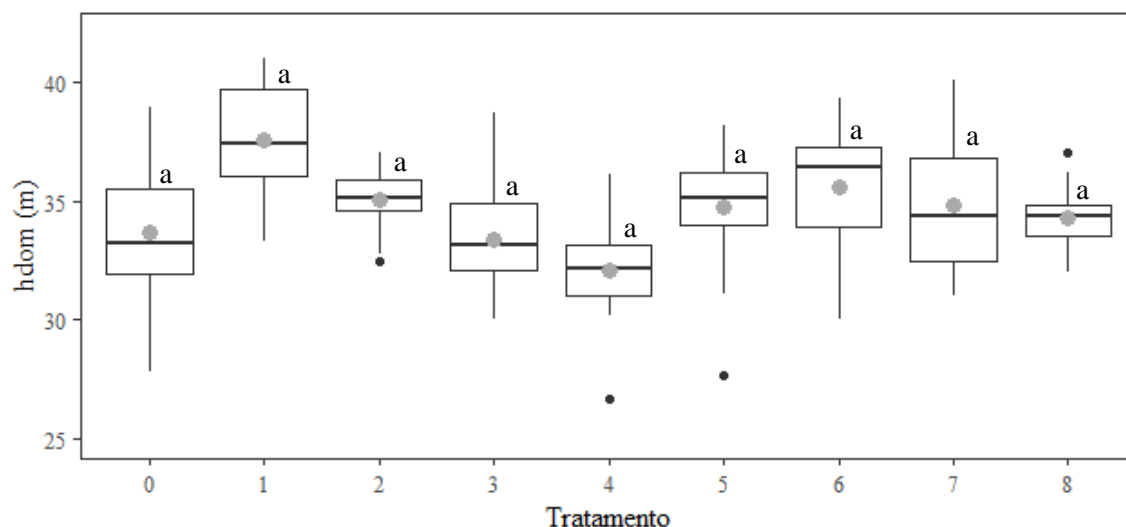
Para as variáveis altura total média e altura dominante, não foi observado diferenças significativas entre as diferentes intensidades de desbaste (Figura 6 e 7).

Figura 6. Boxplot para a variável altura total de *P. taeda* aos 37 anos de idade nos tratamentos avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.



Em que: T0: sem desbaste; T1: desbaste fraco; T2: desbaste fraco/médio; T3: desbaste médio; T4: desbaste médio/médio; T5: desbaste médio/forte; T6: desbaste sistemático; T7: desbaste forte; T8: desbaste extremo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Scott Knott a 95% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Scott Knott a 95% de probabilidade. Círculo cinza nos boxplots representam a média de cada tratamento.

Figura 7. Boxplot para a variável altura dominante ( $h_{dom}$ ) de *P. taeda* aos 37 anos de idade nos tratamentos avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.



Em que:  $h_{dom}$ : altura dominante, em m; T0: sem desbaste; T1: desbaste fraco; T2: desbaste fraco/médio; T3: desbaste médio; T4: desbaste médio/médio; T5: desbaste médio/forte; T6: desbaste sistemático; T7: desbaste forte; T8: desbaste extremo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Scott Knott a 95% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Scott Knott a 95% de probabilidade. Círculo cinza nos boxplots representam a média de cada tratamento.

Apesar de não haver diferenças significativas entre os tratamentos avaliados, a maior diferença entre as alturas médias totais foi de 6,2 m e para  $h_{dom}$  foi de 4,2 m entre as árvores submetidas a desbaste médio/médio (T4) e desbaste fraco (T1), ou seja, os tratamentos silviculturais exerceram pouca influência sobre esta variável. De maneira geral, conforme relatado por Zhang et al. (1996) a densidade do povoamento exerce influência significativa apenas no diâmetro e pouca influência na altura das árvores, fato observado neste estudo.

Para um plantio de *P. taeda* com densidade inicial de 730 árvores  $ha^{-1}$  Buford (1991) observou que as alturas totais médias e dominantes foram de 21,3 m e 22,9 m respectivamente, enquanto que em um povoamento de 25 anos localizado no sul dos Estados Unidos, foi verificado altura média variando entre 12 a 24 m (DIEGUEZ-ARANDA; BURKHART; AMATEIS 2006). É importante ressaltar que a diferença dos resultados obtidos pelos autores quando comparados ao deste estudo estar associada a idade do povoamento, uma vez que existe uma carência de informações das variáveis dendrométricas para povoamentos com mais de 25 anos.

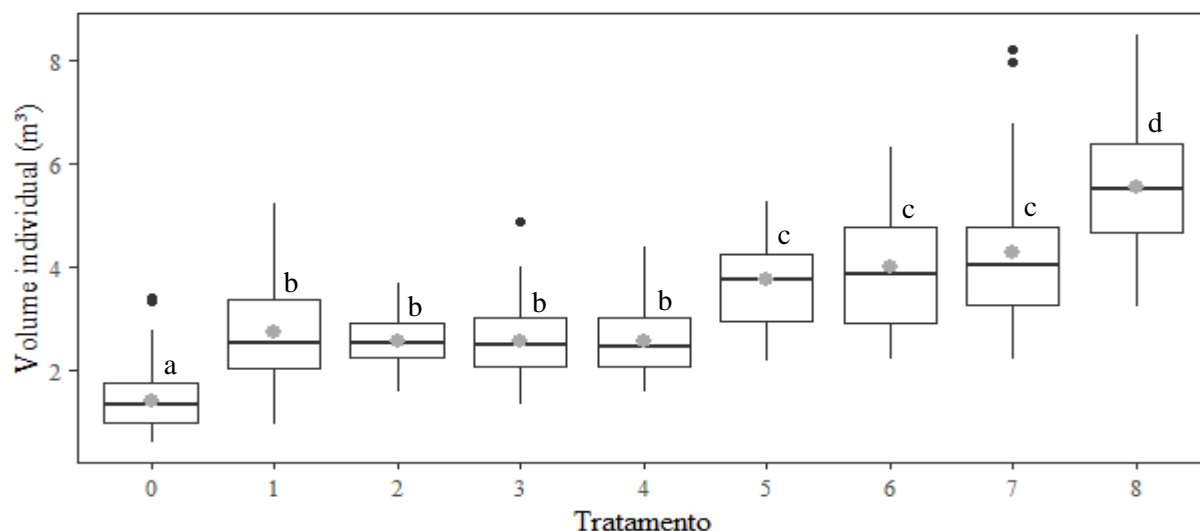
A variável  $h_{dom}$  apresentou resultados semelhantes entre todos os tratamentos, não sendo afetada pelos desbastes, uma vez que esta variável é um indicador da capacidade produtiva do local é independente da densidade do povoamento ou do peso do desbaste aplicado (SCHNEIDER; FINGER, 1993; CAMPOS; LEITE, 2017). Este resultado vem confirmar a teoria de que o peso dos desbastes não produz efeitos significativos sobre esta variável, sendo a mesma influenciada de forma significativa apenas pela mudança do sítio (ELESBÃO; SCHNEIDER, 2011).

Na variável volume individual, foi notável a influência dos desbastes, sendo que o povoamento que não recebeu nenhuma intervenção (T0) apresentou volume médio de 1,4 m<sup>3</sup>, enquanto que o tratamento mais extremo (T8) apresentou diâmetro médio quatro vezes maior, volume médio individual de 5,50 m<sup>3</sup>. Enquanto os tratamentos mais leves (T1, T2, T3 e T4) e médio à forte (T5, T6 e T7) mostraram volumes médios duas e três vezes maiores quando comparados ao não desbastado (T0).

Os nove tratamentos puderam ser classificados em quatro grupos conforme demonstrado na Figura 8. O primeiro grupo é formado pelo povoamento não desbastado, o mesmo apresentou o menor volume médio quando comparados aos demais. Diferentemente do observado para o  $v \text{ ha}^{-1}$ , isto ocorre devido à presença de um grande número de árvore de pequeno diâmetro. O tratamento fraco (T1), fraco/médio (T2), médio (T3) e médio/médio (T4) compõem o segundo grupo e não apresentam diferenças significativas entre si. Os volumes médios individuais tratamentos apresentaram diferença de aproximadamente 0,19 m<sup>3</sup>.

Intervenções mais fortes influenciaram de forma significativa nos povoamentos, sendo os tratamentos médio/forte (T5), sistemático (T6) e forte (T7) estatisticamente semelhantes. Esses povoamentos apresentaram resultados superiores aos dos demais, e inferior apenas quando comparado ao extremo (T8).

Figura 8. Boxplot para a variável volume individual de *P. taeda* aos 37 anos nos tratamentos avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.



Em que: T0: sem desbaste; T1: desbaste fraco; T2: desbaste fraco/médio; T3: desbaste médio; T4: desbaste médio/médio; T5: desbaste médio/forte; T6: desbaste sistemático; T7: desbaste forte; T8: desbaste extremo. Em que: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Scott Knott a 95% de probabilidade. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Scott Knott a 95% de probabilidade. Círculo cinza nos boxplots representam a média de cada tratamento.

A área basal apresentou diferença significativa entre os tratamentos, sendo divididos em quatro grupos, assim como observado no volume individual. O primeiro grupo foi formado pelo povoamento sem desbaste, com área basal de  $72,7 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ , resultado estatisticamente superior aos obtidos nos demais tratamentos. O segundo grupo foi formado pelos povoamentos que receberam desbaste fraco (T1), fraco/médio (T2), médio (T3) e médio/médio (T4), que não apresentaram diferenças significativas entre si. Enquanto os tratamentos médio/forte, sistemático e forte compõem o terceiro grupo com resultados estatisticamente semelhantes (Tabela 5).

No desbaste extremo (T8), a área basal aos 37 anos foi de  $37,8 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ , inferior ao obtido nos demais tratamentos. Porém, é importante ressaltar que existem apenas  $110 \text{ árvores ha}^{-1}$  (Tabela 5) neste povoamento e foram capazes de apresentar metade do valor da área basal alcançada pelo não desbastado (T0 com  $810 \text{ árv ha}^{-1}$ ), sendo observado a grande capacidade das árvores de *Pinus* em ocupar o espaço, quando liberado de competição.

Diversos trabalhos vêm demonstrando ao longo do tempo que quanto maior a intensidade do desbaste aplicado no povoamento, menor a área basal e volume em pé obtidos,

porém, são encontradas árvores com maiores diâmetros e volumes individuais (SANQUETA et al., 2004; FLACH, 2007; INOUE et al., 2011; FORRESTER; BERTRAM; MURPHY, 2012; NOGUEIRA et al., 2015).

Os volumes das árvores em pé variaram entre 1.160,2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T0) a 622,2 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T8), estando essa variação relacionado a diretamente intensidade de desbaste aplicado em cada tratamento. Esses apresentaram diferenças significativas entre si, e assim como observado para as outras variáveis analisadas, os volumes podem ser distribuídos em quatro grupos.

Diferentemente do volume em pé, não foram observadas diferenças significativa entre os volumes acumulados dos povoamentos submetidos as diferentes intensidades de desbastes, conforme são demonstrados na Tabela 5. O volume acumulado é resultante do volume em pé aos 37 anos mais os volumes dos desbastes (idades de 4, 7, 10, 13, 18 e 29 anos).

Em relação ao número de árvores ha<sup>-1</sup> todos os tratamentos iniciaram com média de 2.400 árvores ha<sup>-1</sup>, porém o tratamento não desbastado chegou aos 37 anos com 810 árvores ha<sup>-1</sup>, menos de um terço da densidade inicial, resultado unicamente da mortalidade natural das árvores. Para os tratamentos com desbastes. Apesar das diferenças da intensidade de desbaste da primeira intervenção e do número de intervenções realizadas ao longo dos anos, os tratamentos que sofreram intervenções leves (T1 e T2) e médio (T3, T4 e T5), apresentaram número de árvores ha<sup>-1</sup> aos 37 anos iguais estatisticamente, sendo que os tratamentos com intervenção média apresentaram 315 árvores ha<sup>-1</sup> e os tratamentos fraco (T1) e fraco/médio (T2) 260 árvores ha<sup>-1</sup>.

A aplicação de desbaste sistemático (T6) e forte (T7) geraram resultados semelhantes entre si e diferente estatisticamente dos demais, com número de árvores ha<sup>-1</sup> variando entre 190 e 170, respectivamente (Tabela 5). O tratamento extremo diferenciou estatisticamente dos demais, com 110 árv ha<sup>-1</sup>, a baixa densidade de árvores foi devido a remoção de todas as árvores concorrentes na primeira intervenção, e sempre que detectado concorrência houve intervenções mais leves nestas parcelas.

Tabela 5. Síntese dos resultados para as variáveis analisadas por ha<sup>-1</sup> de *P. taeda*, no município de Campo Belo do Sul, Estado de Santa Catarina.

| Tratamento        | N<br>(árv ha <sup>-1</sup> ) | G<br>(m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ) | Volume removido (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) |      |      |       |       |       | V<br>(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) | V ac<br>(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) |
|-------------------|------------------------------|---|--|------|------|-------|-------|-------|---|--|
|                   |                              |   | 4  | 7    | 10   | 13    | 18    | 29    |   |  |
| Sem desbaste (T0) | 810a                         | 72,7a                                   | -  | -    | -    | -     | -     | -     | 1.160,2a                                | 1.160,2a                                   |
| Fraco (T1)        | 260b                         | 41,9b                                   | 7,2  | -    | 53,1 | 106,4 | 151,5 | 140,6 | 628,1b                                  | 1.086,8a                                   |
| Fraco/médio (T2)  | 260b                         | 42,0b                                   | 8,7  | 33,2 | 50,5 | 104,0 | 115,6 | 139,9 | 700,0b                                  | 1.151,8a                                   |
| Médio (T3)        | 315b                         | 51,6b                                   | 15,4   | -    | 59,4 | 132,6 | 99,3  | 123,1 | 830,1b                                  | 1.259,9a                                   |

| Tratamento       | N<br>(árvores ha <sup>-1</sup> ) | G<br>(m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup> ) | Volume removido (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) |      |      |       |      |       | V<br>(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) | V ac<br>(m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> ) |
|------------------|----------------------------------|---|--|------|------|-------|------|-------|---|--|
|                  |                                  |   | 4  | 7    | 10   | 13    | 18   | 29    |   |  |
| Médio/médio (T4) | 255b                             | 44,3b                                   | 13,1   | 35,2 | 51,4 | 112,7 | 43,5 | 120,8 | 653,4b                                  | 1.030,1a                                   |
| Médio/forte (T5) | 230b                             | 51,2c                                   | 16,8   | 73,7 | 34,3 | 107,1 | -    | 173,9 | 867,0c                                  | 1.272,8a                                   |
| Sistemático (T6) | 190c                             | 47,3c                                   | 18,4   | 37,3 | 98,6 | 35,8  | -    | 133,3 | 762,9c                                  | 1.086,3a                                   |
| Forte (T7)       | 170c                             | 45,1c                                   | 30,5   | 37,6 | 58,5 | 118,1 | -    | 126,2 | 750,2c                                  | 1.121,1a                                   |
| Extremo (T8)     | 110d                             | 37,8d                                   | 38,0   | -    | 79,1 | 58    | -    | 69,9  | 622,2d                                  | 867,2a                                     |

Em que: N: número de árvores ha<sup>-1</sup>; G: área basal, em m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup>; V: volume em pé, m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>; V ac: volume acumulado, m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, de acordo com o teste de Scott Knott a 95% de probabilidade.

Apesar das diferentes intensidades de desbastes aplicados ao longo dos anos, todos os tratamentos apresentaram volume acumulado acima de 1.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, com exceção do extremo (T8). Esse tratamento apresentou volume acumulado 25% inferior quando comparado ao não desbastado (T0). A aplicação de desbastes mais fracos e moderados apresentaram volume total semelhante ao do não desbastado.

A aplicação de desbaste mais pesados produzem volumes totais semelhantes aos obtidos em povoamentos submetidos a desbastes leves, mas com árvores de maiores dimensões, devido ao maior crescimento diamétrico (ASSMANN, 1970; MOULIN et al., 2017). Resultados semelhantes ao do presente estudo foram obtidos por David et al. (2017) e Sanquetta et al. (2004) ao avaliarem plantios de *P. taeda*. Os autores verificaram que povoamentos mais adensados apresentaram menor volume individual e maior valor de área basal. A relação existente entre o volume total com a intensidade desbaste aplicado no povoamento, não representam problemas para empresas que trabalham com madeira de grande porte, uma vez que o interesse das empresas são produtos de maior valor agregado e não o máximo volume por área.

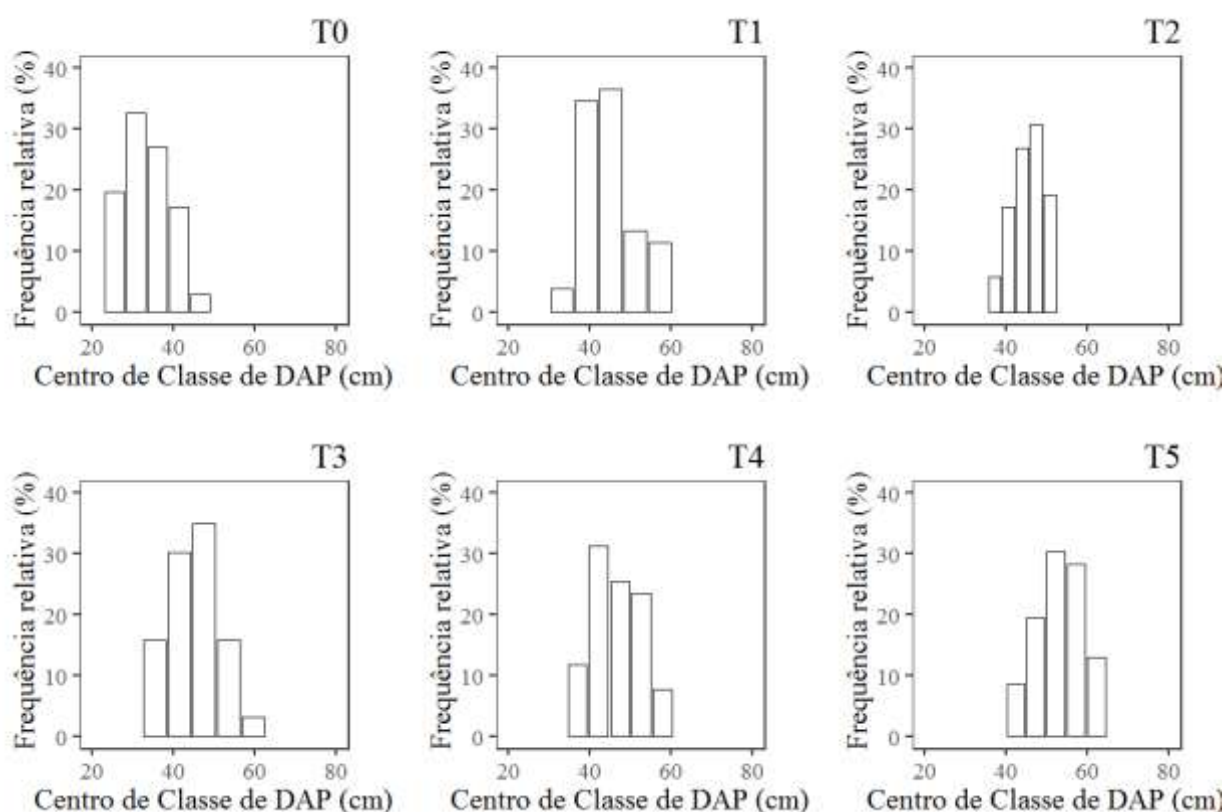
O crescimento diamétrico é diretamente proporcional ao peso do desbaste aplicado no povoamento e, para verificar esse efeito, foi analisado o agrupamento dos dados em classes diamétricas no aspecto global da distribuição e a frequência em que dos dados agrupados (SCHNEIDER et al., 1998). A porcentagem de indivíduos por classe de diâmetro por tratamento está representada na Figura 9. As parcelas tenderam a apresentar distribuição normal, apenas o povoamento que recebeu desbaste sistemático apresentou distribuição diamétrica bimodal, apresentando concentração de árvores nas classes de 51,5 e 61,4 cm.

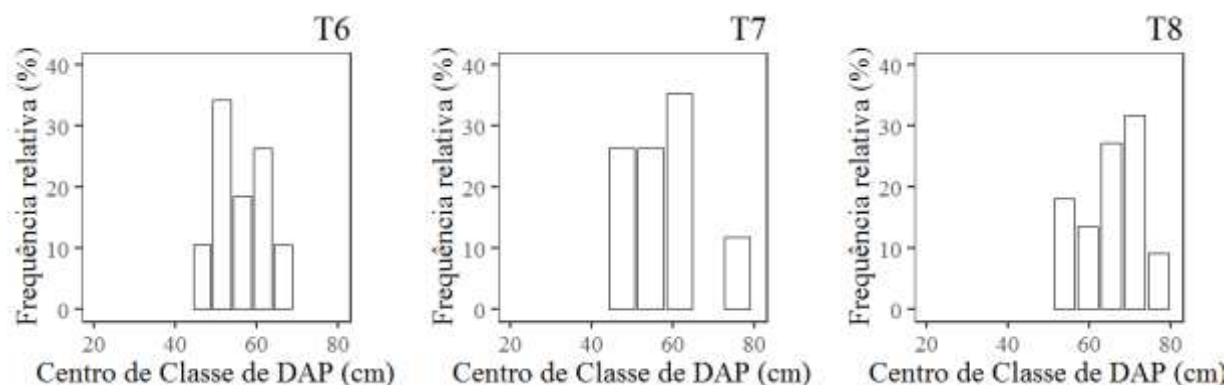
Na distribuição diamétrica foi possível visualizar a evolução das classes para cada tratamento. A maior concentração de árvores no tratamento não desbastado ocorre na classe de

30,7 cm, enquanto nos tratamentos fraco, fraco/médio, médio e médio/médio as árvores concentram-se em classes diamétricas variando entre 42,1 a 47,4 cm. Nos tratamentos médio/forte e sistemático as árvores concentraram-se na classe de 52 cm. No tratamento forte o maior número de árvores ocorreu na classe de 61,6 cm, enquanto que a aplicação de uma intervenção mais extrema como a que ocorreu no T8, favoreceu o crescimento das árvores remanescentes, fazendo com que a ocorrência do maior número de árvores fosse na classe de 71,1 cm.

O povoamento sem desbaste (T0) apresentou as menores classes diamétricas devido à estagnação do crescimento diamétrico ocorrer mais cedo nesses povoamentos, onde ocorre elevada competição por nutrientes, água, luz e espaço (LEITE; NOGUEIRA; MOREIRA, 2006; SILVA et al., 2016).

Figura 9. Distribuição diamétrica para os indivíduos de *P. taeda* aos 37 anos nos tratamentos avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.





Em que: T0: sem desbaste; T1: desbaste fraco; T2: desbaste fraco/médio; T3: desbaste médio; T4: desbaste médio/médio; T5: desbaste médio/forte; T6: desbaste sistemático; T7: desbaste forte; T8: desbaste extremo.

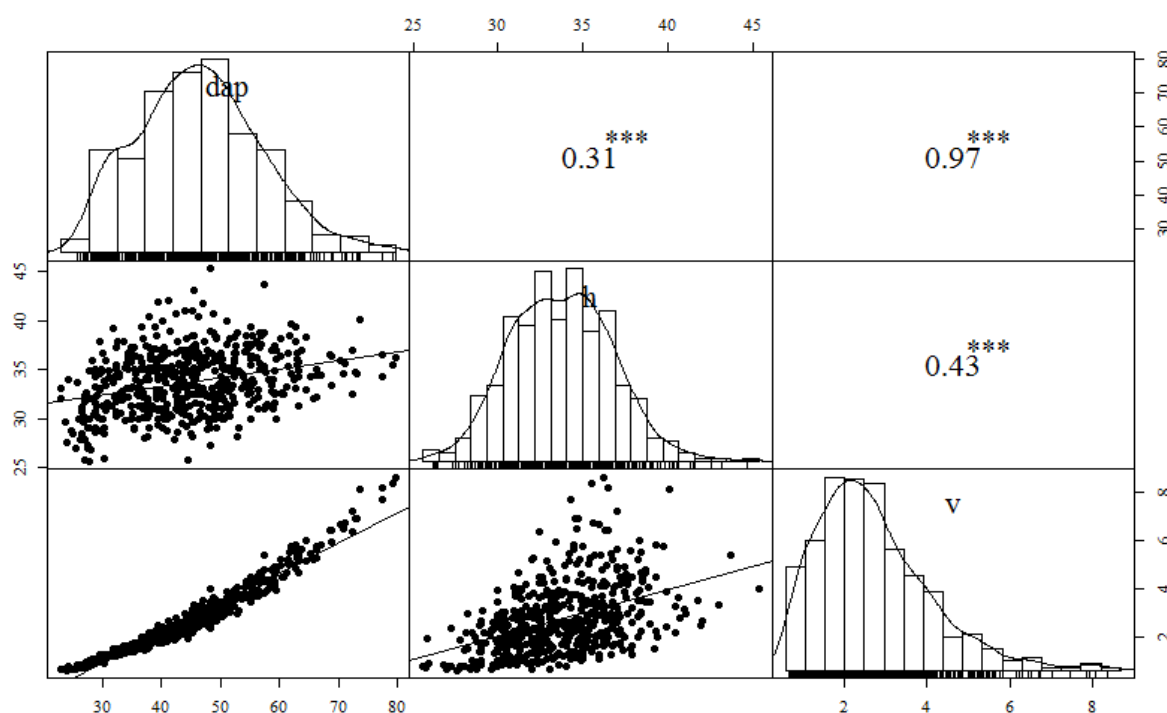
Resultado similar foi obtido por Leite, Nogueira e Moreira (2006) ao avaliarem o efeito do espaçamento e da idade sobre os povoamentos de *P. taeda*, no planalto serrano de Santa Catarina. Os autores verificaram a estagnação do crescimento diamétrico mais cedo nos menores espaçamentos, além disto, foi observado que em espaçamentos mais amplos, o maior número de indivíduos pertence às maiores classes de diâmetro.

Na Figura 10 estão os valores da correlação entre as variáveis dendrométricas para todos os indivíduos do povoamento. Foi possível observar que os volumes totais se correlacionaram fortemente e significativamente com o dap, ao contrário da correlação da variável h com o dap (0,31), resultado esperado uma vez que árvores com diâmetros diferentes apresentam alturas semelhantes. Segundo Drescher (2004) a baixa correlação entre as variáveis altura e diâmetro pode estar associada a heterogeneidade na população, uma vez que as intervenções realizadas na população exerceram influência direta na variável dap, fazendo com que árvores com altura semelhantes apresentem diâmetros diferentes.

O gráfico de dispersão das variáveis presente na Figura 10, demonstra a forte correlação existente entre o volume e dap, em que a dispersão dos dados estão bem próximos a linha de tendência. Enquanto a dispersão das variáveis dap x h e v x h, os dados estão mais dispersos, longe da linha de tendência confirmando a baixa correlação entre essas variáveis.

Figura 10. Correlação entre as variáveis dap, h e v, de todos tratamentos, do povoamento de *P. taeda* aos 37 anos, no município de Campo Belo do Sul, SC.





Em que: \*\*\* variáveis correlacionadas significativamente, de acordo com a correlação de Pearson a 95% de probabilidade.

### 3.4 CONCLUSÃO

As variáveis dendrométricas do povoamento sofreram influências significativas dos desbastes, exceto as variáveis altura média, altura dominante e volume acumulado que não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos avaliados. Foi observado que a não aplicação de desbastes resultou em área basal e volume total superior nos povoamentos desbastados. Entretanto, quando considerada a produção volumétrica acumulada, incluindo o volume colhido nos desbastes, todos os tratamentos apresentaram valores semelhantes.

Em relação aos diâmetros e alturas dominantes, os desbastes influenciaram apenas os resultados dos diâmetros, sendo verificado que a não aplicação de desbastes apresentou os menores resultados. Para a altura dominante todos os tratamentos apresentaram resultados iguais estatisticamente.

### 3.5 REFERÊNCIAS

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, K. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

- ASSMANN, E. Structure, increment and yield of stands in relation to silvicultural treatment. *The Principles of Forest Yield Study*, p. 207–433, 1970.
- BUFORD, M.A. Performance of four yield models for predicting stand dynamics of a 30-year-old loblolly pine (*Pinus taeda* L.) spacing study. *Forest Ecology and Management*, v. 46, p. 23-38, 1991.
- CAMPOS, J.C.C.; LEITE, H.G. Mensuração florestal: Perguntas e respostas. 5º ed. Atual. E ampl. UFV. Viçosa, MG. 2017.
- DAVID, H.C.; PÉLLICO NETTO, S.; ARCE, J.E.; CORTE, A.P.D.; MARINHESKI FILHO, A.; ARAÚJO, E.J.G. Efeito da qualidade do sítio e do desbaste na produção de *Pinus*. *Floresta e Ambiente*, v. 24, p. 11, 2017.
- DIEGUEZ-ARANDA, U.; BURKHART, H.E.; AMATEIS, R.L. Dynamic site model for Loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations in the United States. *Forest Science*, v. 52, n. 3, p. 262-272, 2006.
- DOBNER JUNIOR, M. Impacto do manejo de povoamentos na produtividade e qualidade da madeira de *Pinus taeda*. 2015, 330f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Paraná.
- DRESCHER, R. Crescimento e produção de *Tectona grandis* Linn F., em povoamentos jovens de duas regiões do estado de Mato Grosso – Brasil. 2004, 133f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, RS.
- ELESBÃO, L.E.G.; SCHNEIDER, P.R. Produção do *Pinus taeda* L. em povoamentos desbastado na região dos Campos de cima da serra, Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 119 – 124, 2011.
- FLACH, F.D. Crescimento juvenil da regeneração espontânea de *Pinus elliottii* Eng. Var. *elliottii* sob níveis de desbaste, no litoral norte do Rio Grande do Sul. 2007, 66f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- FORRESTER, D.I.; BERTRAM, C.A.; MURPHY, S. Impact of competition from coppicing stumps on the growth of retained trees differs in thinned *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus tricarpa* plantations in southeastern Australia. *Canadian Journal of Forest Research*, v. 42, n. 5, p. 841-848, 2012.
- FORMENTO, S.; SCHORN, L.A.; RAMOS, R.A.B. Dinâmica estrutural arbórea de uma floresta Ombrófila Mista em Campo Belo do Sul, SC. *Cerne*, Lavras, v. 10, n. 2, p. 196-212, jul./dez., 2004.
- GOMES, F.S.; MAESTRE, R.; SANQUETTA, C.R. Avaliação da produção em volume total e sortimentos em povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes condições de espaçamento inicial e sítio. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 101-126, 1997.
- GUEDES, S.F.F. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais no Planalto dos Campos Gerais, SC. 2005, 58f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. Série manuais técnicos em geociências, n. 1. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

INOUE, M.T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; LIMA, R. Influência do espaço vital de crescimento na altura e diâmetro de *Pinus taeda* L. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 377-385, 2011.

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, 2006.

MAFRA, A.L.; GUEDES, S.F.F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J.C.P.; ALMEIDA, J.A.; ROSA, J.D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. Revista Árvore, Viçosa-MG, v. 32, n. 2, p. 217-224, 2008.

MOULIN, J.C.; ARANTES, M.D.C.; OLIVEIRA, J.G.L.; CAMPINHOS, E.; GOMES, F.; VIDAURRE, G.B. Efeito do espaçamento, idade e irrigação no volume e densidade básica do Eucalipto. Floresta e Ambiente, v. 24, n. 13, p. 10, 2017.

NOGUEIRA, G.S.; MARSHALL, P.L.; LEITE, H.G.; CAMPOS, J.C.C. Thinning Intensity and Pruning Impacts on *Eucalyptus* Plantations in Brazil. International Journal of Forestry Research, p. 10, 2015.

OLIVEIRA, T.M.; MADI, J.P.S.; CERQUEIRA, C.L.; MILLIKAN, P.H.K.; CARVALHO, M.P.L.C.; CARVALHO, S.P.C. Relações morfométricas para árvores de *Tectona grandis*. Advances in Forestry Science, Cuiabá, v. 5, n. 4, p. 461-465, 2018.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D.A. Inventário florestal. Curitiba: Universidade Federal do Paraná - Universidade Federal de Santa Maria, 1997. 316 p.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

SANQUETTA, C.R.; REZENDE, A.V.; GAIAD, D.; SCHAFF, L.B.; ZAMPIER, A.C. Produção de madeira para laminação em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos a diferentes densidades e regimes de desbaste: uma abordagem experimental. Revista Floresta, v. 28, n. 1, p. 83-89, 2004.

SCHEEREN, L.W.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Crescimento e produção de povoamentos monoclonais de *Eucalyptus saligna* Smith manejados com desbaste, na região sudeste do estado do Rio Grande do Sul. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 14, n. 2, p. 111-112, 2004.

SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Influência da intensidade do desbaste sobre o crescimento em altura de *Pinus elliottii* E. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 171-184, 1993.

SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G. Determinação de regimes de desbaste para povoamento de *Pinus elliottii* E. do planalto Ocidental no Estado de Santa Catarina. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 4, n.1, p. 43-59, 1994.

SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; HOPPE, J.M.; DRESCHER, R.; SCHEEREN, L.W.; MAINARDI, G.; FLEIG, F.D. Produção de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em diferentes intensidades de desbaste. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 129-140, 1998.

SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A.G.; HOPPE, J.M. Efeito da intensidade da desrama na produção de *Pinus elliottii* Engelm implantado em solo pobre, no estado do Rio Grande do Sul. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 9, n. 1, p. 35-46, 1999.

SCOLFORO, J.R.S.; MACHADO, S.A. Um sistema de crescimento e produção com simulador de desbaste. *Scientia Forestalis*, n. 50, p. 51-64, 1996.

SEBRAE. Santa Catarina em números: Campo Belo do Sul. Florianópolis: Sebrae, SC, 2010, 144p.

SILVA, R.S.; VENDRUSCOLO, D.G.S.; ROCHA, J.R.M.; CHAVES, A.G.S.; SOUZA, H.S.; MOTTA, A.S. Desempenho silvicultural de *Tectona grandis* L.f. em diferentes espaçamentos em cárceres, MT. *Floresta e Ambiente*, v. 23, n. 3, p. 397-405, 2016.

SOUZA, J.T.; FIORENTIN, L.D. Crescimento de variáveis dendrométricas de *Pinus* spp. na região de Nova Araçá, RS. *Unoesc & ciência – ACET Joaçaba*, Edição especial, p. 23-28, 2015.

VIBRANS, A.C.; SEVEGNANI, L.; GASPER, A.L.; LINGNER, D.V. Inventário Florístico Florestal de Santa Catarina. Volume III: Floresta Ombrófila Mista. Blumenau, Edifurb, 2013, 448p.

WEBER, V.P.; FINGER, C.A.G.; FLEIG, F.D.; SOUZA, C.A.M.; MUNARETO, F.F.; SILVA, L.T.M. Diretrizes para desbaste de *Pinus taeda* L. em função da altura dominante. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 193-201, 2013.

ZHANG, S. Y.; SIMPSON, D.; MORGENSTERN, E. K. Variation in the relationship of wood density with growth in 40 black spruce (*Picea mariana*) families grown in New Brunswick. *Wood and Fiber Science*, Madison, v. 28, n. 1, p. 91-99, jan. 1996.

## CAPÍTULO II

### MORFOMETRIA DE *Pinus taeda* L. SUBMETIDOS A DIFERENTES INTENSIDADES DE DESBASTES

#### RESUMO

O objetivo foi avaliar as características morfométricas e modelar os principais índices morfométricos de um povoamento de *P. taeda*, submetido a diferentes regimes de desbastes. Foram coletadas informações de circunferência a altura do peito (cap), altura total (h) e altura de inserção de copa (hic) e raios de copa (N-S, L-O) de 252 árvores pertencentes a nove tratamentos (T0: sem desbaste, T1: desbaste fraco, T2: fraco/médio, T3: médio, T4: médio/médio, T5: médio/forte T6: sistemático, T7: forte, T8: extremo). Posteriormente, foram calculados os índices morfométricos de diâmetro de copa (dc), área de copa (ac), comprimento de copa (cc), proporção de copa (pc), grau de esbeltez (ge), índice de saliência (is), índice de abrangência (ia) e formal de copa (fc). Para a modelagem dos índices morfométricos foram ajustados oito modelos matemáticos para estimar a variável dc, e para os demais índices foi realizado a modelagem pelo método *Stepwise*. Os critérios de seleção da melhor equação foram o  $R^2_{aj}$ ,  $Sy.x\%$ , significância dos coeficientes e análise gráfica dos resíduos. Foi realizado a correlação entre os índices morfométricos por Pearson a 95% de probabilidade. De maneira geral as aplicações dos desbastes favoreceram o crescimento da copa das árvores com crescimento gradativo à medida que se intensificava o desbaste, sendo que o extremo apresentou ac média quatro vezes maior que os demais, influenciando também diretamente no dap médio e nos índices de diâmetro de copa e grau de esbeltez. O ia não foi influenciado pelos desbastes, sendo visualizada diferença numérica apenas para o extremo, com ia duas vezes maior ao obtidos no sem desbaste, fracos, médios e forte. As equações deste estudo podem ser utilizadas para estimar as variáveis de grau de esbeltez, índice de abrangência e formal de copa. Apesar da seleção de equações para todos os tratamentos, é indicado cautela na sua utilização, principalmente nos tratamentos que apresentam baixos resultados de  $R^2_{aj}$  e altos  $Sy.x$ .

Palavras-chave: Índices morfométricos; Modelagem; Variáveis de copa.

## ABSTRACT

The objective of this second chapter was to evaluate the morphometric characteristics and model the main morphometric indices of a population of *P. taeda*, submitted to different thinning regimes. Information on circumference at breast height (cap), total height (h) and crown insertion height (hic) and crown radius (NS, LO) were collected from 252 trees belonging to nine treatments (T0: no thinning, T1: weak thinning, T2: weak / medium, T3: medium, T4: medium / medium, T5: medium / strong T6: systematic, T7: strong, T8: extreme). Subsequently, the morphometric indices of crown diameter (dc), crown length (cc), crown proportion (pc), degree of slimness (ge), salience index (s), coverage index (ia) and formal crown (fc). For the modeling of the morphometric indices, eight mathematical models were adjusted to estimate the dc variable, and for the other indices, modeling by the *Stepwise* method was performed. The selection criteria for the best equation were  $R^2_{aj}$ ,  $Sy.x\%$ , significance of the coefficients and graphical analysis of the residuals. Pearson's morphometric indices were correlated at 95% probability. In general, the thinning applications favored the growth of the canopy of trees with gradual growth as the thinning intensified, with the extreme showing an average C four times higher than the others, also directly influencing the mean dap and the diameter indexes of crown and degree of slimness. The ia was not influenced by thinning, with a numerical difference being seen only for the extreme, with ia twice as high as that obtained in no thinning, weak, medium and strong. The equations in this study can be used to estimate the variables of degree of slimness, coverage index and formal crown. Despite the selection of equations for all treatments, caution is indicated in their use, especially in treatments with low  $R^2_{aj}$  results and high  $Sy.x$ .

Keywords: Morphometric indices; Modeling; Cup variables.

## 4.1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos houve um aumento na demanda por matéria prima de qualidade para o abastecimento da indústria madeireira, fazendo com que houvesse uma valorização das florestas bem manejadas, além de buscar técnicas para o aumento de produtividade dos povoamentos, visando agregar valor à madeira. Dentre as práticas silviculturais, os desbastes e espaçamentos exercem efeitos importantes na qualidade da madeira (PEREIRA; TOMASELLI, 2004; WEBER et al., 2013; KOHLER et al., 2015).

Os desbastes diminuem a competição por luz, água e nutrientes entre os indivíduos remanescentes, proporcionam mais espaço para a expansão da copa e, consequentemente do diâmetro dos indivíduos remanescentes dependendo da sua intensidade (DIONÍSIO et al.,

2018). O espaço disponível para o desenvolvimento da planta influencia diretamente nas suas características morfométricas, pois em espaçamentos menos adensados os indivíduos podem apresentar grande área de copa, devido à baixa competição por espaço (LEITE et al., 2006).

O estudo da morfometria permite analisar as relações interdimensionais, reconstituir o espaço ocupado por cada árvore, julgar a concorrência a que está submetida, além de permitir realizar inferências sobre a estabilidade, vitalidade e produtividade de cada indivíduo. (DURLO; DENARDI, 1998; DURLO, 2001). Os índices morfométricos são calculados a partir de variáveis coletadas em campo e determinam o grau de concorrência do povoamento (KLEIN, 2017; DIONISIO et al., 2018).

Os principais índices morfométricos analisados na literatura são o comprimento de copa que é obtido através da diferença entre a altura total e a altura comercial; o grau de esbeltez corresponde ao grau de estabilidade da árvore; a área de projeção de copa é a superfície coberta por sua projeção vertical e que permite conhecer o espaço ocupado pela árvore; o índice de saliência é obtido através da relação do diâmetro de copa e dap; o formal de copa é a relação entre o diâmetro de copa e a altura da mesma e explica a produtividade da árvore e; a porcentagem de copa é um indicador de vitalidade, pois quanto maior, mais produtiva e vital é o indivíduo (DURLO; DENARDI, 1998; DURLO, 2001; DURLO, 2004; TONINI; ARCOVERDE; 2005; COSTA, 2011; OLIVEIRA et al., 2018).

Os índices morfométricos podem auxiliar o manejador a tomar decisões a respeito da competição entre os indivíduos, podendo prever o espaçamento ideal para a espécie e a idade ideal para a realização de desbastes e demais tratamentos silviculturais (OLIVEIRA et al., 2018). Considerando o exposto, o objetivo deste capítulo foi avaliar as características morfométricas e modelar os principais índices morfométricos de um povoamento de *P. taeda*, submetido a diferentes regimes de desbastes.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo e a descrição do experimento estão descritos no capítulo 1.

### 4.2.2 COLETA DE DADOS

Para este trabalho foram selecionadas 252 árvores-amostras, pertencentes à nove tratamentos, conforme detalhado na Tabela 1 do capítulo 1. De cada árvore foram mensuradas as seguintes variáveis:

- Diâmetro à altura do peito (dap), onde primeiramente foi coletado circunferência à altura do peito (cap), posteriormente obtido o dap através da fórmula:

$$dap = \frac{cap}{\pi}$$

Em que: dap: diâmetro à altura do peito, em cm; cap: circunferência à altura do peito, em cm;  $\pi$ : 3,1416.

- Altura total (h), considerada a medida da base da árvore até o ápice da copa;
- Altura de inserção de copa (hic), considerada a medida da base até a inserção do primeiro galho vivo;
- Raio de copa (rc), foram medidos quatro raios no sentido norte (N), sul (S), leste (L) e oeste (O).

Posteriormente, as variáveis dendrométricas foram utilizadas para calcular os índices morfométricos de diâmetro de copa (dc), comprimento de copa (cc), área de projeção de copa (ac), porcentagem de copa (pc), grau de esbeltez (ge), índice de saliência (is), índice de abrangência (ia) e formal de copa (fc), conforme descritos nas fórmulas a seguir.

$$dc = 2 * rc$$

Em que: dc: diâmetro de copa, em m; rc: raio de copa, em m.

$$cc = h - hic$$

Em que: cc: comprimento de copa, em m; h: altura total, em m; hic: altura de inserção de copa, em m.

$$ac = \left( \frac{dc^2 * \pi}{4} \right)$$

Em que: ac: área de projeção de copa; dc: diâmetro de copa, em m;  $\pi$ : 3,14...

$$pc = \frac{cc}{h} * 100$$

Em que: pc: proporção de copa; cc: comprimento de copa, em m; h: altura total, em m.



$$ge = \frac{h}{dap}$$

Em que: ge: grau de esbeltez; h: altura total, em m; dap: diâmetro à altura do peito, em cm.

$$is = \frac{dc}{dap}$$

Em que: is: índice de saliência; dc: diâmetro de copa, em m; dap: diâmetro à altura do peito, em cm.

$$ia = \frac{dc}{h}$$

Em que: ia: índice de abrangência; dc: diâmetro de copa, em m; h: altura total, em m.

$$fc = \frac{dc}{cc} * 100$$

Em que: fc: formal de copa; dc: diâmetro de copa; cc: comprimento de copa, em m.

#### 4.2.3 MODELAGEM DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Para a variável dc foram ajustados oito modelos matemáticos, conforme demonstrado na tabela 6.

Tabela 6. Modelos ajustados para a variável diâmetro de copa (dc) de *P. taeda* no município de Campo Belo do Sul, Santa Catarina.

| Nº | Modelo  | Fonte                     |
|----|---|---------------------------|
| 1  | $dc = \beta_0 + \beta_1 dap + \varepsilon$  | Sanquetta et al. (2014)   |
| 2  | $dc = \beta_0 + \beta_1 dap^2 + \varepsilon$  | Costa (2011)              |
| 3  | $\ln(dc) = \beta_0 + \beta_1 dap + \varepsilon$   | Sanquetta et al. (2014)   |
| 4  | $\ln(dc) = \beta_0 + \beta_1 \ln(dap) + \varepsilon$  | Tonini; Arco Verde (2005) |
| 5  | $\sqrt{dc} = \beta_0 + \beta_1 dap + \varepsilon$   | Costa (2011)              |
| 6  | $dc = \beta_0 + \beta_1 dap + \beta_2 dap^2 + \varepsilon$  | Nutto (2001)              |
| 7  | $dc = \beta_0 + dap^{\beta_1} + \varepsilon$  | Sanquetta et al. (2014)   |
| 8  | $\ln(dc) = \beta_0 + \beta_1 \left(\frac{1}{dap^3}\right) + \beta_2 \left(\frac{1}{dap^2}\right) + \beta_3 (dap) + \varepsilon$ | Tonini; Arco Verde (2005) |

Em que: ln: logaritmo neperiano; dc: diâmetro de copa, em m;  $\beta_i$ : parâmetros dos modelos;  $\varepsilon$ : erro da estimativa.

Para modelagem dos índices morfométricos de proporção de copa, formal de copa, grau de esbeltez, índice de saliência e abrangência não há modelos disponíveis na literatura. Assim, optou-se pelo método *Stepwise*, em que a variável independente utilizada foi o diâmetro à altura do peito e altura total nas formas simples, quadrática, cúbica, inversa e logarítmica.

A escolha da melhor equação foi com base na significância dos coeficientes pelo teste *t* a 95% de probabilidade, maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj.}$ ), menor erro padrão da estimativa em porcentagem ( $Sy.x\%$ ) e melhor distribuição gráfica de resíduos para o povoamento aos 37 anos de idades.

Os índices morfométricos foram correlacionados com as variáveis dendrométricas, por meio da correlação de Pearson a 95% de probabilidade, sendo considerado baixo, correlação inferior a 0,4, moderado, correlação de 0,4 a 0,6, alta, acima de 0,7 (DANCEY; REIDY, 2013). Os testes aplicados foram realizados através do *software* R versão 3.6 (R CORE TEAM, 2019).

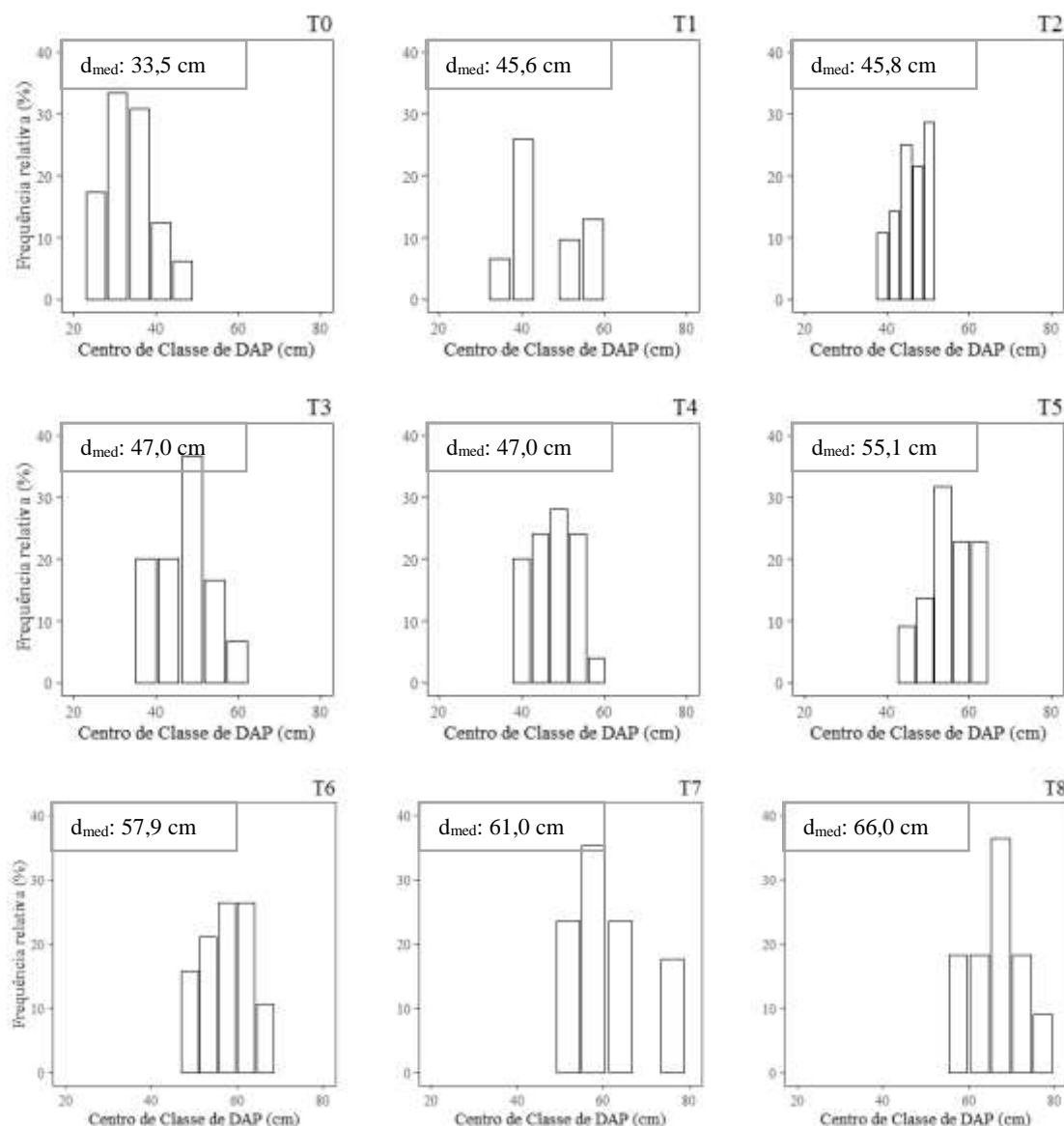
#### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

##### 4.3.1 CARACTERÍSTICAS DAS VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS

O dap médio respondeu proporcionalmente a intensidade de desbaste aplicado. Assim, a tendência foi do aumento da intensidade e do crescimento diamétrico, e por consequência, maior frequência de árvores nas classes superiores (Figura 11). O diâmetro médio das árvores por tratamento variou entre 33,5 cm para o sem desbaste (T0) e 66,0 cm para o extremo (T8). A medida que se intensificava os desbastes nos tratamentos foi verificada um crescimento gradativo no variável diâmetro médio (Figura 1). A presença dos maiores diâmetros nos tratamentos forte (T7) e extremo (T8) esteve associado ao favorecimento dessas árvores com diminuição da competição por espaço, luz e nutrientes.

Nos tratamentos com desbastes mais leves (T1, T2, T3 e T4) os dap médio variaram entre 45,6 cm para o desbaste fraco (T1) à 47,0 cm para médio/médio (T4). Para os desbastes mais fortes (T5, T6 e T7) a diferença dos diâmetros médios foi de aproximadamente de 5,9 cm.

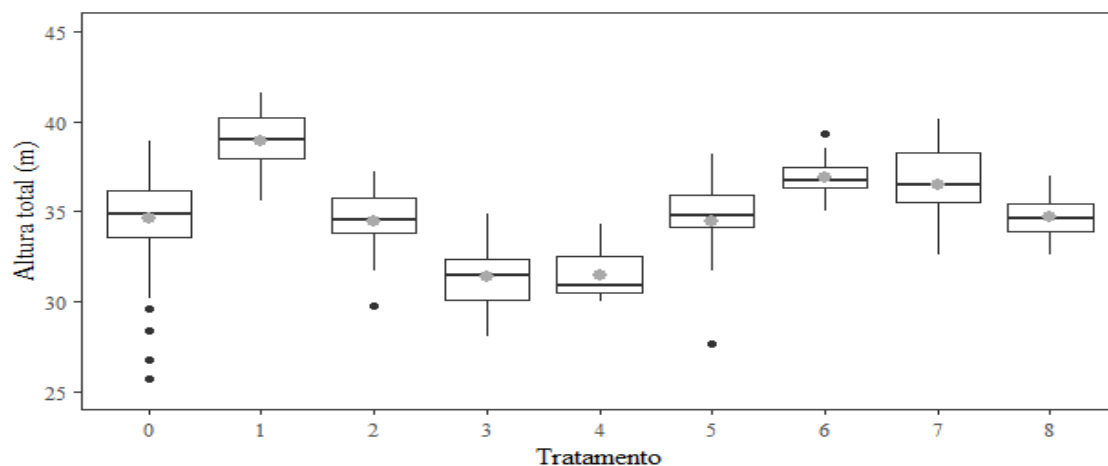
Figura 11. Distribuição diamétrica e diâmetros médios das árvores de *P. taeda* selecionadas para a avaliação das características morfométricas.



Em que: T0: sem desbaste; T1: desbaste fraco; T2: desbaste fraco/médio; T3: desbaste médio; T4: desbaste médio/médio; T5: desbaste médio/forte; T6: desbaste sistemático; T7: desbaste forte; T8: desbaste extremo.

A altura total das árvores de *P. taeda* estão demonstrados na Figura 12. A grande variação da altura no sem desbaste (T0) está associado a grande competição que pode ter afetado o desenvolvimento de alguns indivíduos. As alturas totais médias variaram entre 31,4 m (T3) à 38,9 (T1). O tratamento não desbastado apresentou altura total média de 34,6 m, resultado próximo ao do fraco/médio – 34,5 m, médio/forte – 34,5 m e extremo – 34,7 m, os demais possuem altura média de 36,9 m e 36,5 m respectivamente para o sistemático e forte, respectivamente. Apesar da oscilação da altura total dentro dos tratamentos, a diferença da altura média foi de apenas 7,5 m.

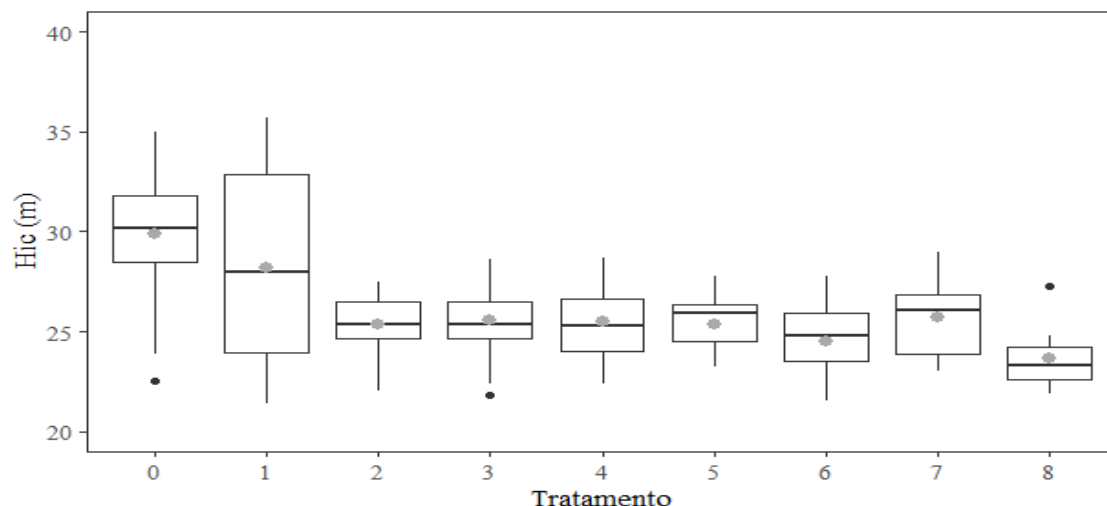
Figura 12. Boxplot para a variável altura total das árvores de *P. taeda* aos 37 anos de idade, selecionadas para a avaliação das características morfométricas.



Em que: 0: sem desbaste; 1: desbaste fraco; 2: desbaste fraco/médio; 3: desbaste médio; 4: desbaste médio/médio; 5: desbaste médio/forte; 6: desbaste sistemático; 7: desbaste forte; 8: desbaste extremo; pontos cinzas dentro dos boxplots representam a média do diâmetro de cada tratamento; pontos pretos: representam *outliers*.

De maneira geral todos os tratamentos avaliados apresentam altura de inserção de copa (hic) semelhantes (Figura 13), variando entre 28,20 m (T1) a 29,89 (T0), os demais tratamentos apresentaram alturas com diferenças de aproximadamente 2,42 m, para os tratamentos médio (T3) e extremo (T8).

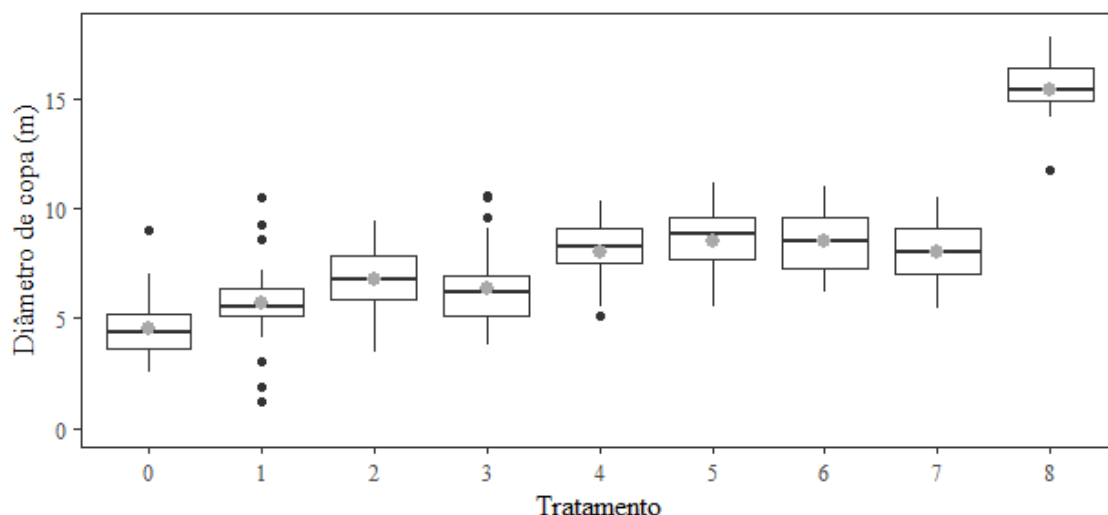
Figura 13. Boxplot para a variável altura de inserção de copa das árvores de *P. taeda* selecionadas para a avaliação das características morfométricas aos 37 anos de idade.



Em que: 0: sem desbaste; 1: desbaste fraco; 2: desbaste fraco/médio; 3: desbaste médio; 4: desbaste médio/médio; 5: desbaste médio/forte; 6: desbaste sistemático; 7: desbaste forte; 8: desbaste extremo; pontos cinzas dentro dos boxplots representam a média da altura de inserção de copa de cada tratamento; pontos pretos: representam *outliers*.

Através da Figura 14 foi possível verificar quatro possíveis grupos para dc com resultados próximos, sendo o não desbastado (T0) com diâmetro de copa médio de 4,53 m, segundo grupo composto pelos tratamentos fraco (T1), fraco/médio (T2) e médio (T3) com diâmetros de copa de 5,69, 6,82 e 6,38 m respectivamente. Os tratamentos que receberam desbastes mais fortes médio/médio (T4), médio/forte (T5), sistemático (T6) e forte (T7) 8,01, 8,58, 8,54 e 8,01 m. Enquanto a aplicação de desbastes extremos faz com que as árvores remanescentes desenvolvam grandes copas, com diâmetro médio de 15,46 m.

Figura 14. Boxplot para a variável diâmetro de copa para as árvores de *P. taeda*, no município de Campo Belo do Sul aos 37 anos de idade.



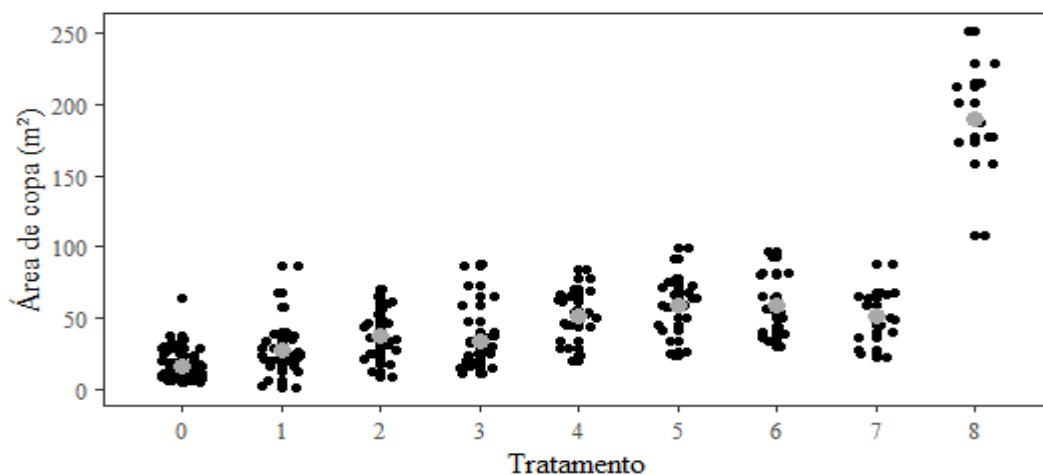
Em que: 0: sem desbaste; 1: desbaste fraco; 2: desbaste fraco/médio; 3: desbaste médio; 4: desbaste médio/médio; 5: desbaste médio/forte; 6: desbaste sistemático; 7: desbaste forte; 8: desbaste extremo; pontos cinzas dentro dos boxplots representam a média do diâmetro de cada tratamento; pontos pretos: representam *outliers*.

A não aplicação de desbaste influenciou na variável ac, conforme apresentado pela Figura 15. O T0 (sem desbaste) apresentou o menor resultado, área de copa média de 17,21 m<sup>2</sup>, podendo associar este resultado ao elevado número de árvores e consequentemente, elevada competição e pouco espaço para o seu desenvolvimento.

Quanto menor o número de árvores no tratamento, maior a área de copa observada, sendo que o tratamento fraco/médio (T2) apresentou resultado superior ao obtido nos tratamentos de desbaste fraco (T1), diferença de 10,55 m<sup>2</sup>, e desbaste médio (T3), diferença de 4,46 m<sup>2</sup>. Desbastes mais fortes (T4, T5, T6 e T7) apresentaram ac média superior a 50 m<sup>2</sup>, enquanto o desbaste extremo (T8), a ac média foi de 189,60 m<sup>2</sup>, sendo reflexo do maior espaço disponível para a expansão da copa das árvores deste tratamento.

Árvores com elevada área copa como as observadas no extremo (T8), apresentam maior superfície fotossintética que irá influenciar diretamente no crescimento diamétrico e consequentemente, na volumetria das árvores individuais. Além disto, através desta variável é possível determinar o espaço ocupado por cada árvore, e assim obter o número de árvores ideal a ser mantido no povoamento, evitando concorrência direta por espaço entre árvores, e visando alcançar a máxima produtividade desses indivíduos.

Figura 15. Representação da variável área de copa para as árvores de *P. taeda*, no município de Campo Belo do Sul.

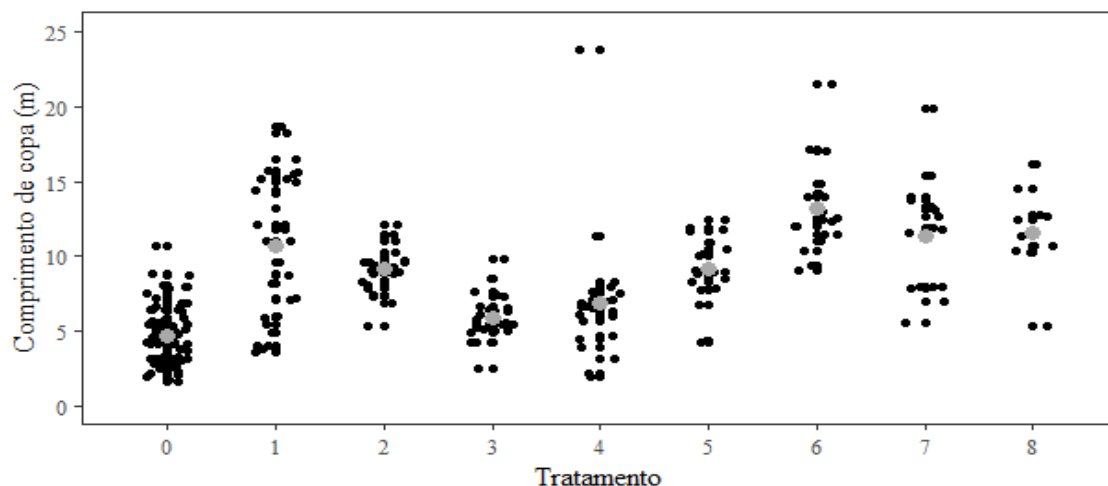


Em que: 0: sem desbaste; 1: desbaste fraco; 2: desbaste fraco/médio; 3: desbaste médio; 4: desbaste médio/médio; 5: desbaste médio/forte; 6: desbaste sistemático; 7: desbaste forte; 8: desbaste extremo; pontos cinzas dentro representam a média da área de copa das árvores de *P. taeda* de cada tratamento; pontos pretos: representam a área de copa das árvores de *P. taeda*.

A tendência de menor área de copa para os tratamentos com maior número de árvores, já foram comentadas por Trindade et al. (2019), em que povoamentos com maiores espaçamentos tendem apresentar área de copa maior quando comparado com plantios menos adensados, isto ocorre devido maior área para o desenvolvimento da copa dessas árvores.

Para o comprimento de copa, na Figura 16, os valores variaram entre 4,70 m (T0) a 13,15 m (T6). Árvores pertencentes aos tratamentos com desbastes mais fortes, sistemático (T6), forte (T7) e extremo (T8) possuem comprimento de copa superior. Enquanto os demais, variaram entre 4,70 m (T0) à 10,73 (T1), podendo este resultado estar associado a maior competição existente. Segundo Paidon e Finger (2010) povoamentos mais adensados tendem a apresentar árvores com comprimento de copa inferior, devido à maior a maior pressão lateral exercida pelas árvores concorrentes, dessa forma apresentando árvores com menores proporções de copa.

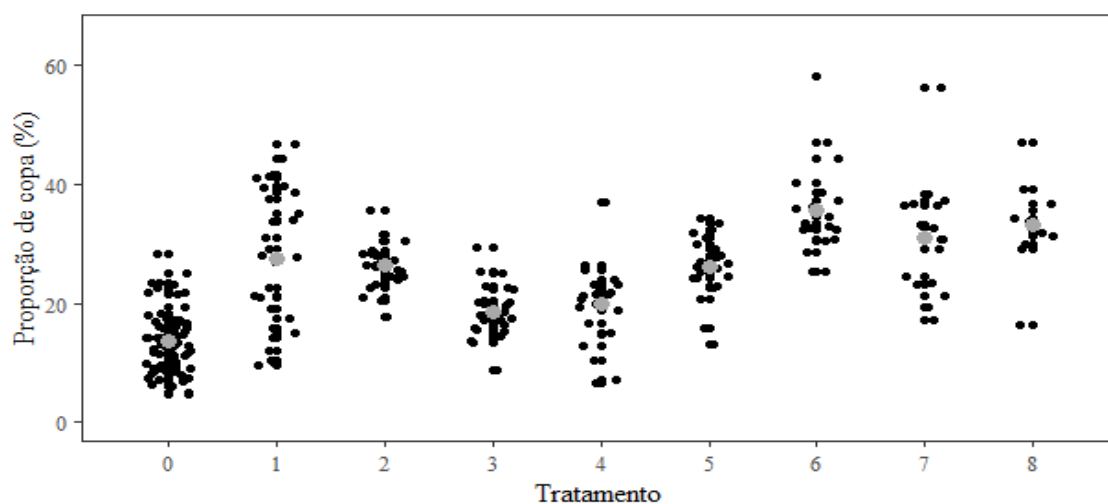
Figura 16. Representação do comprimento de copa para as árvores de *P. taeda*, no município de Campo Belo do Sul.



Em que: 0: sem desbaste; 1: desbaste fraco; 2: desbaste fraco/médio; 3: desbaste médio; 4: desbaste médio/médio; 5: desbaste médio/forte; 6: desbaste sistemático; 7: desbaste forte; 8: desbaste extremo; pontos cinzas dentro representam a média do comprimento de copa das árvores de *P. taeda* de cada tratamento; pontos pretos: representam o comprimento de copa das árvores de *P. taeda*.

Para a proporção de copa, Figura 17, os resultados variaram entre 13,5% para o sem desbaste (T0) à 35,58% para o desbaste sistemático. Assim como observado para a variável cc, as árvores do sistemático, forte e extremo possuem as maiores proporções de copa, sendo pc de 35,6, 31,0 e 33,2% respectivamente. Os demais apresentam resultados próximos sendo que árvores do não desbastado possuem pc de apenas 13,5%. Nos tratamentos fracos (T1, T2) e médios (T3, T4 e T5), a pc variou pouco, aproximadamente, 8,9%.

Figura 17. Representação da proporção de copa para as árvores de *P. taeda*, no município de Campo Belo do Sul.





Em que: 0: sem desbaste; 1: desbaste fraco; 2: desbaste fraco/médio; 3: desbaste médio; 4: desbaste médio/médio; 5: desbaste médio/forte; 6: desbaste sistemático; 7: desbaste forte; 8: desbaste extremo; pontos cinzas dentro representam a média de proporção de copa das árvores de *P. taeda* de cada tratamento; pontos pretos: representam a proporção de copa de cada árvore de *P. taeda*.

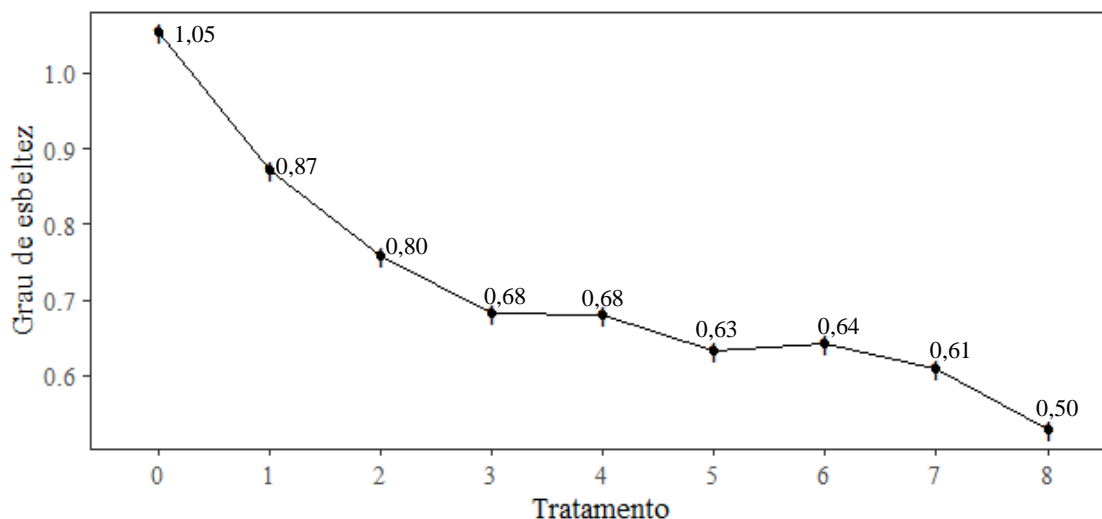
Esta variável é utilizada para avaliar a produtividade de uma árvore, altos resultados de proporção de copa são eficientes para espécies na qual são coletadas sementes, frutos, folhas, enquanto espécies com fins madeireiros, baixos resultados (inferior a 0,5) de pc sejam mais desejáveis (DURLO; DENARDI, 1998; TONINI et al., 2008). Os resultados de proporção de copa obtidos neste estudo, estão de acordo com o obtido por outros autores, a citar Zimmermann et al. (2016) observaram árvores com proporção de copa média de 34,7%, variando entre 20,6 a 54,5%, dependendo do nível de competição submetido o indivíduo.

O espaço médio disponível para uma árvore individual varia inversamente com o número de árvores  $ha^{-1}$  e diretamente com o diâmetro médio, pois com o aumento do diâmetro e altura das árvores, o tamanho médio de copa aumenta aproximadamente, assim como o espaço requerido para o crescimento (ASMANN, 1970).

O Ge, conhecida também com relação h/dap demonstra a estabilidade da árvore, ou seja, se as árvores estão crescendo mais em diâmetro do que em altura (DURLO; DENARDI, 1998; DIONÍSIO et al., 2008; SELLE; VUADEN, 2010). A diminuição gradativa do ge para cada tratamento de acordo com a intensidade de desbaste aplicado está demonstrado na Figura 18. A tendência observada está relacionada ao menor crescimento em altura quando comparado ao crescimento diamétrico dessas árvores, sendo verificado que o não desbastado apresentou 1,0 de ge, e os demais tratamentos foram diminuindo de 0,87 (fraco – T1) até a 0,50 (extremo – T8).

Por meio da Figura 18 é possível verificar 4 possíveis grupos para o ge, sendo o primeiro formado apenas pelo não desbastado (T0), o segundo pelos fracos (T1 e T2), com ge variando entre 0,87 a 0,80, os intermediários compõem o terceiro grupo, com ge variando entre 0,68 a 0,61, enquanto o extremo possui ge de 0,50, sendo considerado o tratamento com árvores mais estáveis do povoamento. Árvores do não desbastado e do fraco (T1 e T2) são mais suscetíveis a sofrerem quebras devido ao vento, pois as mesmas possuem fustes longos e finos, não sendo tão estáveis quando comparado as árvores dos demais tratamentos.

Figura 18. Variação do grau de esbeltez em função do tratamento aplicado nas árvores de *P. taeda*, no município de Campo Belo do Sul, aos 37 anos de idade.

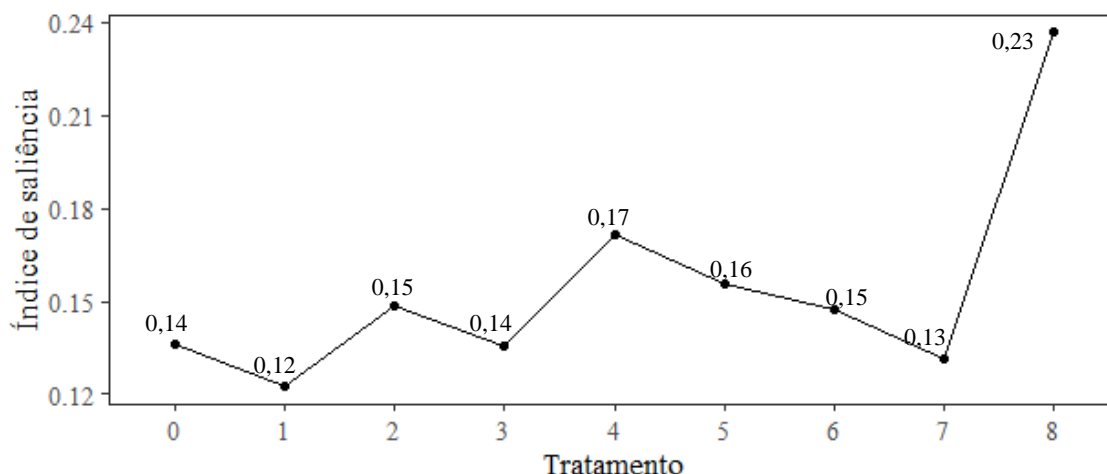


Em que: 0: sem desbaste; 1: desbaste fraco; 2: desbaste fraco/médio; 3: desbaste médio; 4: desbaste médio/médio; 5: desbaste médio/forte; 6: desbaste sistemático; 7: desbaste forte; 8: desbaste extremo; pontos pretos dentro do gráfico representam a média do grau de esbeltez das árvores de *P. taeda* de cada tratamento.

O ge é calculado visando caracterizar a estabilidade das árvores, de modo que um baixo valor para esta variável demonstra que ocorre maior crescimento do diâmetro que em altura, sendo assim, quanto menor o resultado do ge mais estável são as árvores do povoamento (ROVEDA et al., 2012; WINK et al., 2012; SANQUETTA et al., 2013).

O índice de saliência é obtido através da relação diâmetro de copa e dap, sendo utilizado para determinar o espaço a ser liberado ao redor da árvore para que a mesma cresça sem concorrência. Os baixos valores de is indicam que as árvores estão incrementando menos em dc do que em dap, ao longo do crescimento da árvore (DURLO, 2001; SILVEIRA et al., 2015). A variação do is para cada tratamento estão demonstrados na Figura 9. Todos os tratamentos apresentaram resultados semelhantes com is variando entre 0,12 (T1) à 0,17 (T4), e o tratamento que recebeu intervenção extrema no início do experimento apresentou o maior valor, is de 0,23.

Figura 19. Variação do grau do índice de saliência em função do tratamento aplicado nas árvores de *P. taeda*, no município de Campo Belo do Sul, aos 37 anos de idade.

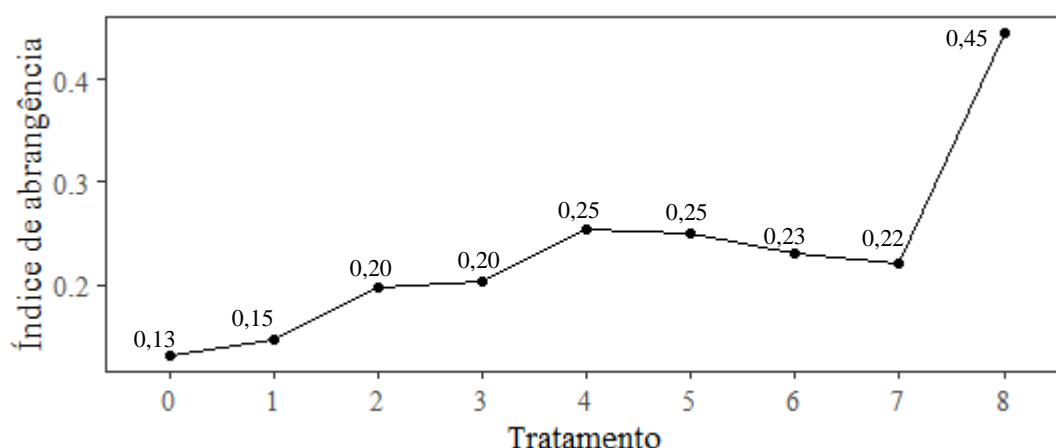


Em que: 0: sem desbaste; 1: desbaste fraco; 2: desbaste fraco/médio; 3: desbaste médio; 4: desbaste médio/médio; 5: desbaste médio/forte; 6: desbaste sistemático; 7: desbaste forte; 8: desbaste extremo; pontos pretos dentro do gráfico representam a média do grau de esbeltez das árvores de *P. taeda* de cada tratamento.

Este índice, is, pode ser utilizado pelo gestor florestal para calcular o número máximo de árvores por unidade de área, à medida que as árvores crescem, sendo utilizado como um indicativo de desbaste. A partir do is pode ser obtido o isa (índice de espaço vital), e quanto menor for a média deste índice, maior será sua área basal e, provavelmente, também seu volume por hectare (DURLO; DENARDI, 1998).

O índice de abrangência variou entre 0,13 (T0) a 0,45 (T8), sendo que a aplicação de desbastes mais leves (T1, T2), médio (T3, T4, T5) ou fortes (T6, T7) fizeram com que os resultados sejam bem próximos para esta variável, apresentando diferença de apenas 0,1, enquanto que uma intervenção mais extrema (T8) no povoamento, faz com que seja obtido um índice de abrangência de 0,45 (Figura 20).

Figura 20. Variação do grau do índice de abrangência em função do tratamento aplicado nas árvores de *P. taeda*, no município de Campo Belo do Sul.

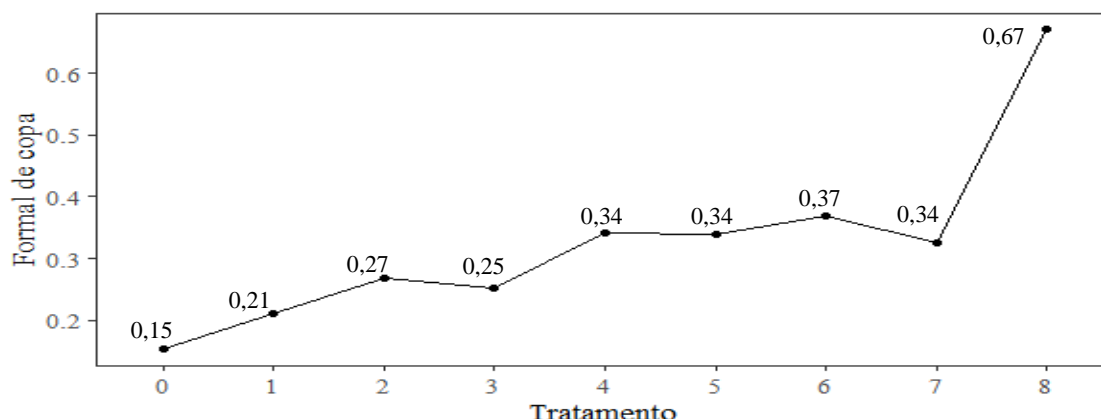


Em que: 0: sem desbaste; 1: desbaste fraco; 2: desbaste fraco/médio; 3: desbaste médio; 4: desbaste médio/médio; 5: desbaste médio/forte; 6: desbaste sistemático; 7: desbaste forte; 8: desbaste extremo; pontos pretos dentro do gráfico representam a média do grau de esbeltez das árvores de *P. taeda* de cada tratamento.

Para Durlo (2001) à medida que ocorre um maior crescimento diamétrico das árvores, consequentemente, o diâmetro de copa tende a crescer proporcionalmente, já o crescimento em altura é suficientemente pequeno, ao ponto de resultar em um aumento no índice de abrangência. Além disto, o ia é uma ferramenta para a tomada de decisão em um plano de desbaste, quando o mesmo é manejado com “altura – objetivo” (ROVEDA et al., 2012).

O fc informa o grau de achatamento de copa, os resultados de fc para cada tratamento está demonstrado na Figura 21. A aplicação de desbastes forte (T7) ou a não aplicação (T0) geraram resultados semelhantes, com uma variação entre 0,15 (T0) a 0,37 (T6), sendo o extremo (T8) o único a possuir elevado resultado de fc. Apesar da grande variação nos resultados desta variável, é possível afirmar que todas as árvores dos tratamentos avaliados possuem copas alongadas, pois seus resultados foram inferiores a 1.

Figura 21. Variação do grau do formal de copa em função do tratamento aplicado nas árvores de *P. taeda*, no município de Campo Belo do Sul.



Em que: 0: sem desbaste; 1: desbaste fraco; 2: desbaste fraco/médio; 3: desbaste médio; 4: desbaste médio/médio; 5: desbaste médio/forte; 6: desbaste sistemático; 7: desbaste forte; 8: desbaste extremo; pontos pretos dentro do gráfico representam a média do grau de esbeltez das árvores de *P. taeda* de cada tratamento.

Povoamentos inequidêneos apresentam na maioria dos casos *fc* inferior a 1, pois o *cc* tende a ter maior desenvolvimento do que o *dc*, porém, as aplicações de desbastes tendem a influenciar a variável *dc*, e consequentemente o valor do *fc* tende a aumentar (SILVA et al., 2017). O *fc* pode ser utilizado para a seleção de árvores para desbastes, uma vez que árvores com mesmo diâmetro de copa alcançará produtividades diferentes, sendo maior produtividade associada aos indivíduos com menor *fc* e sendo removidos do povoamento árvores com maiores *fc* (KLEIN, 2017).

#### 4.3.2 CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS

Na tabela 7 está a correlação entre as variáveis dendrométricas e morfométricas do povoamento e nos anexos de A à I as correlações para cada tratamento. Ao analisar o povoamento de maneira geral é verificado uma correlação forte e significativa entre as variáveis diâmetro de copa, área de copa, índice de saliência, formal de copa e grau de esbeltez com o diâmetro à altura do peito. A forte correlação observada na Tabela 7 entre o índice de abrangência e formal de copa ocorre devido a dependência das variáveis diâmetro de copa e altura. Para a área de copa os índices de saliência, abrangência, formal de copa e diâmetro de copa foi observado correlação forte e significativa entre elas.

As variáveis *dap* e *ge* apresentaram forte correlação negativa para todos os tratamentos avaliados, demonstrando que a medida que ocorre um aumento no diâmetro, o grau de esbeltez diminui fazendo com que ocorra maior estabilidade das árvores. A presença de uma correlação

negativa entre duas variáveis demonstra que enquanto uma aumenta a outra diminui (GALARÇA et al., 2010, KLEIN et al., 2017; SILVA et al., 2017).

A medida que as árvores se desenvolvem em diâmetro a dimensão da copa aumenta, explicando a forte correlação existente dap com as variáveis dc e cc (KLEIN, 2017). Através dessa relação é possível determinar o espaço necessário para o desenvolvimento da árvore, à medida que ocorre seu crescimento. Além disto, a forte correlação se faz importante pois é possível determinar o número de árvores a serem conduzidos até o final da rotação, quando se tem um “diâmetro objetivo” (ROMAN; BRESSAN; DURLO, 2009).

Enquanto a correlação entre dos índices de abrangência e saliência com o dc, correlação maior que 0,94 para todos os tratamentos (anexos de A à I), é associada ao fato da variável dc ser utilizada para obtenção dos demais índices. As correlações negativas observadas entre as variáveis índice de saliência e grau de esbeltez para com o dap, demonstra que a medida que ocorre o crescimento diamétrico, há a diminuição desses índices. A pc apresentou forte correlação negativa com a variável altura de inserção de copa (0,79) e positiva com o comprimento de copa (0,99).

Tabela 7. Correlação entre as variáveis dendrométricas e morfométricas dos indivíduos de *P. taeda*, de todos os tratamentos, pelo teste de Pearson a 95% de probabilidade.

|     | Geral               |                     |        |        |                    |        |                     |        |        |        |       |
|-----|---------------------|---------------------|--------|--------|--------------------|--------|---------------------|--------|--------|--------|-------|
|     | Dap                 | H                   | Hic    | dc     | cc                 | Ac     | pc                  | ia     | Is     | Fc     | ge    |
| dap | 1,00*               | -                   | -      | -      | -                  | -      | -                   | -      | -      | -      | -     |
| h   | 0,18*               | 1,00*               | -      | -      | -                  | -      | -                   | -      | -      | -      | -     |
| hic | -0,38*              | 0,27*               | 1,00*  | -      | -                  | -      | -                   | -      | -      | -      | -     |
| dc  | 0,79*               | -0,03 <sup>ns</sup> | -0,42* | 1,00*  | -                  | -      | -                   | -      | -      | -      | -     |
| cc  | 0,48*               | 0,50*               | -0,70* | 0,36*  | 1,00*              | -      | -                   | -      | -      | -      | -     |
| ac  | 0,77*               | -0,03 <sup>ns</sup> | -0,40* | 0,98*  | 0,34*              | 1,00*  | -                   | -      | -      | -      | -     |
| pc  | 0,48*               | 0,37*               | -0,79* | 0,40*  | 0,99*              | 0,37*  | 1,00*               | -      | -      | -      | -     |
| ia  | 0,72*               | -0,26 <sup>ns</sup> | -0,46* | 0,97*  | 0,22*              | 0,95*  | -0,29*              | 1,00*  | -      | -      | -     |
| is  | -0,11 <sup>ns</sup> | -0,28 <sup>ns</sup> | -0,26* | 0,87*  | 0,03 <sup>ns</sup> | 0,65*  | -0,08 <sup>ns</sup> | 0,71*  | 1,00*  | -      | -     |
| fc  | 0,73*               | -0,08 <sup>ns</sup> | -0,69* | 0,90*  | 0,57*              | 0,89*  | -0,63*              | 0,88*  | 0,59*  | 1,00*  | -     |
| ge  | -0,92*              | 0,12 <sup>ns</sup>  | 0,48*  | -0,79* | -0,35*             | -0,74* | -0,40*              | -0,79* | -0,21* | -0,74* | 1,00* |

Em que: dap: diâmetro à altura do peito, em cm; h: altura total (m); hic: altura de inserção de copa (m); dc: diâmetro de copa (m); cc: comprimento de copa (m); ac: área de copa (m<sup>2</sup>); pc: proporção de copa (%); ia: índice de abrangência; is: índice de saliência; fc: formal de copa; ge: grau de esbeltez. \*correlação de Pearson significativa a 95% de probabilidade; ns: correlação de Pearson não significativa a 95% de probabilidade.

### 4.3.3 MODELAGEM DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Diante da pouca literatura disponível sobre modelagem dos índices morfométricos para *P. taeda*, optou-se por utilizar a literatura de outras espécies apenas para analisar o comportamento das variáveis modeladas em função do diâmetro à altura do peito.

#### 4.3.3.1 Diâmetro de copa

Na tabela 8 estão apresentadas as melhores equações das oito testadas para a estimativa do variável diâmetro de copa de cada tratamento e seus respectivos coeficientes de determinação ajustado e erro padrão da estimativa. Dos oito modelos testados, os sugeridos por Sanquetta et al. (2014) (modelos 1, 3 e 7) e Costa (2011) (modelo 2) foram responsáveis por gerar as melhores equações neste estudo.

As equações selecionadas obtiveram  $R^2_{aj}$  inferior a 70% e  $Sy.x\%$  superior a 10%. O desbaste fraco (T1) apresentou o melhor resultado de  $R^2_{aj}$ , 61,65%, enquanto o extremo (T8) o pior valor de  $R^2_{aj}$ , 10%. Apenas o desbaste fraco (T1) apresentou um bom resultado de  $R^2_{aj}$  e isto foi em decorrência da alta correlação da variável dap e dc. Os tratamentos não desbastado (T0), médio (T3), médio/médio (T4), médio/forte (T5) e forte (T7) possuem  $R^2_{aj}$  próximos, variando apenas entre 30,8% e 36,5% e  $Sy.x$  próximo a 22%.

Tabela 8. Parâmetros de precisão das melhores equações para a estimativa de diâmetro de copa, dos tratamentos de *P. taeda* avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.

| Tratamento        | Equação                         | FM   | $R^2_{aj}$ | $Sy.x\%$ |
|-------------------|---------------------------------|------|------------|----------|
| Sem desbaste (T0) | $dc = 0,213 * dap^{0,871}$      | -    | 30,8       | 21,6     |
| Fraco (T1)        | $dc = -6,921 + 2,255 * dap$     | -    | 61,7       | 19,5     |
| Fraco/médio (T2)  | $dc = -0,426 + 0,145 * dap$     | -    | 22,1       | 22,0     |
| Médio (T3)        | $\ln(dc) = 0,761 + 0,022 * dap$ | 1,03 | 35,0       | 19,2     |
| Médio/médio (T4)  | $dc = 5,441 + 0,001 * dap^2$    | -    | 36,5       | 16,3     |
| Médio/forte (T5)  | $dc = 4,341 + 0,001 * dap^2$    | -    | 30,8       | 15,7     |
| Sistemático (T6)  | $dc = 3,938 + 0,001 * dap^2$    | -    | 44,0       | 13,1     |
| Forte (T7)        | $dc = 5,118 + 0,001 * dap^2$    | -    | 34,4       | 15,4     |
| Extremo (T8)      | $dc = 7,688 + 0,001 * dap^2$    | -    | 10,0       | 17,9     |

Em que: dc: diâmetro de copa; ln: logaritmo neperiano; dap: diâmetro à altura do peito em cm; FM: fator de Meyer;  $R^2_{aj}$ : coeficiente de determinação ajustado, em porcentagem;  $Sy.x\%$ : erro padrão da estimativa, em porcentagem.

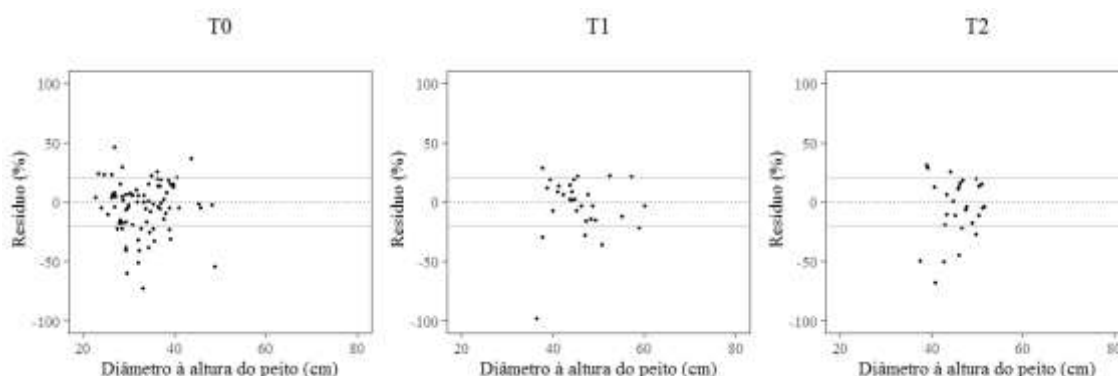
Apesar dos diferentes cenários avaliados, sem intervenção até desbaste extremo, é aconselhável cautela na utilização das equações selecionadas para a predição do diâmetro de copa, devido aos baixos resultados de  $R^2_{aj}$  obtidos e altos  $Sy.x\%$  verificados em algumas

situações. Resultados não satisfatórios também foram obtidos por Nutto et al. (2001) ao realizarem a modelagem para o diâmetro de copa de *P. elliottii* com idades de 18 a 21 anos em quatro municípios do estado do Rio Grande do Sul, sendo verificado  $R^2_{aj}$  de 0,48, sendo associado os baixos resultados as prováveis subestimativas que ocorreram com a coleta de apenas quatro raios para esta variável ou a idade avançada do povoamento, provavelmente estagnado a alguns anos.

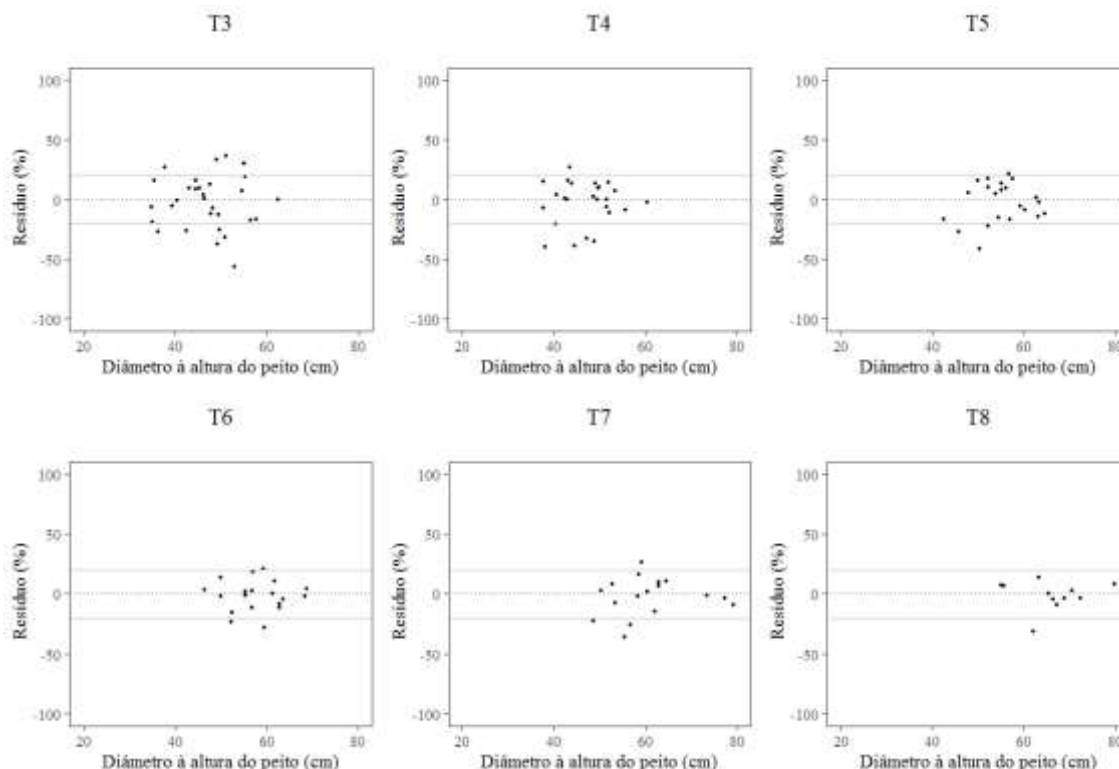
A distribuição gráfica de resíduos é uma das análises mais importantes para a seleção de uma equação, pois é possível detectar se a distribuição apresenta algum tipo de tendenciosidade, seja de sub ou superestimar a variável predita. Quanto a variação dos resíduos, o sem desbaste apresentou os resíduos entre 50 à -80%, e o tratamento fraco/médio (T2) variaram entre 40 a 70%. Os demais apresentam resíduos bem distribuídos e próximo à linha regressora, com resíduos  $\pm 20\%$  (Figura 22).

Apesar da grande variação dos resíduos dentro de cada tratamento, o resíduo médio ficou abaixo de 10%. Os tratamentos sem desbaste (T0), fraco (T1) e fraco/médio (T2), possuem resíduos médio de -4,3%, -6,6% e -2,3% respectivamente. No médio (T3), Médio/médio (T4), Médio/forte (T5) e forte (T7) o resíduo foi de -2,3% (T3), -2,8% (T4), -2,6% (T5) e -2,3% (T7). O sistemático e extremo possuem resíduo médio de apenas -1,6% e -1,1%, apesar de baixos resultados, todas as equações superestimaram a variável de interesse.

Figura 22. Distribuição gráfica de resíduos para as equações selecionadas de cada tratamento de *P. taeda*, no município de Campo Belo do Sul.







#### 4.3.3.2 Proporção de copa

Os parâmetros de precisão das melhores equações obtidas pelo método de *Stepwise* para a variável proporção de copa estão descritos na Tabela 9. Os baixos resultados para  $R^2_{aj}$  e altos valores de  $Sy.x\%$  demonstram que não há dependência entre as variáveis  $dap$  e  $pc$ . Sugere-se testar outras variáveis independentes, como altura de inserção de copa, pois a mesma apresentou alta correlação com a variável  $pc$ .

É possível verificar que o sem desbaste, e os desbastes fraco (T1), fraco/médio (T2), médio/médio (T4), médio/forte (T5) e sistemático (T6) possuem os piores resultados para  $R^2_{aj}$  e  $Sy.x$ , podendo destacar o T1 com menor  $R^2_{aj}$  e médio/médio (T4) com o maior  $Sy.x\%$ , nesses casos é importante não se utilizar as mesmas, pois os resultados preditos podem não ser condizentes com a realidade. Já no médio (T3), forte (T7) e extremo (T8) os resultados de  $R^2_{aj}$  são aceitáveis, variando entre 47,5% (T8) à 59,4% (T7), o  $Sy.x\%$  foi de 19,4, 20,6 e 17,1 respectivamente para os tratamentos.

Os baixos resultados na modelagem para a variável  $pc$ , foram obtidos por Costa (2011) ao realizar a modelagem para árvores dominantes e co-dominantes de *Araucaria angustifolia* encontrou valores de  $R^2_{aj}$  inferiores a 25% e  $Sy.x\%$  superiores a 40%. Para o autor os baixos resultados encontrados na modelagem para  $pc$  em função do  $dap$  estão associados a grande

variabilidade dos dados observados, não sendo totalmente descritos pelo dap, ainda que os coeficientes tenham sido significativos.

Tabela 9. Parâmetros de precisão das melhores equações obtidos pelo método do *Stepwise* para a estimativa de proporção de copa, dos tratamentos de *P. taeda* avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.

| Tratamento        | Equação                                      | R <sup>2</sup> aj | Sy.x% |
|-------------------|--|-------------------|-------|
| Sem desbaste (T0) | $pc = 12,144 + 0,001 * dap^2$                | 10,3              | 30,2  |
| Fraco (T1)        | $pc = 0,276 + 0,001 * dap^3 - 0,019 * 1/dap$ | 4,1               | 37,0  |
| Fraco/médio (T2)  | $pc = 20,350 + 1,573 * \ln(dap)$             | 5,2               | 32,4  |
| Médio (T3)        | $pc = 37,285 - 1,078 * dap + 0,014 * dap^2$  | 54,8              | 19,4  |
| Médio/médio (T4)  | $pc = 133,074 - 5,255 * dap + 0,061 * dap^2$ | 10,0              | 54,7  |
| Médio/forte (T5)  | $pc = 4,730 + 1,054 * dap - 0,012 * dap^2$   | 8,2               | 20,2  |
| Sistemático (T6)  | $pc = 11,618 + 0,414 * dap$                  | 10,5              | 21,4  |
| Forte (T7)        | $pc = 300,752 - 8,983 * dap + 0,073 * dap^2$ | 59,4              | 20,6  |
| Extremo (T8)      | $pc = 55,591 - 1,721 * dap + 0,016 * dap^2$  | 47,5              | 17,1  |

Em que: pc: proporção de copa; dap: diâmetro a altura do peito, em cm; R<sup>2</sup>aj: coeficiente de determinação ajustado, em porcentagem; Sy.x%: erro padrão estimativa, em porcentagem.

#### 4.3.3.3 Índice de saliência

Os baixos resultados para os parâmetros de precisão para o tratamento que não recebeu desbaste (T0) e os que receberam desbaste fraco (T1), fraco/médio (T2), médio/médio (T4), médio/forte (T5) e sistemático (T6) ocorreu devido à baixa correlação entre as variáveis dap e is. Os baixos resultados dos parâmetros de precisão para esta variável estar relacionada a grande variabilidade dos dados observados, os quais não puderam ser totalmente descritos pelo diâmetro das árvores, ainda que os modelos tenham sido todos significativos (COSTA, 2011). De maneira geral, apesar da significância de todos os coeficientes das equações selecionadas, é aconselhável cautela na sua utilização nos tratamentos em que tiveram baixos R<sup>2</sup>aj e altos Sy.x%.

Resultados semelhantes foram obtidos por Costa (2011) ao realizar a modelagem dos índices morfométricos para *A. angustifolia* no município de Lages, o autor encontrou coeficiente de determinação abaixo de 12% e Sy.x% acima de 10%, e assim como neste estudo, não foi indicado a utilização das equações para a espécie. Para a espécie *Cabralea canjerana* no planalto sul-rio-grandense Durlo (2001) encontrou resultados semelhantes ao do presente estudo, e relacionou os baixos resultados do R<sup>2</sup>aj e alto Sy.x% a não dependência entre a variável diâmetro e índice de saliência.

Tabela 10. Parâmetros de precisão das melhores equações obtidos pelo método de *Stepwise* para a estimativa do índice de saliência, dos tratamentos de *P. taeda* avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.

| Tratamento        | Equação  | R <sup>2</sup> aj | Sy.x% |
|-------------------|--|-------------------|-------|
| Sem desbaste (T0) | $Is = -0,157 + 0,004 * dap + 5,231 * 1/dap$                      | 5,1               | 21,4  |
| Fraco (T1)        | $Is = 4,519 - 0,091 * dap + 0,001 * dap^2 - 0,712 * 1/dap$       | 44,7              | 19,0  |
| Fraco/médio (T2)  | $Is = -8253,420 - 14,380 * dap + 85266,630 * 1/dap$              | 42,0              | 22,8  |
| Médio (T3)        | $Is = 0,139 - 278,298 * 1/dap^3$                                 | 22,0              | 23,0  |
| Médio/médio (T4)  | $Is = -2,289 + 0,016 * dap + 12,220 * 1/dap$                     | 7,0               | 17,7  |
| Médio/forte (T5)  | $Is = 0,152 + 0,001 * dap^2$                                     | 8,3               | 15,9  |
| Sistemático (T6)  | $Is = 1,732 - 0,000 * dap^2 - 12,550 * 1/dap + 27,600 * 1/dap^2$ | 10,7              | 14,1  |
| Forte (T7)        | $Is = -0,970 + 0,027 * dap - 0,001 * dap^2 + 50,790 * 1/dap^2$   | 12,1              | 15,9  |
| Extremo (T8)      | $Is = 0,233 - 0,001 * dap$                                       | 13,6              | 17,9  |

Em que: is: índice de saliência; dap: diâmetro a altura do peito, em cm; R<sup>2</sup>aj: coeficiente de determinação ajustado, em porcentagem; Sy.x%: erro padrão estimativa, em porcentagem.

### 3.3.5 Índice de abrangência

As equações obtidas para estimar a variável índice de abrangência dos tratamentos obtidas pelo método de *Stepwise* estão descritos na Tabela 12. O tratamento sem desbaste (T0), médio (T3), médio/médio (T4), médio/forte (T5) e forte (T7) apresentaram os piores resultados, sendo valores abaixo de 40%. Enquanto os demais obtiveram resultados superior a 65%. Apesar de todos os coeficientes serem significativos e os resultados medianos do R<sup>2</sup>aj, os Sy.x% foram altos para todos os tratamentos, valores acima de 10%.

Tabela 11. Parâmetros de precisão das melhores equações obtidos pelo método de *Stepwise* para a estimativa do índice de abrangência, dos tratamentos de *P. taeda* avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC.

| Tratamento        | Equação  | R <sup>2</sup> aj | Sy.x% |
|-------------------|--|-------------------|-------|
| Sem desbaste (T0) | $ia = 0,056 + 0,002 * dap$                                       | 15,0              | 23,4  |
| Fraco (T1)        | $ia = 3,784 - 0,078 * dap + 0,001 * dap^2 - 0,598 * 1/dap$       | 66,0              | 20,8  |
| Fraco/médio (T2)  | $ia = -0,680 + 0,012 * dap + 14,287 * 1/dap$                     | 65,9              | 22,0  |
| Médio (T3)        | $ia = -1,028 + 0,012 * dap + 38,270 * 1/dap - 1,140 * 1/dap^3$   | 22,6              | 26,3  |
| Médio/médio (T4)  | $ia = 5,239 - 0,167 * dap + 0,002 * dap^2 - 0,000 * dap^3$       | 17,1              | 16,6  |
| Médio/forte (T5)  | $ia = 6,251 - 0,004 * dap - 22,800 * 1/dap + 833,100 * 1/dap^3$  | 35,9              | 18,6  |
| Sistemático (T6)  | $ia = 0,810 - 0,016 * dap + 0,001 * dap^2 - 8,711 * 1/dap$       | 43,6              | 13,5  |
| Forte (T7)        | $ia = -7,443 - 0,065 * dap + 0,001 * dap^2 + 1,325 * \ln(dap^2)$ | 34,6              | 17,5  |
| Extremo (T8)      | $ia = 0,183 + 0,002 * dap$                                       | 77,2              | 17,6  |

Em que: ia: índice de abrangência; dap: diâmetro a altura do peito, em cm; R<sup>2</sup>aj: coeficiente de determinação ajustado, em porcentagem; Sy.x%: erro padrão estimativa, em porcentagem.

#### 4.3.3.6 Formal de copa

Assim como verificado para as demais variáveis, o fc apresentou os melhores resultados para os parâmetros de precisão para os tratamentos que apresentaram maior correlação com a variável dap. Os resultados de  $R^2_{aj}$  foram inferiores a 70%, com os tratamentos sem desbaste (T0) e médio/médio (T4) apresentando os piores resultados, valores de 16,0 e 17,2% respectivamente. Para o  $Sy.x\%$  todos tratamentos apresentaram altos valores, acima de 10%, e apenas o sistemático (T6) apresentou resultado satisfatório para este parâmetro (Tabela 13).

Tabela 12. Parâmetros de precisão das melhores equações obtidos pelo método de *Stepwise* para a estimativa do formal de copa, dos tratamentos de *P. taeda* avaliados no município de Campo Belo do Sul, SC aos 37 anos de idade.

| Tratamento        | Equação  | $R^2_{aj}$ | $Sy.x\%$ |
|-------------------|--|------------|----------|
| Sem desbaste (T0) | $fc = 0,107 + 0,001 * dap^2$                                   | 16,0       | 20,3     |
| Fraco (T1)        | $fc = 0,421 - 12,261 * 1/dap$                                  | 64,3       | 14,3     |
| Fraco/médio (T2)  | $fc = -0,027 + 0,001 * dap^2 + 0,010 * 1/dap^2$                | 62,3       | 22,8     |
| Médio (T3)        | $fc = -24,420 + 2,533 * dap + 8,266 * 1/dap - 2,675 * 1/dap^3$ | 37,2       | 21,3     |
| Médio/médio (T4)  | $fc = 77,929 - 2,736 * dap + 0,038 * dap^2$                    | 17,2       | 35,5     |
| Médio/forte (T5)  | $fc = -143,532 + 5,969 * dap - 0,049 * dap^2$                  | 40,0       | 15,1     |
| Sistemático (T6)  | $fc = -0,693 + 0,010 * dap + 19,660 * 1/dap$                   | 43,5       | 8,2      |
| Forte (T7)        | $fc = -12,285 + 0,736 * dap$                                   | 50,8       | 20,1     |
| Extremo (T8)      | $fc = 0,241 + 0,000 * dap^2$                                   | 66,7       | 15,1     |

Em que: fc: formal de copa; dap: diâmetro a altura do peito, em cm;  $R^2_{aj}$ : coeficiente de determinação ajustado, em porcentagem;  $Sy.x\%$ : erro padrão estimativa, em porcentagem.

#### 4.4 CONCLUSÃO

Os desbastes influenciaram diretamente nas características de copa da espécie, sendo que a tratamento com desbaste mais extremo (T8) apresentou maiores resultados para as variáveis diâmetro e altura de copa, quando comparado com os demais tratamentos. Para o índice de abrangência a aplicação de desbastes fracos ou forte não influenciaram nesta variável, sendo a única diferença numérica visualizada no tratamento de desbaste extremo, com índice de abrangência duas vezes maior ao obtido nos demais tratamentos.

Para a modelagem os índices morfométricos de grau de esbeltez, índice de abrangência e formal de copa podem ser estimados pelas equações deste estudo para povoamentos adultos. Enquanto, o para a variável diâmetro de copa, é aceitável a utilização da equação apenas para o tratamento fraco. Apesar de ter sido selecionado uma equação para cada tratamento, é importante se ter cautela na utilização das mesmas, uma vez que foram obtidos baixos resultados de  $R^2_{aj}$  (exceto para grau de esbeltez) e altos  $Sy.x\%$ .

Para futuros estudos, é recomendável a utilização da variável altura de inserção de copa, altura total e diâmetro à altura do peito nas modelagens, visando se obter melhores resultados dos parâmetros de precisão das equações selecionadas.

#### 4.5 REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, K. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ASSMAN, E. The Principles of Forest Yield Study: Structure, increment and Yield of stands in relation to silvicultural treatment, p. 207-433, 1970.
- BARRETO, W.F.; LEÃO, F.M.; MENEZES, M.C.; SOUZA, D.V. Equação de volume para apoio ao manejo comunitário de empreendimento florestal em Anapu, Pará. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, v. 34, p. 1-9, 2014.
- COSTA, E.A. Influência de variáveis dendrométricas e morfométricas da copa no incremento periódico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze, Lages, SC. 2011, 148f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- DANCEY, C.P.; REIDY, J. Estatística sem matemática para psicologia. 5 ed, Porto Alegre: Penso, 2013, 609p.
- DIONÍSIO, L.F.S.; ARAÚJO, H.X.; CORREIA, R.G.; MARTINS, W.B.R.; COSTA, J.S.; MACIEL, F.C.S. Influência do primeiro desbaste na morfometria de *Tectona grandis* L.f. em Roraima. *Floresta e Ambiente*, v. 25, n. 1, p. 8, 2018.
- DURLO, M.A.; DENARDI, L. Morfometria de *Cabralea canjerana*, em mata secundária nativa do Rio grande do Sul. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 55 – 66, 1998.
- DURLO, M.A. Relações morfométricas para *Cabralea canjerana* (Well.) Mart. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 141-149, 2001.
- DURLO, M.A.; SUTILI, F.J.; DENARDI, L. Modelagem da copa de *Cedrela fissilis* Vellozo. *Ciência Florestal*, v. 14, n. 2, p. 79-89, 2004.
- GALARÇA, S.P.; LIMA, C.S.M.; SILVEIRA, G.; RUFATO, A.R. Correlação de Pearson e análise de trilha para caracterizar porta enxerto de *Pyrus communis* L. *Ciência e agrotecnologia*, Lavras, v. 34, n. 4, p. 860-869, 2010.
- GUEDES, S. F. F. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais no Planalto dos Campos Gerais, SC. 2005, 58f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages.
- HIRAMATSU, N.A. Equações de volume comercial para espécies nativas na região do vale Jarí, Amazônia Oriental. 2008, 108f. Dissertação (Mestrado em engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná.
- KLEIN, D.R. Morfometria e crescimento diamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no planalto sul catarinense. 2017, 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina.

KLEIN, D.R.; HESS, A.F.; KREFTA, S.M.; VIEIRA FILHO, M.D.H.V.; CIARNOSCKI, L.D.; COSTA, D.C. Relações morfométricas para *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze em Santa Catarina. Floresta, Curitiba, v. 47, n. 4, p. 501-512, 2017.

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, 2006.

NUTTO, L. Manejo do crescimento decamétrico de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze baseado na árvore individual. Ciência Florestal, Santa Maria, v.11, n.2, p.9-25, 2001.

NUTTO, L.; TONINI, H.; BORSOI, G.A.; MOSKOVICH, F.A.; SPATHELF, P. Utilização dos parâmetros da copa para avaliar o espaço vital em povoamentos de *Pinus elliottii* Engelm. Boletim da Pesquisa Florestal, Colombo, n. 42, p. 123-138, 2001.

OLIVEIRA, T.M.; MADI, J.P.S.; CERQUEIRA, C.L.; MILLIKAN, P.H.K.; CARVALHO, M.P.L.C.; CARVALHO, S.P.C. Relações morfométricas para árvores de *Tectona grandis*. Advances in Forestry Science, Cuiabá, v. 5, n. 4, p. 461-465, 2018.

PADOIN, V.; FINGER, C. A. G. Relações entre as dimensões da copa e a altura das árvores dominantes em povoamentos de *Pinus taeda*. Ciência Florestal, Santa Maria, v.20, n.2, p.97-106, 2010

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

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

ROVEDA, M.; DALGALLO, B.; DIAS, A. N.; FIGUEIREDO FILHO, A.; MULLER, C. S. Morfometria de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) In: IV Congresso Florestal Paranaense, 2012, Curitiba. IV Congresso Florestal Paranaense, 2012.

SANQUETTA, C.R.; BEHLING, A.; CORTE, A.P.D.; FERENADES, A.C.; BECKERT, S.M.; SIMON, A.A. Equações para estimativa do diâmetro de copa para Acácia-negra. Floresta e Ambiente, p. 14, 2014.

SILVA, F.A.; FORTES, F.O.; RIVA, D.; SCHORR, L.P.B. Caracterização de índices morfométricos para *Araucaria angustifolia* plantada na Região Norte do Rio Grande do Sul. Advances in Forestry Science, Cuiabá, v. 4, n. 3, p. 143-146, 2017.

SEBRAE. Santa Catarina em números: Campo Belo do Sul. Florianópolis: Sebrae, SC, 2010, 144p.

SILVEIRA, B.D.; FLORIANO, E.P.; NAKAJIMA, N.Y.; HOSOKAWA, R.T.; ROSOT, N.C.; GRACIOLI, C.R. Relação da morfometria e competição com o crescimento de *Trichilia clausenii* em um fragmento de floresta semidecidual, RS. Floresta, Curitiba, PR, v. 45, n. 2, p. 373-382, 2015.

TEO, S. J.; MARCON, A.; EHLERS, T.; BIANCHI, J. C.; PELOSO, A. NAVA, P. R.; COSTA, R. H. Modelos de afilamento para *Pinus elliottii* em diferentes idades, na região de Caçador, SC. Floresta, Curitiba, v.43, n.3, p.439-452, 2011.

TONINI, H.; ARCO-VERDE, M.F. Morfologia da copa para avaliar o espaço vital de quatro espécies nativas da Amazônia. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 40, n.7, p. 633-638, 2005.

TRINDADE, R.N.R.; LAFETÁ, B.O.; AGUIAR, V.F.; SILVA, A.G.; FERRARO, A.C.; PENIDO, T.M.A.; VIEIRA, D.S. Morfometria da copa de povoamentos de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden x *E. urophylla* S.T. Blake em diferentes espaçamentos de plantio. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 47, n. 121, p. 83-91, 2019.

WEBER, V.P.; FINGER, C.A.G.; FLEIG, F.D.; SOUZA, C.A.M.; MUNARETO, F.F.; SILVA, L.T.M. Diretrizes para desbaste de *Pinus taeda* L. em função da altura dominante. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 193-201, 2013.

WINK, C.; MONTEIRO, J.S.; REINERT, D.J.; LIBERALESSO, E. Parâmetros da copa e a sua relação com o diâmetro e altura das árvores de eucalipto em diferentes idades. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 40, n. 93, p. 057-067, mar. 2012.

ZIMMERMANN, A.P.L.; COSTA, E.A.; SCHRÖDER, T.; FLEIG, F.D. Modelagem do incremento diamétrico de *Pinus taeda* em função de variáveis da copa e índices de competição. Revista Floresta, Curitiba, PR, v. 46, n.1, p. 115-122, 2016.

### CAPÍTULO III

#### IMPACTO DE DIFERENTES REGIMES DE MANEJO NA PRODUÇÃO DE SORTIMENTOS FLORESTAIS EM *Pinus taeda* L.

##### RESUMO

O objetivo deste capítulo foi verificar a influência exercida por diferentes intensidades de desbastes, na produção de sortimentos florestais de um plantio de *P. taeda* aos 37 anos de idade, localizado no município de Campo Belo do Sul. Foram inventariadas 520 árvores, pertencentes a nove tratamentos de desbastes. Ao todo foram analisados cinco (5) sortimentos florestais, L1 ( $d \geq 35,0$  cm), L2 ( $d$  18,0 – 34,9 cm), S1 ( $d \geq 35,0$  cm), S2 ( $d$  15,0 – 34,9) e MPP ( $d$  8,0 – 14,9 cm). Para as estimativas dos volumes por sortimentos foi utilizado uma equação proveniente do polinômio do Quinto grau. Para definir o melhor tratamento, foram calculados as receitas atuais e o valor presente líquido (VPL), baseado nos preços atuais de mercado. Os tratamentos apresentam em média 28% da volumetria concentrada no sortimento de laminação, 70% para serraria e 2% para processo. Para as receitas, os tratamentos que receberam intervenções fortes apresentaram as maiores receitas, sendo o T5 apresenta receita bruta de R\$ 177.745,10 ha<sup>-1</sup>. Quando analisado o VPL, os tratamentos T5 e T7 apresentaram valores de R\$ 80.541,80 e R\$ 81.821,30, respectivamente. Todos os tratamentos possuem elevada volumetria para o sortimento de serraria. Todos os tratamentos são economicamente viáveis, mas intervenções mais fortes como as realizadas no T5 e T7 geraram maiores retornos econômicos para este estudo.

Palavras – chave: Floexel; Florestas Plantadas; Volumetria.

##### ABSTRACT

The purpose of this chapter was to verify the influence exerted by different thinning intensities, in the production of forest assortments from a plantation of *P. taeda* at 37 years of age, located in the municipality of Campo Belo do Sul. 520 trees, belonging to nine treatments. In all, five (5) forest assortments were analyzed, L1 ( $d \geq 35.0$  cm), L2 ( $d$  18.0 - 34.9 cm), S1 ( $d \geq 35.0$  cm), S2 ( $d$  15.0 - 34.9) and MPP ( $d$  8.0 - 14.9 cm). For the estimates of volumes by assortments, an equation from the fifth degree polynomial was used. To define the best treatment, current revenues and net present value (NPV) were calculated. The treatments present an average of 28% of the volume concentrated in the rolling assortment, 70% for sawmill and 2% for process. For recipes, treatments that received strong interventions had the highest revenues, with T5



presenting gross revenues of R\$ 177,745.10 ha<sup>-1</sup>. When the NPV was analyzed, treatments T5 and T7 with values of R\$ 80,541.80 and R\$ 81,821.30, respectively. All treatments have high volume for the sawmill assortment. All treatments are economically viable, but stronger interventions such as those performed at T5 and T7 generate greater economic returns for this study.

Keywords: Floexel; Planted Forests; Volumetry.

## 5.1 INTRODUÇÃO

A aplicação de técnicas de manejo em povoamentos florestais tem por objetivo agregar valor à madeira e se obter múltiplos produtos florestais (KOHLENER et al., 2015). Uma das técnicas de manejo mais aplicadas para este fim são desbastes, que visam favorecer as árvores remanescentes, com a diminuição da competição entre árvores. Os desbastes são resultados da junção do tipo (sistemático, pelo alto, por baixo), intensidade e peso de aplicação, geralmente definido com base no objetivo final do povoamento (DAVID et al., 2017). A aplicação de diferentes intensidades de desbastes ao longo do tempo, pode influenciar de forma significativas nas variáveis diâmetro à altura do peito, volume e área basal das árvores presentes no povoamento, e consequentemente nos sortimentos a serem retirados no final do ciclo.

A estimativa correta do volume total ou comercial faz com que empresários florestais tomem decisões mais precisas referentes as análises de investimentos e volumetria a ser retirada de cada área. Além disto, a precisão na estimativa do volume determina as dimensões da madeira colhida e exerce grande influência no rendimento econômico da empresa (RUFINI et al., 2010; STEPKA et al., 2017).

A busca pela maior precisão da estimativa do volume tem despertado o interesse pelo uso de funções de afilamento. Esse é o termo utilizado para descrever o perfil do fuste das árvores, e é definido como decréscimo do diâmetro ao longo do fuste (SILVA et al., 2011). As equações são conhecidas no meio florestal como funções de afilamento e são utilizadas para estimar o diâmetro em qualquer altura do fuste, da altura em qualquer diâmetro e do volume total ou até um diâmetro mínimo (YOSHITANI et al., 2012).

A partir de equações que descrevem o fuste dos indivíduos, são criadas tabelas de sortimentos, em que o volume é estimado para diferentes classes de uso, como laminação, serraria, celulose, energia ou para outros tipos de toras para atender as necessidades do mercado (QUEIROZ, 2006; OLIVEIRA et al., 2011).

O sortimento florestal é o seccionamento da árvore pelas dimensões de diâmetro e comprimento das toras pré-definidos, geram estimativas de multiprodutos que permitem ao

planejador florestal um maior retorno financeiro devido a destinação de produtos para um mercado pré-definido (FIGUEIREDO-FILHO et al., 2014). A análise dos sortimentos florestais é de extrema importância para o planejamento das atividades de manejo florestal, atividades de colheita e comercialização, pois permitem a agregar maior valor ao produto final, devido a obtenção de multiprodutos (GOMES et al., 1997; KOEHLER et al., 2014).

Diante disto, o objetivo deste capítulo foi verificar a influência exercida por diferentes intensidades de desbastes, na produção de sortimentos de madeira em um plantio *Pinus taeda* aos 37 anos de idade, localizado no município de Campo Belo do Sul, estado de Santa Catarina.

## 5.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 5.2.1 ÁREA DE ESTUDO E DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

A área de estudo e a descrição do experimento do presente estudo estão descrito no capítulo I.

### 5.2.2 INFORMAÇÕES COLETADAS

No inventário florestal foram mensuradas 520 árvores pertencentes a 18 parcelas em nove tratamentos, conforme descrito na Tabela 1 do capítulo 1. O número de árvores por tratamento e a descrição das variáveis diâmetro à altura do peito e altura estão descritos na Tabela 14.

Tabela 13. Descrição das variáveis diâmetro à altura do peito (dap) e altura total (h) das árvores de *P. taeda* aos 37 anos de idade.

| Tratamento         | n   | Média<br>dap (cm) | Mín.<br>dap (cm) | Máx.<br>dap (cm) | Média<br>h (m) | Mín.<br>h (m) | Máx.<br>h (m) |
|--------------------|-----|-------------------|------------------|------------------|----------------|---------------|---------------|
| Sem desbastes (T0) | 162 | 33,4              | 22,9             | 49,0             | 32,6           | 25,6          | 38,9          |
| Fraco (T1)         | 52  | 44,8              | 29,9             | 60,2             | 36,4           | 25,8          | 45,3          |
| Fraco/ médio (T2)  | 52  | 45,2              | 35,4             | 52,4             | 33,8           | 29,9          | 36,7          |
| Médio (T3)         | 63  | 45,2              | 32,3             | 62,5             | 33,5           | 28,1          | 38,7          |
| Médio/médio (T4)   | 51  | 46,7              | 34,2             | 60,5             | 30,5           | 22,1          | 36,1          |
| Médio/forte (T5)   | 46  | 52,9              | 39,8             | 64,6             | 35,9           | 31,1          | 38,5          |
| Sistemático (T6)   | 38  | 55,9              | 44,0             | 68,8             | 33,9           | 27,2          | 39,3          |
| Forte (T7)         | 34  | 57,5              | 43,8             | 79,3             | 34,2           | 29,0          | 40,1          |
| Extremo (T8)       | 22  | 65,7              | 50,9             | 79,8             | 34,2           | 32,0          | 37,0          |

Em que: N: número de árvores inventariadas em cada tratamento; Mín: valor mínimo obtido da variável dendrométrica; Máx.: valor máximo obtido da variável dendrométrica.

### 5.2.3 Estimativa volumétrica dos sortimentos

Para as estimativas do volume total e por sortimentos, foi utilizada uma equação proveniente do Polinômio do Quinto Grau (SCHÖEPFER, 1966). Os parâmetros de precisão da equação selecionada foram de 96,7% para o coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ) e 7,3% para o erro padrão da estimativa ( $Sy.x\%$ ). Para se obter esta equação foram cubadas 166 árvores, com diâmetro variando entre 25,0 a 60,0 cm e com idade  $\geq 30$  anos, sendo 72 árvores com idade de 30 anos, 48 árvores com 31 anos, 19 árvores com 32 anos, 27 árvores com 34 anos.

A estimativa do volume total e sortimentos foi realizado por meio do Polinômio do 5º grau.

$$\frac{d_i}{dap} = 0,8684 + 1,1080 \left(\frac{h_i}{h}\right) - 7,9757 \left(\frac{h_i}{h}\right)^2 + 18,9491 \left(\frac{h_i}{h}\right)^3 - 21,2809 \left(\frac{h_i}{h}\right)^4 + 8,3966 \left(\frac{h_i}{h}\right)^5$$

Isolando  $d_i$ , temos a seguinte função de afilamento, em que é possível estimar o diâmetro a qualquer altura, desde que seja fornecido o diâmetro a altura do peito e a altura total.

$$d_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot dap \left(\frac{h_i}{h}\right) + \beta_2 \cdot dap \left(\frac{h_i}{h}\right)^2 + \beta_3 \cdot dap \left(\frac{h_i}{h}\right)^3 + \beta_4 \cdot dap \left(\frac{h_i}{h}\right)^4 + \beta_5 \cdot dap \left(\frac{h_i}{h}\right)^5$$

Para se obter a função de afilamento para a estimativa do volume se fez a seguinte simplificação:

$$C_0 = \beta_0 \quad C_1 = \frac{\beta_1}{h} \quad C_2 = \frac{\beta_2}{h^2} \quad C_3 = \frac{\beta_3}{h^3} \quad C_4 = \frac{\beta_4}{h^4} \quad C_5 = \frac{\beta_5}{h}$$

Após a simplificação a função de afilamento assumiu a seguinte expressão:

$$d_i = dap(C_0 + C_1 h_i + C_2 h_i^2 + C_3 h_i^3 + C_4 h_i^4 + C_5 h_i^5)_i$$

Ao integrar a função anterior é possível obter o volume entre os limites inferior ( $h_1$ ) e superior ( $h_2$ ), conforme demonstrado abaixo.

$$v = k \cdot dap^2 \int_{h_1}^{h_2} (C_0 + C_1 h_i + C_2 h_i^2 + C_3 h_i^3 + C_4 h_i^4 + C_5 h_i^5) \delta h_i$$

Integrando-se a equação se obtêm a função abaixo que foi utilizado para estimar o volume de cada sortimento avaliado.

$$v = \frac{\pi}{40000} \text{ dap}^2 \left[ \begin{aligned} & \frac{1}{11} \left( \frac{\beta_5^2 h^{11}}{h^{10}} \right) + \frac{1}{5} \left( \frac{\beta_4 \beta_5}{h^9} \right) + \frac{1}{9} \left( \frac{2\beta_5 \beta_3}{h^8} + \frac{\beta_4^2}{h^8} \right) h^9 + \\ & \frac{1}{8} \left( \frac{2\beta_3 \beta_4}{h^7} + \frac{2\beta_5 \beta_2}{h^7} \right) h^8 + \frac{1}{7} \left( \frac{2\beta_2 \beta_4}{h^6} + \frac{2\beta_5 \beta_1}{h^6} + \frac{\beta_3^2}{h^6} \right) h^7 + \\ & \frac{1}{6} \left( \frac{2\beta_1 \beta_4}{h^5} + \frac{2\beta_3 \beta_2}{h^5} + \frac{2\beta_5 \beta_0}{h^5} \right) h^6 + \frac{1}{5} \left( \frac{\beta_2^2}{h^4} + \frac{2\beta_4 \beta_0}{h^4} + \frac{2\beta_1 \beta_3}{h^4} \right) h^5 + \\ & \frac{1}{4} \left( \frac{2\beta_3 \beta_0}{h^3} + \frac{2\beta_1 \beta_2}{h^3} \right) h^4 + \frac{1}{3} \left( \frac{\beta_1^2}{h^2} + \frac{2\beta_2 \beta_0}{h^2} \right) h^3 + \frac{\beta_0 \beta_1 h t^2}{h} + \beta_0 h \end{aligned} \right]$$

Em que:  $\beta_i$ : parâmetros da equação; v: volume individual, em m<sup>3</sup>; h: altura comercial, em m; ht: altura total, em m; dap: diâmetro à altura do peito, em cm.

#### 5.2.4 ANÁLISE DOS SORTIMENTOS

Para a análise dos sortimentos florestais nos diferentes tratamentos foi utilizado o módulo de inventário florestal para florestas plantadas do programa FlorExel®. Este suplemento para planilhas em Excel® fornece o volume comercial, por sortimentos e volume total, incluindo volume do fuste, toco e ponteira para o número total de árvores, assim como as estimativas por hectare, através da equação selecionada. Para que isto ocorra, é necessário fornecer ao programa informações do talhão, como dap, altura total, altura de poda e códigos de qualidade, como normal, bifurcada ou torta, além das dimensões dos sortimentos.

Os sortimentos avaliados foram definidos com base no diâmetro da ponta fina e comprimento das toras (Tabela 15). Para os sortimentos de laminação, L1 e L2, foram contabilizadas apenas as duas primeiras toras de cada árvore, diferentemente do sortimento de serraria (S1 e S2) e madeira para processo (MPP).

No sortimento L1, foram contabilizadas apenas as duas primeiras toras de cada tora com diâmetro maior ou igual  $\geq 35,0$  cm, uma vez que são toras podadas e apresentam menor núcleo nodoso, sendo consideradas um produto diferenciado, com elevado valor agregado. Diferentemente do L1, para a serraria (S1) foram contabilizadas todas as toras que apresentaram diâmetro da ponta fina  $\geq 35,0$  cm, independentemente da posição da tora.

Os valores dos sortimentos foram obtidos através de dados de mercado aplicados na região de Lages, Santa Catarina.

Tabela 14. Classes de sortimentos que foram analisados para *P. taeda*, no município de Campo Belo do Sul, Santa Catarina.

| Destinação                  | Sortimento  | D <sub>mín</sub> (cm) | D <sub>máx</sub> (cm) | Comp. (m) | R\$ m <sup>3</sup> |
|-----------------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------|--------------------|
| Laminação (L1)              | ≥ 35,0      | 35,0                  | -                     | 2,7       | 373,80             |
| Laminação (L2)              | 18,0 - 34,9 | 18,0                  | 24,9                  | 2,7       | 133,00             |
| Serraria (S1)               | ≥ 35,0      | ≥35,0                 | -                     | 2,7       | 261,00             |
| Serraria (S2)               | 15,0-34,9   | 15,0                  | 34,9                  | 2,7       | 75,00              |
| Madeira para processo (MPP) | 8,0 - 14,9  | 8,0                   | 14,9                  | 3,1       | 40,00              |

Em que: L: laminação; S: serraria; MPP: madeira para processo; D<sub>mín</sub>: diâmetro mínimo, em cm; D<sub>máx</sub>: diâmetro máximo, em cm; Comp.: comprimento da tora, em m.

A integração da equação para a estimativa do volume foi realizada usando a função *integrate* associada a função *mapply*, ambas do software R. O gráfico de proporção de volume por sortimento foi gerado através do pacote *ggplot2*, do software R versão 3.6 (R CORE TEAM, 2019).

### 5.2.5 ANÁLISE ECONÔMICA

Para a análise econômica do povoamento foi necessário o cálculo da receita e dos custos do povoamento. As receitas foram obtidas ao multiplicar o volume ha<sup>-1</sup> removido a cada desbaste e aos 37 anos, pelo seu respectivo valor. As despesas de custos estão descritas na Tabela 16.

Tabela 15. Custos para implantação de desenvolvimento do povoamento de *P. taeda*, no Estado de Santa Catarina.

| Descrição                     | Ano   | Valor     | Unidade              |
|-------------------------------|-------|-----------|----------------------|
| Valor da terra                | 0     | 20.000,00 |                      |
| Estabelecimento do povoamento | 1     | 4.400,00  |                      |
| Tratos culturais              | 2     | 850,00    |                      |
| Tratos culturais              | 3     | 640,00    |                      |
| Poda                          | 4     | 560,00    |                      |
| 2ª Poda                       | 5     | 560,00    | R\$ ha <sup>-1</sup> |
| 3ª Poda                       | 6     | 560,00    |                      |
| 4ª poda                       | 7     | 750,00    |                      |
| Administração anual           | Todos | 470,00    |                      |

Para definir o melhor tratamento foram calculados o VPL para cada tratamento, conforme descrito abaixo. A taxa de juros utilizado foi de 8% a.a.

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j}$$

Onde: VPL = Valor Presente Líquido (R\$);  $R_j$  = valor anual das receitas (R\$);  $C_j$  = valor anual dos custos (R\$);  $i$  = taxa de juros (%);  $j$  = período de acontecimentos das receitas ou custos;  $n$  = número máximo de períodos.

No cálculo do VPL além da receita atual, foram consideradas as receitas obtidas nos desbastes realizados nos anos de 1986, 1989, 1992, 1995, 2000 e 2011, conforme Tabela 17.

Tabela 16. Receitas obtidas nos desbastes realizados no povoamento de *P. taeda* no Estado de Santa Catarina.

|    | 1986<br>(R\$ ha <sup>-1</sup> ) | 1989<br>(R\$ ha <sup>-1</sup> ) | 1992<br>(R\$ ha <sup>-1</sup> ) | 1995<br>(R\$ ha <sup>-1</sup> ) | 2000<br>(R\$ ha <sup>-1</sup> ) | 2011<br>(R\$ ha <sup>-1</sup> ) |
|----|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| T0 | 0,0                             | 0,0                             | 0,0                             | 0,0                             | 0,0                             | 0,0                             |
| T1 | 11,8                            | 0,0                             | 2.775,8                         | 8.636,0                         | 10.289,1                        | 13.830,1                        |
| T2 | 17,2                            | 1.311,0                         | 2.706,7                         | 8.500,3                         | 8.548,7                         | 13.784,6                        |
| T3 | 24,4                            | 0,0                             | 3.345,2                         | 11.918,9                        | 7.344,2                         | 12.033,7                        |
| T4 | 5,9                             | 1.431,3                         | 3.291,9                         | 10.288,7                        | 3.191,3                         | 12.004,2                        |
| T5 | 35,0                            | 3.032,6                         | 2.237,2                         | 10.124,1                        | 0,0                             | 18.343,3                        |
| T6 | 25,2                            | 1.673,7                         | 8.084,5                         | 3.302,7                         | 0,0                             | 14.393,8                        |
| T7 | 112,1                           | 2.598,0                         | 4.563,0                         | 11.758,9                        | 0,0                             | 17.363,3                        |
| T8 | 68,0                            | 0,0                             | 7.844,7                         | 5.849,9                         | 0,0                             | 10.893,1                        |

Em que: T0: sem desbaste; T1: desbaste fraco; T2: desbaste fraco/médio; T3: desbaste médio; T4: desbaste médio/médio; T5: desbaste médio/forte; T6: desbaste sistemático; T7: desbaste forte; T8: desbaste extremo.

### 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 5.3.1 ANÁLISE DOS SORTIMENTOS FLORESTAIS

A volumetria para os sortimentos analisados de cada tratamento pode ser observada na Tabela 18. No tratamento sem desbaste (T0) foi observado aproximadamente 51,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> para madeira de processo (MPP), resultado superior aos dos demais tratamentos. A partir do momento que intervenções são aplicadas nos povoamentos, os mesmos passam a apresentar maior volumetria para os maiores sortimentos florestais, fato verificado, quando comparado com o sem desbaste (T0), o extremo (T8) possui a menor volumetria para esta classe de sortimento. Quanto aos demais tratamentos, a volumetria da MPP variou entre 16,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T3) a 7,9 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (T7).

Para o T0 o sortimento de serraria apresenta 62,4%, aproximadamente 706,5 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, do volume das árvores concentrado na classe de 15,0 – 34,9 cm e para laminação, 322,6 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> pertence a classe de 18,0 – 34,9 cm. O T0 e T2 são os únicos que não possuem volume para a classe de laminação > 35,0 cm.

Os tratamentos fraco (T1), fraco/médio (T2) e médio (T3) concentram seus volumes na classe de 15,0 – 34,9 cm. Enquanto os demais tratamentos possuem seus maiores valores para serraria > 35,0 cm. Diferentemente da serraria, na laminação os tratamentos possuem volumetria superior na classe de 18,0 – 34,9 cm e apenas o forte (T7) e extremo (T8) apresentam árvores pertencentes a maior classe de laminação avaliado, L>35,0 cm. Para Santos (2019) é esperado que ocorra uma diminuição na proporção de volume nas menores classes de sortimentos quando são realizados intervenções em povoamentos florestais, pois com o aumento do diâmetro, é possível retirar toras maiores e consequentemente com sortimentos de maior valor.

Tabela 17. Volume (m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) por sortimentos dos tratamentos avaliados para *P. taeda* aos 37 anos em Santa Catarina.

| Sortimentos | Dimensões | T0      | T1    | T2    | T3    | T4    | T5    | T6    | T7    | T8    |
|-------------|-----------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Laminação   | L1        | 0,0     | 20,9  | 0,0   | 12,6  | 6,4   | 70,5  | 103   | 119,2 | 147,2 |
|             | L2        | 322,6   | 164,8 | 186,4 | 216,3 | 190   | 156,5 | 106,8 | 81,1  | 20,5  |
| Serraria    | S1        | 48,9    | 135,9 | 229,4 | 282,1 | 215,1 | 449,2 | 426,9 | 432,7 | 395,9 |
|             | S2        | 706,5   | 270,6 | 244,7 | 292,4 | 210,1 | 171,1 | 106,5 | 102,6 | 35,6  |
| MPP         | MPP       | 54,1    | 13,7  | 13,3  | 16,6  | 14,1  | 12,6  | 9,7   | 7,9   | 4,7   |
| Total       | -         | 1.132,1 | 605,9 | 673,8 | 820,0 | 635,7 | 859,9 | 752,9 | 743,5 | 603,9 |

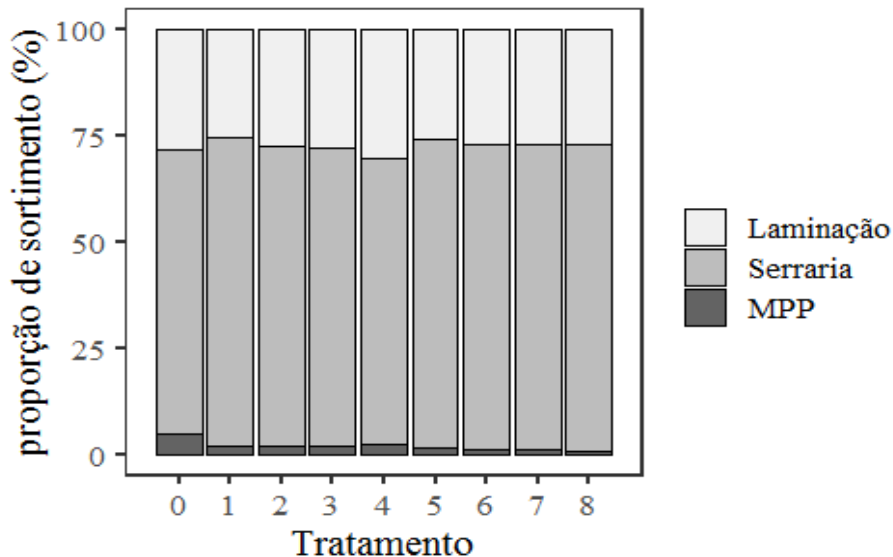
Em que: T0: sem desbaste; T1: desbaste fraco; T2: desbaste fraco/médio; T3: desbaste médio; T4: desbaste médio/médio; T5: desbaste médio/forte; T6: desbaste sistemático; T7: desbaste forte; T8: desbaste extremo; MPP: Madeira para processo.

Quando analisado por conjunto de sortimentos (laminação, serraria e madeira para processo), foi verificado que apesar das diferentes intensidades de desbastes aplicados ao longo do tempo, os tratamentos apresentaram tendências semelhantes, com média de 28% do volume concentrado no sortimento de laminação, 70% para serraria e 2% de madeira para processo (Figura 23). A proporção de laminação semelhante entre os tratamentos está associada a prática da região em utilizar apenas a 1 e 2ª tora de cada árvore para laminação, além disto, a presença de elevada volumetria para os povoamentos que receberam intervenções mais leves, ocorreu

provavelmente em razão da compensação do grande número de árvores nos tratamentos não desbastado e desbastes leves.

Diferentes resultados para a proporção do volume para os sortimentos de laminação foram encontrados na literatura quando comparados aos deste estudo. Koehler et al. (2015) verificaram que um plantio de *Pinus* aos 22 anos de idade, apresentava aproximadamente 75% do volume para o sortimento de laminação, considerando diâmetro da ponta fina a partir de 25 cm. No estudo de Figueiredo Filho et al. (2015) a proporção para laminação foi de 47,68% para um povoamento de *P. elliottii* aos 23 anos, no município de Telêmaco Borba, considerando diâmetro da ponta fina  $\geq 25,0$  cm. No entanto, os autores destinaram todas as toras com diâmetro da ponta fina  $\geq 25,0$  cm para laminação, esendo o restante para serraria e processo. Neste estudo, foi contabilizado contabilizar apenas as duas primeiras toras e acima de 18 cm de diâmetro para laminação, e as demais para serraria ou para processo, dependendo do diâmetro da extremidade menor da tora.

Figura 23. Proporção do volume para laminação, serraria e madeira para processo do povoamento de *P. taeda* aos 37 anos.



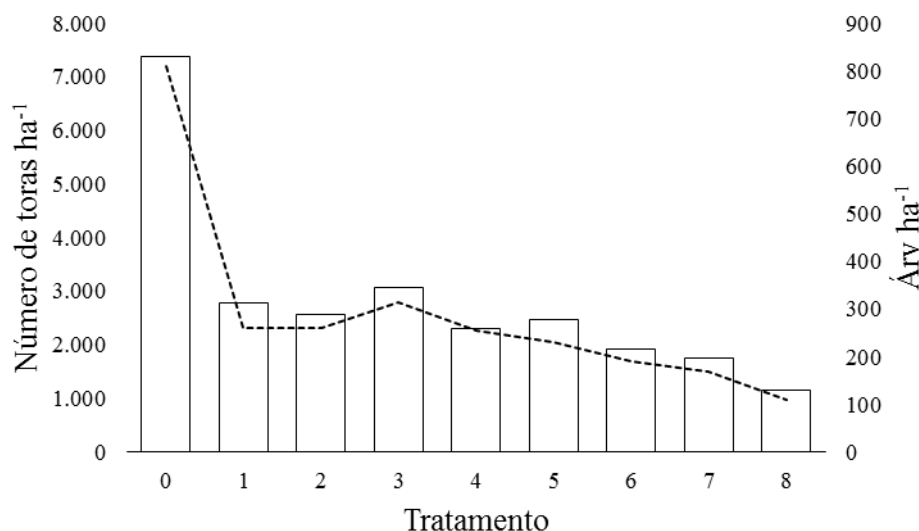
Em que: 0: sem desbaste; 1: desbaste fraco; 2: desbaste fraco/médio; 3: desbaste médio; 4: desbaste médio/médio; 5: desbaste médio/forte; 6: desbaste sistemático; 7: desbaste forte; 8: desbaste extremo.

Para o número de toras  $ha^{-1}$  foi possível observar que em média são obtidas nove toras dos diferentes sortimentos para cada árvore. Conforme Figura 24, o número de toras nos



tratamentos variou entre 7.375 toras  $\text{ha}^{-1}$  provenientes de 810 árv  $\text{ha}^{-1}$  para o sem desbaste (T0) a 1.145 toras  $\text{ha}^{-1}$  pertencentes a 110 árv  $\text{ha}^{-1}$  (T8).

Figura 24. Número de toras  $\text{ha}^{-1}$  de cada tratamento avaliado para o povoamento de *P. taeda* aos 37 anos de idade.



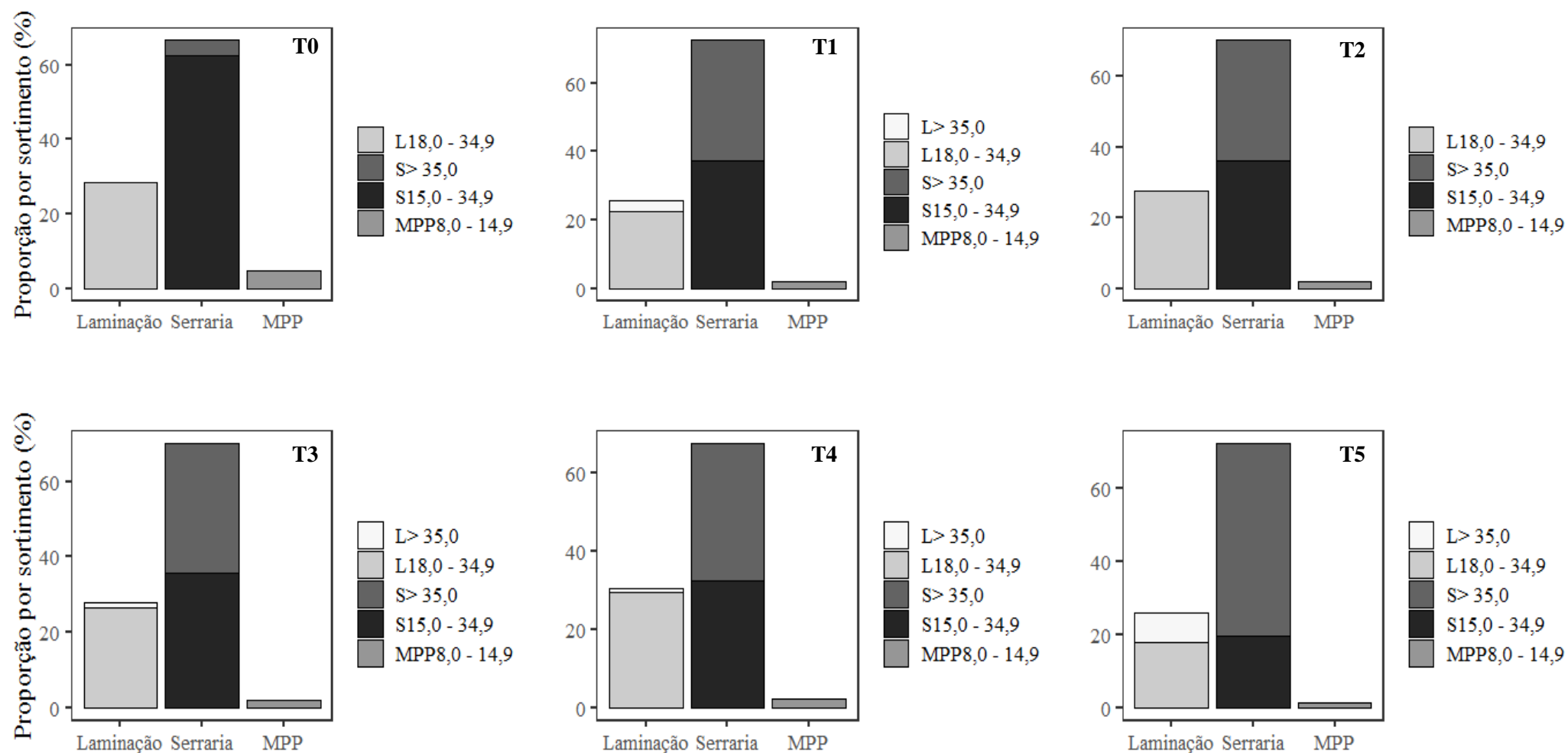
Em que: 0: sem desbaste; 1: desbaste fraco; 2: desbaste fraco/médio; 3: desbaste médio; 4: desbaste médio/médio; 5: desbaste médio/forte; 6: desbaste sistemático; 7: desbaste forte; 8: desbaste extremo.

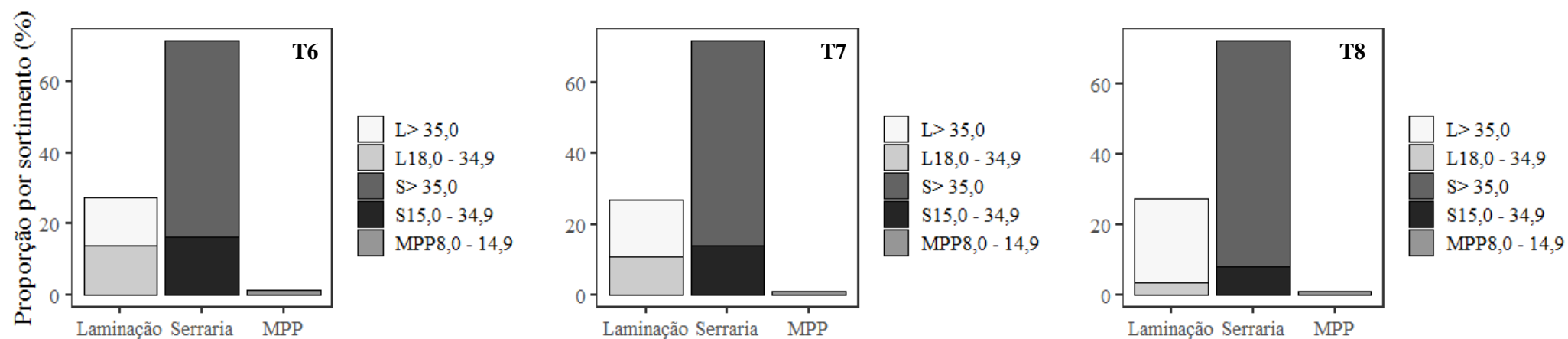
Ao avaliar os gráficos de proporção dos sortimentos por meio da Figura 25, observa-se o reflexo positivo do aumento da intensidade dos desbastes no volume das árvores. O T1, mesmo com a retirada de apenas uma árvore concorrente para cada árvore potencial, mostra que a proporção dos sortimentos para as maiores classes  $L \geq 35,0$  e  $S \geq 35,0$  se elevou e a menor classe, MPP 8,0 - 14,9, reduziu quando comparado T0 (não desbastado). A redução que ocorreu na classe laminação não foi observada nos tratamentos de maior intensidade, o que indica que intervenções mais severas na floresta resulta em árvores de maior volume individual e valor comercial, visto que ocorre um aumento na proporção de sortimento na laminação  $\geq 35,0$ . Esse comportamento é melhor ilustrado no gráfico do tratamento extremo T8 (Figura 25), onde aproximadamente 25% se concentra quase que exclusivamente em  $L \geq 35,0$  cm. Intervenções mais intensas, com a remoção do maior número de concorrentes diretos, resultam em incrementos individuais maiores, refletindo positivamente no retorno volumétrico da floresta.

Quanto maior o número de desbastes e mais fortes as intervenções, mais rapidamente será produzido madeira para serraria e laminação nas maiores classes (MACHADO;

SCOLFORO, 1996). Para Sanquetta et al. (1998) ao analisarem plantios adensados de *P. taeda* com objetivo de maior produção para laminação, afirmam que há concentração de volume principalmente nas maiores classes, o ideal seria aplicar desbastes mais fortes no povoamento. Nesse estudo foi possível verificar a crescente na concentração da volumetria de laminação,  $L \geq 35,0$ , à medida que se intensifica os desbastes (Figura 25). A mesma tendência foi observada para o maior sortimento de serraria. Esta tendência é explicada pois a medida que se aplicam desbastes nos povoamentos, ocorre um deslocamento das árvores para classes diamétricas superiores, o que favorece a concentração do volume nos maiores sortimentos que vierem a ser utilizados (MACHADO; SCOLFORO, 1996).

Figura 25. Proporção dos sortimentos florestais de *P. taeda* pertencentes aos diferentes tratamentos avaliados aos 37 anos de idade.





Em que: T0: sem desbaste; T1: desbaste fraco; T2: desbaste fraco/médio; T3: desbaste médio; T4: desbaste médio/médio; T5: desbaste médio/forte; T6: desbaste sistemático; T7: desbaste forte; T8: desbaste extremo; L: laminação; S: serraria; MPP: madeira para processo.

### 5.3.2 ANÁLISE ECONÔMICA

Na Tabela 19 estão descritos a receita bruta atual (R\$ ha<sup>-1</sup>) e o VPL dos sortimentos aos 37 anos de idade. Apesar das diferenças existentes entre os tratamentos avaliados, foi verificado que o tratamento com desbaste fraco (T1) possui a menor receita bruta. Praticamente a mesma receita foi obtida nos tratamentos que receberam intervenções mais fortes (T5, T6 e T7), com resultados variando entre R\$172.502,20 (T6) a R\$177.745,10 (T5). Ao comparar o não desbastado com os desbastes fracos/intermediários, exceto desbaste fraco (T1), existe uma diferença de apenas R\$18.879,7 por hectare.

Apesar do menor número de árvores ha<sup>-1</sup> existentes no talhão que recebeu desbaste extremo (T8), a receita bruta obtida foi superior aos tratamentos que receberam intervenções mais leves/intermediários. Apresentando resultado inferior apenas quando comparado aos tratamentos médio/forte (T5), sistemático (T6) e forte (T7).

Tabela 18. Receita bruta atual ha<sup>-1</sup> e VPL para os sortimentos florestais do povoamento de *P. taeda* aos 37 anos de idade.

|    | L1<br>(R\$ ha <sup>-1</sup> ) | L2<br>(R\$ ha <sup>-1</sup> ) | S1<br>(R\$ ha <sup>-1</sup> ) | S2<br>(R\$ ha <sup>-1</sup> ) | MPP<br>(R\$ ha <sup>-1</sup> ) | Total<br>(R\$ ha <sup>-1</sup> ) | VPL<br>(R\$ ha <sup>-1</sup> ) |
|----|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| T0 | 0,00                          | 42.905,80                     | 12.762,90                     | 52.987,50                     | 2.164,00                       | 110.820,20                       | 18.082,50                      |
| T1 | 7.812,40                      | 21.918,40                     | 35.469,90                     | 20.295,00                     | 548,00                         | 86.043,70                        | 27.905,70                      |
| T2 | 0,00                          | 24.791,20                     | 59.873,40                     | 18.352,50                     | 532,00                         | 103.549,10                       | 37.881,20                      |
| T3 | 4.709,90                      | 28.767,90                     | 73.628,10                     | 21.930,00                     | 664,00                         | 129.699,90                       | 53.119,10                      |
| T4 | 2.392,30                      | 25.270,00                     | 56.141,10                     | 15.757,50                     | 564,00                         | 100.124,90                       | 32.986,80                      |
| T5 | 26.352,90                     | 20.814,50                     | 117.241,20                    | 12.832,50                     | 504,00                         | 177.745,10                       | 80.541,80                      |
| T6 | 38.501,40                     | 14.204,40                     | 111.420,90                    | 7.987,50                      | 388,00                         | 172.502,20                       | 73.447,50                      |
| T7 | 44.557,00                     | 10.786,30                     | 112.934,70                    | 7.695,00                      | 316,00                         | 176.289,00                       | 81.821,30                      |
| T8 | 55.023,40                     | 2.726,50                      | 103.329,90                    | 2.670,00                      | 188,00                         | 163.937,8                        | 66.530,80                      |

Em que: T0: sem desbaste; T1: desbaste fraco; T2: desbaste fraco/médio; T3: desbaste médio; T4: desbaste médio/médio; T5: desbaste médio/forte; T6: desbaste sistemático; T7: desbaste forte; T8: desbaste extremo; L1: L ≥ 35,0 cm; L2: L18,0 – 34,9 cm; S1: S ≥ 35,0 cm; S2: 15,0-34,9 cm; MPP: 8,0-15,0 cm.

Os valores de VPL encontrados para os diferentes tratamentos foram positivos, sendo todos os tratamentos economicamente viáveis. Os resultados variaram entre R\$18.082,50 a R\$ 81.821,30, demonstrando que as intervenções ao longo dos anos exerceram influências nos resultados financeiros dos tratamentos. Intervenções leves a intermediárias geraram resultados de VPL variando entre R\$ 27.905,70 (T1) a R\$ 53.119,10 (T3). Ao realizar intervenções mais

fortes nos povoamentos no povoamento, foi possível obter os melhores resultados para o VPL, sendo que o T5 e T7 apresentam os maiores resultados, com VPL de R\$ 80.541,80 e R\$ 81.821,30, respectivamente.

Assim como o observado na presente pesquisa, Dobner Jr (2015) verificou que povoamentos de *P. taeda* aos 30 de idade submetidos a desbastes moderados e fortes apresentam VPL superior ao obtido no extremo e não desbastado. Menores resultados de VPL foram obtidos para diferentes projetos de *P. taeda* no Brasil, valores próximos a R\$ 4.732,11 ha<sup>-1</sup> (BROBOUSKI, 2004). Já para um povoamento de *Pinus taeda* no município de Prudentópolis, Vitale e Miranda (2010) obtiveram VPL de R\$ 36.143,99 ha<sup>-1</sup>. Em um estudo realizado por Acerbi Jr et al. (1999) o VPL obtido para o corte raso aos 21 anos de idade, com 1.667 árv ha<sup>-1</sup>, foi de R\$ 1.401,70 por hectare. A variação de VPL existente quando comparado este estudo com a literatura, foi associado principalmente as características de cada projeto, como número de árvores, idade, número de desbastes, valor dos sortimentos florestais, entre outros.

#### 5.4 CONCLUSÕES

Foi verificado que os tratamentos que receberam intervenções mais fortes possuem maior proporção de volume para as maiores classes de serraria e laminação. Enquanto o não desbastado possui concentração de volume para classe intermediária de serraria e laminação.

A não aplicação de desbastes favoreceu o desenvolvimento de toras finas e concentração do número de toras para a classe de serraria. Os sortimentos florestais dos tratamentos apresentaram tendências semelhantes, com concentração de 30% para laminação, 78% para serraria e 2% para madeira para processo.

Através do VPL foi observado que os tratamentos são economicamente viáveis, sendo que a aplicação de intervenções mais fortes, como as aplicadas no T5 e T7, ao longo do tempo traz um maior retorno econômico.

#### 5.5 REFERÊNCIAS

ACERBI JR, F.W.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D.; MAESTRI, R. Simulação e avaliação econômica de regimes de desbastes para *Pinus taeda* para obtenção de múltiplos produtos de madeira. Cerne, v. 5, n. 1, p. 81 – 102, 1999.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, K. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BROBOUSKI, W.J.P. Teoria das opções reais aplicada a um contrato de parceria florestal com preço mínimo. UFPR: Curitiba. 85 f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numérico) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DAVID, H.C.; PÉLLICO NETTO, S.; ARCE, J.E.; CORTE, A.P.C.; MARINHESKI FILHO, A.; ARAUJO, E.J.G. Efeito da qualidade do sítio e do desbaste na produção de *Pinus*. Revista Floresta e Ambiente, v. 24, p. 1-11, 2017.

DOSSA, D.; SILVA, H.D.; BELLOTE, A.F.J.; RODIGHIERI, H.R. Produção e rentabilidade de *Pinus* em empresas florestais. Comunicado técnico, EMBRAPA, Colombo, p. 6, 2002.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MACHADO, S.; A.; HOSOKAWA, R. T.; KIKUTI, P. Avaliação econômica da resinagem em floresta de *Pinus elliottii*. Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais - IPEF, Piracicaba, v. 45, p. 48-63, 1992.

FIGUEIREDO FILHO, A.; KOHLER, S.V.; FELDE, J.L.; DIAS, A.N. Dinâmica do afilamento do tronco e da produção de madeira em plantios de *Araucaria angustifolia*. Cerne, v. 20, n. 4, p. 595-603, 2014.

FORMENTO, S.; SCHORN, L.A.; RAMOS, R.A.B. Dinâmica estrutural arbórea de uma floresta Ombrófila Mista em Campo Belo do Sul, SC. Cerne, Lavras, v. 10, n. 2, p. 196-212, jul./dez., 2004.

GOMES, F.S.; MAESTRI, R.; SANQUETTA, C.R. Avaliação da produção em volume total e sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* L. submetidos a diferentes condições de espaçamento inicial e sítio. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 7, n. 1, p. 101 – 126, 1997.

IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira. Série manuais técnicos em geociências, n. 1. Rio de Janeiro: IBGE, 1992.

KOHLER, S.V. Evolução do afilamento do tronco e do sortimento em plantios de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina. 2013, 88f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná.

KOHLER, S.V.; WOLFF II, N.I.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J.E. Dinâmica do sortimento de plantios de *Pinus taeda* L. em diferentes classes de sítio no Sul do Brasil. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 42, n. 103, p. 403-410, set., 2014.

KOHLER, S.V.; KOEHLER, H.S.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARCE, J.E.; MACHADO, S.A. Evolução do sortimento em povoamentos de *Pinus taeda* nos estados do Paraná e Santa Catarina. Floresta, Curitiba, v. 45, n. 3, p. 44-554, 2015.

MAFRA, A.L.; GUEDES, S.F.F.; KLAUBERG FILHO, O.; SANTOS, J.C.P.; ALMEIDA, J.A.; ROSA, J.D. Carbono orgânico e atributos químicos do solo em áreas florestais. Revista Árvore, Viçosa-MG, v. 32, n. 2, p. 217-224, 2008.

OLIVEIRA, E.B.; NAKAJIMA, N.Y.; CHANG, M.; HALISKI, M. Determinação da quantidade de madeira, carbono e renda da plantação florestal. Embrapa Florestas, Documentos 220, Colombo, PR, 2011, 39p.

QUEIROZ, D. Avaliação de funções de afilamento e sortimentos para *Mimosa scabrella* Benth em povoamentos nativos da região metropolitana de Curitiba/PR. 2006. 134 f. (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

RUFINI, A.L.; SCOLFORO, J.R.S.; OLIVEIRA, A.D.; MELLO, J.M.; Equações volumétricas para o cerrado *Sensu stricto*, em Minas Gerais. Cerne, Lavras, v. 16, n. 1, p. 1-11, 2010.

SANQUETTA, C.R.; RESENDE, A.V.; GAIAD, D.; SCHAAF, L.B.; ZAMPIER, A.C. Produção de madeira para laminação em povoamentos de *Pinus taeda* submetidos a diferentes densidades e regimes de desbaste: uma abordagem experimental. Floresta, v. 28, n. 1, p. 83 – 99, 1998.

SCOLFORO, J.R.S.; MACHADO, S.A. Um sistema de crescimento e produção com simulador de desbaste. Scientia Forestalis, n. 50, p. 51 – 64, 1996.

SILVA, F.; CORTE, A.P.D.; SANQUETTA, C.R. Equações de afilamento para descrever o volume total do fuste de *Pinus caribea* var. *hondurensis* na região do triângulo mineiro. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 39, n. 91, p. 367-376, 2011.

STEPKA, T.F.; ZENY JUNIOR, G.A.; LISBOA, G.S.; CERQUEIRA, C.L.; PESCK, V.A.; ROIK, M. Modelos volumétricos e funções de afilamento para *Pinus taeda* L. na região dos Campos Gerais, Paraná, Brasil. Revista Spacios, v. 38, n. 21, p. 1-9, 2017.

VITALE, V.; MIRANDA, G.M. Análise comparativa da viabilidade econômica de Plantios de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* na região centro Sul do Paraná. Floresta, Curitiba, PR, v. 40, n. 3, p. 469 – 476, 2010.

YOSHITANI JUNIOR, M.; NAKAJIMA, N.Y.; ARCE, J.E.; MACHADO, S.A.; DRUSZCZ, J.P.; HOSOKAWA, R.T.; MELLO, A.A. Funções de afilamento para plantios desbastados de *Pinus taeda*. Floresta, v. 42, n. 1, p. 169-176, 2012.





## ANEXOS

Anexo A. Correlação entre as variáveis dendrométricas e morfométricas dos indivíduos de *P. taeda* do Tratamento 0 (testemunha), pelo teste de Pearson a 95% de probabilidade.

|     | T0                  |                     |                     |                    |                     |                     |                     |                    |       |       |       |
|-----|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------|-------|-------|
|     | Dap                 | H                   | Hic                 | dc                 | cc                  | Ac                  | pc                  | ge                 | Is    | ia    | fc    |
| dap | 1,00*               | -                   | -                   | -                  | -                   | -                   | -                   | -                  | -     | -     | -     |
| H   | 0,60*               | 1,00*               | -                   | -                  | -                   | -                   | -                   | -                  | -     | -     | -     |
| hc  | 0,46*               | 0,72*               | 1,00*               | -                  | -                   | -                   | -                   | -                  | -     | -     | -     |
| dc  | 0,56*               | 0,20 <sup>ns</sup>  | 0,08 <sup>ns</sup>  | 1,00*              | -                   | -                   | -                   | -                  | -     | -     | -     |
| cc  | 0,20 <sup>ns</sup>  | 0,38*               | -0,37*              | 0,17 <sup>ns</sup> | 1,00*               | -                   | -                   | -                  | -     | -     | -     |
| ac  | 0,54*               | 0,20 <sup>ns</sup>  | 0,09 <sup>ns</sup>  | 0,98*              | 0,15 <sup>ns</sup>  | 1,00*               | -                   | -                  | -     | -     | -     |
| pc  | -0,10 <sup>ns</sup> | -0,22 <sup>ns</sup> | 0,52*               | 0,14 <sup>ns</sup> | -0,98*              | -0,12 <sup>ns</sup> | 1,00*               | -                  | -     | -     | -     |
| ge  | -0,89*              | -0,20 <sup>ns</sup> | -0,18 <sup>ns</sup> | -0,57*             | -0,03 <sup>ns</sup> | -0,54*              | 0,00 <sup>ns</sup>  | 1,00*              | -     | -     | -     |
| is  | -0,13 <sup>ns</sup> | -0,27 <sup>ns</sup> | -0,31 <sup>ns</sup> | 0,73*              | 0,05 <sup>ns</sup>  | 0,71*               | -0,10 <sup>ns</sup> | 0,03 <sup>ns</sup> | 1,00* | -     | -     |
| ia  | 0,38*               | -0,10 <sup>ns</sup> | -0,14 <sup>ns</sup> | 0,95*              | 0,06 <sup>ns</sup>  | 0,93*               | -0,08 <sup>ns</sup> | -0,51*             | 0,84* | 1,00* | -     |
| fc  | 0,39*               | -0,04 <sup>ns</sup> | -0,25 <sup>ns</sup> | 0,94*              | 0,29 <sup>ns</sup>  | 0,92*               | -0,31 <sup>ns</sup> | -0,48*             | 0,82* | 0,97* | 1,00* |

Anexo B. Correlação entre as variáveis dendrométricas e morfométricas dos indivíduos de *P. taeda* do Tratamento 1, pelo teste de Pearson a 95% de probabilidade.

|     | T1                  |                     |                     |                     |                     |                     |                     |        |       |       |       |
|-----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------|-------|-------|-------|
|     | Dap                 | h                   | Hic                 | dc                  | Cc                  | Ac                  | pc                  | ge     | is    | ia    | fc    |
| dap | 1,00*               | -                   | -                   | -                   | -                   | -                   | -                   | -      | -     | -     | -     |
| H   | -0,13*              | 1,00*               | -                   | -                   | -                   | -                   | -                   | -      | -     | -     | -     |
| hic | -0,23*              | 0,17*               | 1,00*               | -                   | -                   | -                   | -                   | -      | -     | -     | -     |
| dc  | 0,80*               | -0,14 <sup>ns</sup> | -0,30 <sup>ns</sup> | 1,00*               | -                   | -                   | -                   | -      | -     | -     | -     |
| cc  | 0,18 <sup>ns</sup>  | 0,17*               | -0,94*              | 0,25 <sup>ns</sup>  | 1,00*               | -                   | -                   | -      | -     | -     | -     |
| ac  | 0,77*               | -0,21 <sup>ns</sup> | -0,33 <sup>ns</sup> | 0,96*               | 0,26 <sup>ns</sup>  | 1,00*               | -                   | -      | -     | -     | -     |
| pc  | -0,20 <sup>ns</sup> | -0,08 <sup>ns</sup> | 0,97*               | -0,27 <sup>ns</sup> | -0,98*              | -0,29 <sup>ns</sup> | 1,00*               | -      | -     | -     | -     |
| ge  | -0,96*              | 0,35 <sup>ns</sup>  | 0,25 <sup>ns</sup>  | -0,80*              | -0,13 <sup>ns</sup> | -0,75*              | 0,16 <sup>ns</sup>  | 1,00*  | -     | -     | -     |
| is  | 0,32 <sup>ns</sup>  | -0,07 <sup>ns</sup> | -0,25*              | 0,91*               | 0,23 <sup>ns</sup>  | 0,83*               | -0,25 <sup>ns</sup> | -0,56* | 1,00* | -     | -     |
| ia  | 0,80*               | -0,26 <sup>ns</sup> | -0,31*              | 0,99*               | 0,22 <sup>ns</sup>  | 0,97*               | -0,26 <sup>ns</sup> | -0,82* | 0,90* | 1,00* | -     |
| fc  | 0,73*               | -0,19 <sup>ns</sup> | -0,23 <sup>ns</sup> | 0,92*               | 0,29 <sup>ns</sup>  | 0,91*               | -0,59*              | -0,73* | 0,82* | 0,92* | 1,00* |

Anexo C. Correlação entre as variáveis dendrométricas e morfométricas dos indivíduos de *P. taeda* do Tratamento 2, pelo teste de Pearson a 95% de probabilidade.

|     | T2                  |                     |       |       |       |       |       |       |      |      |    |
|-----|---------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|----|
|     | dap                 | h                   | Hic   | Dc    | cc    | ac    | pc    | Ge    | is   | ia   | fc |
| dap | 1,00                | -                   | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -  |
| H   | 0,23 <sup>ns</sup>  | 1,00                | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -  |
| hic | 0,16 <sup>ns</sup>  | 0,56                | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -  |
| dc  | 0,47 <sup>ns</sup>  | 0,17 <sup>ns</sup>  | 0,37  | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -  |
| cc  | 0,11 <sup>ns</sup>  | 0,63                | -0,29 | -0,16 | 1,00  | -     | -     | -     | -    | -    | -  |
| ac  | 0,45 <sup>ns</sup>  | 0,15 <sup>ns</sup>  | 0,38  | 0,99  | -0,19 | 1,00  | -     | -     | -    | -    | -  |
| pc  | -0,04 <sup>ns</sup> | -0,40 <sup>ns</sup> | 0,53  | 0,24  | -0,96 | 0,27  | 1,00  | -     | -    | -    | -  |
| ge  | -0,86               | 0,30 <sup>ns</sup>  | 0,14  | -0,36 | 0,21  | -0,34 | -0,16 | 1,00  | -    | -    | -  |
| is  | 0,11 <sup>ns</sup>  | 0,11 <sup>ns</sup>  | 0,36  | 0,93  | -0,21 | 0,91  | 0,28  | -0,03 | 1,00 | -    | -  |
| ia  | 0,44 <sup>ns</sup>  | -0,03 <sup>ns</sup> | 0,27  | 0,98  | -0,29 | 0,97  | 0,33  | -0,43 | 0,91 | 1,00 | -  |

|    |                    |      |      |      |       |      |      |       |      |      |      |
|----|--------------------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|
| fc | 0,47 <sup>ns</sup> | 0,06 | 0,15 | 0,97 | -0,07 | 0,96 | 0,11 | -0,41 | 0,89 | 0,97 | 1,00 |
|----|--------------------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|

Anexo D. Correlação entre as variáveis dendrométricas e morfométricas dos indivíduos de *P. taeda* do Tratamento 3, pelo teste de Pearson a 95% de probabilidade.

| T3  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
|     | dap   | h     | Hic   | Dc    | cc    | ac    | pc    | ge    | is   | ia   | Fc   |
| dap | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| H   | 0,52  | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| hic | 0,08  | 0,65  | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| dc  | 0,57  | 0,07  | -0,15 | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| cc  | 0,54  | 0,48  | -0,36 | 0,26  | 1,00  | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| ac  | 0,54  | 0,12  | -0,12 | 0,99  | 0,28  | 1,00  | -     | -     | -    | -    | -    |
| pc  | -0,45 | -0,28 | 0,55  | -0,25 | -0,97 | -0,26 | 1,00  | -     | -    | -    | -    |
| ge  | -0,92 | -0,19 | 0,15  | -0,62 | -0,40 | -0,56 | 0,37  | 1,00  | -    | -    | -    |
| Is  | 0,05  | -0,28 | -0,26 | 0,84  | -0,05 | 0,84  | -0,01 | -0,17 | 1,00 | -    | -    |
| ia  | 0,47  | -0,12 | -0,27 | 0,98  | 0,16  | 0,96  | -0,19 | -0,59 | 0,89 | 1,00 | -    |
| fc  | 0,52  | -0,06 | -0,36 | 0,97  | 0,34  | 0,96  | -0,37 | -0,61 | 0,85 | 0,98 | 1,00 |

Anexo E. Correlação entre as variáveis dendrométricas e morfométricas dos indivíduos de *P. taeda* do Tratamento 4, pelo teste de Pearson a 95% de probabilidade.

| T4  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
|     | dap   | h     | hic   | dc    | cc    | ac    | pc    | ge    | is   | ia   | Fc   |
| dap | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| H   | 0,46  | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| hic | -0,14 | -0,10 | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| dc  | 0,46  | 0,49  | -0,20 | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| cc  | 0,27  | 0,40  | -0,95 | 0,34  | 1,00  | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| ac  | 0,45  | 0,48  | -0,20 | 1,00  | 0,33  | 1,00  | -     | -     | -    | -    | -    |
| pc  | -0,24 | -0,35 | 0,97  | -0,34 | -1,00 | -0,33 | 1,00  | -     | -    | -    | -    |
| ge  | -0,94 | -0,15 | 0,11  | -0,34 | -0,14 | -0,34 | 0,13  | 1,00  | -    | -    | -    |
| Is  | -0,25 | 0,19  | -0,14 | 0,74  | 0,19  | 0,74  | -0,21 | 0,33  | 1,00 | -    | -    |
| Ia  | 0,38  | 0,30  | -0,21 | 0,98  | 0,28  | 0,97  | -0,29 | -0,33 | 0,77 | 1,00 | -    |
| Fc  | 0,40  | 0,41  | -0,89 | 0,56  | 0,94  | 0,55  | -0,94 | -0,29 | 0,33 | 0,52 | 1,00 |

Anexo F. Correlação entre as variáveis dendrométricas e morfométricas dos indivíduos de *P. taeda* do Tratamento 5, pelo teste de Pearson a 95% de probabilidade.

| T5  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |    |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|----|
|     | dap   | h     | hic   | dc    | cc    | ac    | pc    | ge    | is   | ia   | Fc |
| dap | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -  |
| H   | -0,21 | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -  |
| Hic | 0,10  | 0,30  | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -  |
| Dc  | 0,58  | -0,35 | 0,16  | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -  |
| Cc  | -0,27 | 0,80  | -0,33 | -0,45 | 1,00  | -     | -     | -     | -    | -    | -  |
| Ac  | 0,54  | -0,34 | 0,16  | 0,99  | -0,44 | 1,00  | -     | -     | -    | -    | -  |
| Pc  | 0,27  | -0,70 | 0,46  | 0,43  | -0,99 | 0,42  | 1,00  | -     | -    | -    | -  |
| Ge  | -0,90 | 0,59  | 0,03  | -0,67 | 0,57  | -0,63 | -0,52 | 1,00  | -    | -    | -  |
| Is  | 0,05  | -0,31 | 0,13  | 0,85  | -0,39 | 0,85  | 0,36  | -0,24 | 1,00 | -    | -  |
| Ia  | 0,56  | -0,64 | 0,01  | 0,94  | -0,64 | 0,93  | 0,59  | -0,76 | 0,79 | 1,00 | -  |

|    |      |       |       |      |       |      |      |       |      |      |      |
|----|------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|
| Fc | 0,55 | -0,46 | -0,14 | 0,95 | -0,37 | 0,94 | 0,31 | -0,69 | 0,81 | 0,95 | 1,00 |
|----|------|-------|-------|------|-------|------|------|-------|------|------|------|

Anexo G. Correlação entre as variáveis dendrométricas e morfométricas dos indivíduos de *P. taeda* do Tratamento 6, pelo teste de Pearson a 95% de probabilidade.

| T6  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
|     | dap   | h     | hic   | dc    | cc    | Ac    | pc    | ge    | is   | ia   | Fc   |
| dap | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| h   | 0,25  | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| hic | -0,26 | 0,11  | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| dc  | 0,66  | 0,32  | -0,49 | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| cc  | 0,34  | 0,26  | -0,93 | 0,59  | 1,00  | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| ac  | 0,65  | 0,29  | -0,52 | 1,00  | 0,61  | 1,00  | -     | -     | -    | -    | -    |
| pc  | -0,32 | -0,14 | 0,97  | -0,57 | -0,99 | -0,60 | 1,00  | -     | -    | -    | -    |
| ge  | -0,96 | 0,00  | 0,28  | -0,58 | -0,27 | -0,58 | 0,29  | 1,00  | -    | -    | -    |
| is  | 0,04  | 0,24  | -0,41 | 0,78  | 0,49  | 0,77  | -0,47 | 0,04  | 1,00 | -    | -    |
| ia  | 0,65  | 0,17  | -0,53 | 0,99  | 0,58  | 0,99  | -0,58 | -0,60 | 0,77 | 1,00 | -    |
| fc  | 0,50  | 0,13  | -0,84 | 0,86  | 0,87  | 0,88  | -0,88 | -0,47 | 0,71 | 0,87 | 1,00 |

Anexo H. Correlação entre as variáveis dendrométricas e morfométricas dos indivíduos de *P. taeda* do Tratamento 7, pelo teste de Pearson a 95% de probabilidade.

| T7  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
|     | dap   | h     | hic   | dc    | cc    | ac    | pc    | ge    | is   | ia   | Fc   |
| dap | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| h   | 0,14  | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| hic | -0,38 | 0,11  | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| dc  | 0,61  | -0,05 | -0,12 | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| cc  | 0,42  | 0,52  | -0,79 | 0,07  | 1,00  | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| ac  | 0,60  | -0,03 | -0,14 | 1,00  | 0,10  | 1,00  | -     | -     | -    | -    | -    |
| pc  | -0,42 | -0,37 | 0,88  | -0,09 | -0,99 | -0,12 | 1,00  | -     | -    | -    | -    |
| ge  | -0,89 | 0,29  | 0,30  | -0,64 | -0,08 | -0,62 | 0,14  | 1,00  | -    | -    | -    |
| is  | -0,15 | -0,20 | 0,16  | 0,69  | -0,26 | 0,69  | 0,24  | 0,01  | 1,00 | -    | -    |
| ia  | 0,52  | -0,37 | -0,14 | 0,94  | -0,10 | 0,93  | 0,05  | -0,70 | 0,70 | 1,00 | -    |
| fc  | 0,71  | -0,10 | -0,71 | 0,76  | 0,55  | 0,77  | -0,62 | -0,69 | 0,33 | 0,74 | 1,00 |

Anexo I. Correlação entre as variáveis dendrométricas e morfométricas dos indivíduos de *P. taeda* do Tratamento 8, pelo teste de Pearson a 95% de probabilidade.

| T8  |       |       |       |       |       |       |      |      |    |    |    |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|----|----|----|
|     | dap   | h     | hic   | dc    | cc    | ac    | pc   | ge   | Is | ia | Fc |
| dap | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -  | -  | -  |
| h   | 0,25  | 1,00  | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -  | -  | -  |
| hic | -0,38 | -0,33 | 1,00  | -     | -     | -     | -    | -    | -  | -  | -  |
| dc  | 0,33  | 0,16  | -0,37 | 1,00  | -     | -     | -    | -    | -  | -  | -  |
| cc  | 0,41  | 0,68  | -0,92 | 0,35  | 1,00  | -     | -    | -    | -  | -  | -  |
| ac  | 0,29  | 0,21  | -0,38 | 1,00  | 0,38  | 1,00  | -    | -    | -  | -  | -  |
| pc  | -0,40 | -0,65 | 0,93  | -0,35 | -1,00 | -0,38 | 1,00 | -    | -  | -  | -  |
| ge  | -0,95 | 0,02  | 0,32  | -0,33 | -0,23 | -0,28 | 0,23 | 1,00 | -  | -  | -  |

|    |       |       |       |      |      |      |       |       |      |      |      |
|----|-------|-------|-------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| is | -0,37 | -0,04 | -0,12 | 0,75 | 0,07 | 0,77 | -0,08 | 0,33  | 1,00 | -    | -    |
| ia | 0,28  | -0,05 | -0,31 | 0,98 | 0,22 | 0,96 | -0,22 | -0,34 | 0,77 | 1,00 | -    |
| fc | 0,38  | 0,26  | -0,63 | 0,95 | 0,60 | 0,95 | -0,60 | -0,36 | 0,68 | 0,91 | 1,00 |

Anexo J. Receita bruta (R\$ ha<sup>-1</sup>) para os sortimentos florestais removidos pelos desbastes aplicados no povoamento de *P. taeda*.

| 1º Desbaste |    |    |    |    |       |
|-------------|----|----|----|----|-------|
| Trat.       | L1 | L2 | S1 | S2 | MPP   |
| 0           | -  | -  | -  | -  | -     |
| 1           | -  | -  | -  | -  | 11,8  |
| 2           | -  | -  | -  | -  | 17,2  |
| 3           | -  | -  | -  | -  | 24,4  |
| 4           | -  | -  | -  | -  | 5,9   |
| 5           | -  | -  | -  | -  | 35,0  |
| 6           | -  | -  | -  | -  | 25,2  |
| 7           | -  | -  | -  | -  | 112,1 |
| 8           | -  | -  | -  | -  | 68,0  |

| 2º Desbaste |    |         |    |         |         |
|-------------|----|---------|----|---------|---------|
| Trat.       | L1 | L2      | S1 | S2      | MPP     |
| 0           | -  | -       | -  | -       | -       |
| 1           | -  | -       | -  | -       | -       |
| 2           | -  | 123,1   | -  | 424,8   | 763,1   |
| 3           | -  | -       | -  | -       | -       |
| 4           | -  | -       | -  | 627,5   | 803,9   |
| 5           | -  | 185,3   | -  | 1.138,0 | 1.709,3 |
| 6           | -  | 297,4   | -  | 513,1   | 863,2   |
| 7           | -  | 1.379,2 | -  | 753,9   | 464,9   |
| 8           | -  | -       | -  | -       | -       |

| 3º Desbaste |    |         |     |         |         |
|-------------|----|---------|-----|---------|---------|
| Trat.       | L1 | L2      | S1  | S2      | MPP     |
| 0           | -  | -       | -   | -       | -       |
| 1           | -  | 722,0   | 0,0 | 1.000,8 | 1.052,9 |
| 2           | -  | 929,7   | 0,0 | 756,0   | 1.021,0 |
| 3           | -  | 1.097,5 | 0,0 | 1.089,8 | 1.157,9 |
| 4           | -  | 1.580,1 | 0,0 | 844,5   | 867,4   |
| 5           | -  | 1.123,7 | 0,0 | 566,2   | 547,2   |
| 6           | -  | 5.327,6 | 0,0 | 1.702,8 | 1.054,0 |
| 7           | -  | 3.294,3 | 0,0 | 952,4   | 316,3   |
| 8           | -  | 6.384,0 | 0,0 | 1.188,3 | 272,5   |

| 4º Desbaste |    |         |     |         |         |
|-------------|----|---------|-----|---------|---------|
| Trat.       | L1 | L2      | S1  | S2      | MPP     |
| 0           | -  | -       | -   | -       | -       |
| 1           | -  | 5.345,9 | 0,0 | 2.143,1 | 1.147,1 |
| 2           | -  | 5.097,2 | 0,0 | 2.311,9 | 1.091,2 |
| 3           | -  | 8.109,1 | 0,0 | 2.705,2 | 1.104,6 |
| 4           | -  | 7.077,8 | 0,0 | 2.348,0 | 862,9   |
| 5           | -  | 7.015,3 | 0,0 | 2.449,1 | 659,8   |
| 6           | -  | 2.219,3 | 0,0 | 975,1   | 108,3   |
| 7           | -  | 8.158,8 | 0,0 | 3.270,8 | 329,3   |
| 8           | -  | 3.990,0 | 0,0 | 1.797,4 | 62,5    |

| 5º Desbaste |    |         |     |         |         |
|-------------|----|---------|-----|---------|---------|
| Trat.       | L1 | L2      | S1  | S2      | MPP     |
| 0           | -  | -       | -   | -       | -       |
| 1           | -  | 6.015,3 | 0,0 | 3.035,3 | 1.238,5 |
| 2           | -  | 5.364,8 | 0,0 | 2.513,5 | 670,4   |
| 3           | -  | 4.697,9 | 0,0 | 2.071,8 | 574,5   |
| 4           | -  | 1.946,1 | 0,0 | 1.030,5 | 214,7   |
| 5           | -  | -       | -   | -       | -       |
| 6           | -  | -       | -   | -       | -       |
| 7           | -  | -       | -   | -       | -       |
| 8           | -  | -       | -   | -       | -       |

| 6º Desbaste |         |         |         |         |        |
|-------------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Trat.       | L1      | L2      | S1      | S2      | MPP    |
| 0           | -       | -       | -       | -       | -      |
| 1           | 0,0     | 7.884,7 | 1.102,5 | 4.320,3 | 5.22,5 |
| 2           | 0,0     | 7.890,1 | 878,3   | 4.602,1 | 414,1  |
| 3           | 0,0     | 6.903,6 | 520,3   | 4.358,6 | 251,2  |
| 4           | 0,0     | 6.719,5 | 1.057,5 | 3.814,1 | 413,1  |
| 5           | 0,0     | 9.692,5 | 2.545,8 | 5.788,0 | 317,0  |
| 6           | 0,0     | 7.391,0 | 2.400,8 | 4.393,2 | 208,7  |
| 7           | 2.490,5 | 6.121,8 | 5.171,2 | 3.449,3 | 130,4  |
| 8           | 1.130,1 | 3.477,3 | 4.812,0 | 1.460,1 | 13,6   |